



**דו"ח על חקר סערות שפגעו בכלובי דגים,  
אפיון המשטר המטאו-ימי בחופי ישראל בים התיכון  
וחוות דעת הנדסית על דרישות תכן לשרידות כלובי דגים**

מאת

**אינג' סרג'יו דב רוזן**

**ים חוף רוזן מהנדסים יועצים**

**חיפה, יולי 2017**

הוכן עבור

**אינג' נועם מוזס**

**מנהל תחום חקלאות ימית**

**אגף לדיג ולחקלאות מים**

**משרד החקלאות ופיתוח הכפר**



**דו"ח על חקר סערות שפגעו בכלובי דגים,  
אפיון המשטר המטאו-ימי בחופי ישראל בים התיכון  
וחוות דעת הנדסית על דרישות תכן לשרידות כלובי דגים**

מאת

**אינג' סרג'יו דב רוזן**  
**ים חוף רוזן מהנדסים יועצים**

חיפה, יולי 2017

הוכן עבור

**אינג' נועם מוזס**  
**מנהל תחום חקלאות ימית**

**אגף לדיג וחקלאות מים**  
**משרד החקלאות ופיתוח הכפר**



## **אזהרה והסרת אחראיות !**

דו"ח זה הוכן בהזמנת אגף הדיג וחקלאות המים במשרד החקלאות ופיתוח הכפר מאת המחבר. למרות ידע מקיף ואמצעי עיבוד וניתוח המתקדמים בניתוח המידע שהתקבל מגופים שונים יתכנו טעויות הן בנתונים הבסיסיים וכן בניתוחים שבוצעו למרות בקרת איכות שבוצעה. לפי כך, יש לראות במידע המוצג בדו"ח זה מידע כללי בלבד ואין להשתמש במידע המוצג בו לתכן הנדסי של כלובי דגים או לכל פעילות ימית, מבלי שהמידע נבדק ואומת ע"י מהנדס מוסמך, רשוי ומנוסה לצורך אותו תכנון או ביצוע פעילות. המחבר וכן משרד החקלאות ופיתוח הכפר מסירים כל אחראיות לגבי שימוש במידע המוצג בדו"ח למשתמש או לצד ג' כלשהו, וכל האחראיות תהיה של המשתמש בלבד, ללא יוצא מהכלל בשום מקרה.

## תקציר מנהלים

### 1. מבוא

דין וחשבון זה מציג ומסכם עבודה שביצע המחבר בהזמנת אנף הדיג וחקלאות מים במשרד החקלאות ופיתוח הכפר, של חקר הסערות החזקות שפגעו בכלובי שהוצבו בחוף ישראל בים התיכון בתקופה דצמבר 2009 ועד אפריל 2015, של אפיון המשטר המטאו-ימי (רוחות, גלים וזרמים) בחוף ישראל בים התיכון ושל בחינת כוחות על כלובי דגים במצבי שרידות בחופי ישראל. כמו כן הדו"ח מציג חוות דעת מקצועית והמלצות לקביעת דרישות תכן כלובי דגים מאת בעלי כלובי דגים, שיישומן ישפר משמעותית שרידות כלובי הדגים ותכולתם.

מטרות העבודה המפורטות כפי שהוגדרו ע"י המזמין מוצגות בפרק 1 של גוף הדו"ח. הפעילויות לביצוע העבודה כללו איסוף ועיבוד נתונים של דוחות, גלים, זרמים ממקורות שונים, בנוסף לפגישה עם מפעילי כלובי דגים מול מכמורת ומול אשדוד כולל בנמל אשדוד וכן עריכת סקר ספרות להשלמת תמונת מצב הידע, ביצוע ניתוחים סטטיסטיים לאפיון משטר הרוחות, הגלים והזרמים בתחום קווי העומק בהם קיימת או נשקלת הצבת כלובי דגים (30- מ' עד מעבר לקו עומק 100-מ' במדף היבשת של ישראל בים התיכון (בתלות בכדאיות הכלכלית מבחינת מרחק ההפלה מהחוף, זמינות שטחי חקלאות ימית שאינם חוצים קווי שייט של הספנות ופעילות בטחון או התנגשות באילוצים מסחריים או סביבתיים) וכן בתוך תחום המוגן של נמל אשדוד שמחוץ לנתיבי ההפלה, בסמוך לשובר הגלים הראשי, בתחום עומקים של כ- 17- מ' עד 18- מ'). נתוני רוחות מדודים היו זמינים בחוף אשדוד ובחוף חדרה, וכן בקצה מזרח הפחם בחדרה לאורך תקופת זמן קצרה יותר ואלה אפשרו לאמוד גם את המשטר הרוחות בים הפתוח. נתוני מדידות הגלים מחדרה, וכן מאשדוד ומחיפה, שימשו לחישוב אפייני הגלים במים עמוקים, מול אשדוד ומול מכמורת, ע"י חישובי פרקציית הגלים ממיקומי תחנות הגלים למים עמוקים, אלה שימשו לאחר מכן ליצירת סדרות זמן שעתיות מלאות ורציפות של אפייני הגלים (ע"י מילוי מידע חסר על בסיס הערכים שחושבו מול התחנות האחרות), לאחר מכן בוצעו חישובי פרקציית גלים במים עמוקים למיקומים מול אשדוד ומכמורת על קו עומק 60- מ' ו-40- מ' ולבסוף ביצעו חישובים של משטרי הגלים במים עמוקים ועל קווי עומק 60- מ' ו-40- מ' מול אשדוד ומכמורת. נתוני מדידות זרמים רציפות מאידך היו זמינים רק בקווי עומק 25 עד 27 מ'. על כן, ניתן היה לאפיין את משטר הזרמים בעמודת המים רק בקו עומק 27 מ' על פיהם. נציין כי לא בוצעה בדיקת כדאיות כלכלית לקביעת המיקומים המיטביים של הצבת כלובי דגים, שלא נכללה במטרות העבודה (דוגמה לבדיקה כזאת ניתן לראות אצל Kankainen and Mikalsen, 2014). כדי שניתן יהיה לאמוד את משטר הזרמים בעומקים גדולים יותר שם מוצבים או יוצבו כלובי דגים, נעשה שימוש גם במדידות אוקיאנוגרפיות מזדמנות וכן בתוצאות מחקרים אוקיאנוגרפיים ובמיוחד בתוצאות הרצות מודל אוקיאנוגרפי SELIPS של חקר ימים ואגמים לישראל.

עם השלמת הניתוחים הסטטיסטיים בוצעו הדמיות לאפיון המשטר ההידרודינמי של מהירות הזרם, התאוצה והלחץ הפועלים על גוף כלוב דגים המוצב בים על קו עומק 40- מ' וקו עומק 60- מ' בשני מיקומים (צפון אשדוד ומכמורת) עבור למעלה מ-16 תרחישים של מצבי קיצון שהוגדרו על פי הגדרות התקינה הבינלאומית לתכן כלובי דגים (תקן הארגון התקינה הבינלאומי והתקן הנורבגי). בסיום ההדמיות בוצעו אומדני הכוחות הפועלים על כלוב בעל קוטר של 12 מ' וגובה (שוקע) 10 מ', הטבול כך שנמצא 6 מ' מעל פני קרקעית הים המקומית, כמקרה מייצג לדוגמה.

עיבוד המידע של הגלים והזרמים והרוחות אפשר גם לאתר במדויק את הסערות החזקות ביותר שהתרחשו בתקופת דצמבר 2009 עד סוף מרץ 2015, ולנתח מה היו ככל הנראה הסיבות שגרמו לניזוק כלובי דגים, אירועים שמרביתם זוהו באמצעות סקירת דיווחי עיתונות באינטרנט.

כל אלה אפשרו לבסוף מתן חוות הדעת המוצגת בדו"ח זה לגבי הדרישות שמומלץ כי המזמין יקבע ליזמים להצבת והפעלת כלובי דגים בחוף הישראלי בים התיכון, שימזערו הסיכוי של שרידות הכלובים ומניעת הינזקות הכלובים ותכולתם בסערות חזקות.

מבנה הדו"ח כולל פרק 1 שבו מוצגת מטרות העבודה המדווחת והיקפה, מקורות ותיאור המידע לביצוע העבודה, מידע גיאולוגי על צדודית קרקעית הים לאורך החוף ומבנה קרקעית הים, מידע לגבי כלובי הדגים ומקורות מידע נוסף לגבי כלובי הדגים בארץ ובעולם, אירועי נזקים לכלובי דגים ועל סוגי כלובי דגים שנמצאים בשימוש בישראל. לאחריו בפרק 2 מוצגות השיטות של עיבוד הנתונים וניתוח המידע לצורך אפיון ערכי הפרמטרים המיצגים אפייני הרוח, הגלים והזרמים לטווח זמן קצר, לטווח זמן ארוך ולטווח זמן נדיר (קיצון). כמו כן מוצגות השיטות לחישוב כוחות על גופים טבולים בים ובמיוחד לגבי כלובי דגים (כולל פרוט נוסף בנספח 4) וכן מערכות עגינה של כלובי דגים.

בפרקים 3 ו-4 מוצגים עיבודי ניתוחי הנתונים המטאו-ימיים באזור אשדוד ובאזור מכמורת בהתאמה ובפרק 5 מוצג תחקיר של אירועי הסערות בתקופה דצמבר 2009 – מרץ 2015. בפרק 6 מוצגים אפיוני מצבי קיצון שנבדקו עבור כלוב דגים המוצב באשדוד או במכמורת ואת אומדן הכוחות הפועלים עליו במצבי שרידות. לבסוף בפרק 7 מוצגות המלצות מערכתיות על התרעה גילוי ותגובה למצבי קיצון לשרידות כלובי דגים ובפרק 8 סיכום של העבודה. רשימת ספרות מוצגת בפרק 9. לדו"ח מתלווה קובץ נספחים בן 5 פרקים המוגש בנפרד מגוף הדו"ח העיקרי, לנוחיות הקורא.

## 2. תוצאות

תוצאות הניתוחים הסטטיסטיים שבוצעו לאזור מול חופי צפון אשדוד ולאזור מול חוף מכמורת מהווים עדכונים של משטר הרוחות, הגלים והזרמים באזורים אלה. תוצאות הניתוחים מוצגים בפרקים 3 ו-4 בהתאמה בהם מוצגות טבלאות שכיחות משותפת ושולית של הפרמטרים המאפיינים של הרוח, הגלים והזרמים וכן גרפים בהם מוצגים גם ההתפלגויות העונתיות (קיץ וחורף) בנוסף לאלה השנתיים הממוצעים. תוצאות הניתוחים הסטטיסטיים לטווח זמן ארוך שימושיים להגדרת תנאי תפעול שוטפים והניתוחים לטווח זמן קיצון (נדיר) שימשו להגדרת מצבי תכן שכלובי דגים צריכים לעמוד בהם כתנאי לאישור הצבת כלובי דגים. מצבי התכן לשרידות שהתקבלו רוכזו בטבלה מס' 1-5 עבור תקופות חזרה ממוצעות שונות. את תקופת החזרה להבטחת שרידות יש לבחור לפי האורך חיים הכלכליים של הכלוב/חוות הכלובים והסיכון (risk) שמוכנים לקחת, דוגמאות של חישוב של תקופות חזרה ממוצעות בתלות בפרמטרים אלה מוצגת בטבלה מס' 2-1.

בפרק 2 (וביתר פרוט בנספח 4) לאחר הצגה של שיטות החישוב של הכוחות הפועלים על גוף טבול בשדה גלים וזרמים, ניתן הסבר מדוע החישובים של הכוחות הם רק אומדנים מקורבים ומדוע יש צורך בשימוש במודלים מאוד מתקדמים לצורך אומדן הכוחות הפועלים על כלוב גמיש בו נמצאים הדגים בתוך רשתות, שהשפעתן ונוכחות הדגים בתוכן על הזרימה והכוחות הפועלים שונה מאשר לו היה הכלוב בנוי גליל אטום וקשיח. יחד עם זאת, בפרק 6 הוצגו אומדנים של הכוחות שיפעלו על כלוב גמיש שיוצב על קו עומק 40- מ' ועל קו עומק 60- מ' מול צפון אשדוד ומול מכמורת, בטבלאות מס' 10-6 ו-23-6 בהתאמה. התוצאות ממחישות השוני המשמעותי בין הכוחות הצפויים במקרה שכלובי הדגים מוצבים על קו עומק 40- מ' לעומת על קו עומק 60- מ' וכן את השפעת עומק השיקוע של הכלוב.

בפרק 5 מוצג ניתוח של הסערות החזקות שאירעו בתקופה דצמבר 2009 עד מרץ 2015, בחלק מהן אירעו נזקים לכלובי דגים שהוצבו בעיקר מצפון מערב לאשדוד בים הפתוח אך גם בנמל אשדוד, שם למעשה ישנם תנאים שונים של זרימה וגלים. זהו 6 סערות חורף חזקות בין התאריכים: 16 ל-32 בדצמבר 2009; 11 ל-15 בדצמבר 2010; 05 ל-10 בינואר 2013; 25 ל-28 בנובמבר 2014; 6 ל-11 בינואר 2015; 10 ל-14 בפברואר 2015.

מבחינת הנזקים לכלובי דגים שהוצבו בים הפתוח אפשר לומר שברור כעת מתי התרחשו אירועי סערות, ומה היה המצב המטאו-ימי באותם זמנים ומה היו הערכים המרביים של הגלים והזרמים באותן סערות. קישור הדיווחים של נזקים

לכלובי דגים עם הערכים המרביים שהתרחשו באותן אירועים היה מאפשר לנסות להסביר מה קרה, אך כאמור רק במקרה אחד היה לנו מידע על אופי הנזק לכלובי הדגים. בכל מקרה, בחינה של כל מצב בנפרד, אפשר לאמוד הסיבות העיקריות לנזקים, בנפרד, לאלה שהוצבו בנמל אשדוד ולאלה שהוצבו בים הפתוח.

מכיוון שאחת המטלות של העבודה היתה לברר ראשית לגבי אירועי הנזקים לכלובי דגים בחורף 2015, התקופה הזאת נבחרה בנפרד ולגביה התקבל מעט מידע כללי ביותר בראיונות שנוהלו עם מפעילי הכלובים מול מכמורת ובאשדוד בתוך נמל אשדוד והן מחוצה לו ואלה אכן נבחנו בנפרד.

התברר כי הסערה המשמעותית הראשונה בחורף 2015 התרחשה בין 6 עד 11 לינואר 2015. גובה הגל הסיגניפיקנטי המרבי בקו עומק 40- מ' הגיע לכ-6.6 מ' וגובה הגל המרבי לכ-12.7 מ', זמן מחזור השיא בשיא הסערה היה כ-11.8 שני וכיוון הגלים היה מערבי. על פי נתונים אלה וטבלה 5-1 נאמדה תקופת החזרה הממוצעת של הגלים ל-22 עד 25 שנה, בתלות בקו העומק בו שהו כלובים. באותה עת שררו זרמים בעלי מהירות של כ-0.9 מ'שני ורוחות שהגיעו עד למהירות ממוצעת שעתית של 20 מ'שני. תקופת החזרה של הזרמים מתאימה לכ-7 עד 10 שנים ושל הרוח לתקופת חזרה של כ-5 שנים. הסערה השנייה בחורף 2015 התרחשה בין 10 עד 14 בפברואר 2015. גובה הגל הסיגניפיקנטי המרבי בקו עומק 40- מ' הגיע לכ-6.5 מ' והמרבי לכ-12.4 מ', זמן מחזור השיא בשיא הסערה היה כ-14.2 שני וכיוון הגלים היה מערב-צפון מערב, כלומר כמעט ניצב לקווי העומק ולזרם. על פי נתונים אלה וטבלה 5-1 נאמדה תקופת החזרה הממוצעת של הגלים ל-23 שנה. באותה עת שררו זרמים בעלי מהירות של כ-0.55 מ'שני שעלתה עד כ-0.9 מ'שני ורוחות שהגיעו עד למהירות ממוצעת שעתית של 21 מ'שני. תקופת החזרה של הזרמים מתאימה לכ-5 עד 10 שנים ושל הרוח לתקופת חזרה של כ-8 עד 10 שנים. על פי הדיווחים הכלליים שסקרנו בעיתונות, נראה שהנזקים שהיו לכלובים שמצפון מערב לאשדוד בסערה של ינואר היו ניכרים (נטען שכלוב או כמה כלובים התנתקו ונסחפו עד לבנון) מאשר לנזקים שנגרמו בפברואר דווקא לכלובים שבנמל אשדוד, כאשר התרחשו גלים ארוכים יותר בהם יש אנרגיה רבה יותר. סביר להניח שהנזקים לכלובי הדגים נגרמו משילוב של כמה השפעות, בהן גם התנאים הפיזיים שהתרחשו. הנתונים מצביעים על יכולת השרידות של הכלובים שהיו בים באותה העת לתקופת חזרה של כ-10 שנים. וזה נותן כיוון לגבי הסיכונים שזים יכול לקחת בהקמת והפעלת חוות כלובי דגים.

אומדן הנזקים לכלובי הדגים שהוצבו בנמל אשדוד בחורף 2015 בשתי הסערות הנ"ל נגרמו לדעתנו בגלל התפתחות כוחות גדולים מיכולת הנשיאה של מערכות הכלובים שם, עקב היווצרות גלים עומדים ארוכים בנמל עם נקודת נד באזור הכלובים שניזוקו (אזור בו נוצרים זרמים מאוד חזקים) וכן בגלל הצפת מי ים משמעותית מעל שובר הגלים, מה שנקרא "green water" שצנחו ישר על כלובי הדגים בגלל הסמיכות הגדולה מדי לשובר הגלים, באזור ששובר הגלים הבנוי עם יחידות שריון אנטיפר ומקפצות (ski jumps) להרחקת המים העוברים את שובר הגלים מהשיפוע האחורי של שובר הגלים (בצד הפנימי של הנמל).

לגבי 4 הסערות האחרות שהתרחשו בחורפים 2010 עד 2014 (בחודשים דצמבר עד מרץ בשנה עוקבת), הסערה החזקה ביותר מבחינת מהירות הזרמים, התרחשה בין 11 ל-15 בדצמבר 2010, כאשר שיא הסערה היה ב-12 בדצמבר 2010. אולם, לא מצאנו דיווחים על נזקים לכלובי דגים בסערה זאת ולא דווח לנו ממפעילי הכלובים שרואינו על נזקים בתקופה זאת. למעשה, נזקים לכלובים עם פרוט סביר של אופי הנזק לא התקבל משום מפעיל כלובים, כנראה מסיבות של תחרותיות. באופן עקיף היה בידנו מידע אל אירוע כזה ממשרד עו"ד בעקבות פנייה למתן חוות דעת לגבי נזק שנגרם לכלובי סאבפלקס בדצמבר 2009, מידע שאפשר בשילוב הבדיקות שבצענו ולהגיע למסקנות לגבי הסיבות להינזקותם באותו אירוע וכן בחלק מהאירועים הנוספים שזוהו על פי פרסומי העיתונות בתקופת הסערות החזקות הנ"ל. תקופת החזרה הממוצעת של הגלים בסערה זאת היתה של-25 שנה במיקום הכלובים, ותקופת החזרה הממוצעת של מהירויות הזרמים והרוח באותו הזמן היתה של שנה אחת. על פי המידע הזה הסקנו כי באותה סערה ניזוקו כלובי הדגים בגלל מערכת איזון הציפה שלהם שכללה שרשרות פלדה, שהיו אמורות בהתקרב הכלובים לקרקעית לשכב על הקרקעית ובכך

להקטין את הכח המשקע הכלובים כלומר להגדיל את כח העילוי של הכלובים בשילוב עם תופעת התנזלות הקרקעית בגלל הגלים הגבוהים שהתרחשו. עקב כך ככל הנראה השרשרות המשיכו למשוך את הכלובים כלפי הקרקעית כי נעו בקרקעית מנוזלת בעלת משקל סגולי עדיין נמוך (כ-1.8 טון/מ"ק) מהמשקל הסגולי של פלדת השרשרות (כ-7.8 טון/מ"ק). עם שוך הסערה ושינוי כיוון הגלים פסקה ההתנזלות ואז סביר להניח כי השרשרות ומסגרת הייצוב נלכדו בקרקעית. מצב כזה קרה כנראה גם בחלק מהסערות האחרות, לפחות ככל שמדובר על כלובי הסאבפלקס שאוזנו בעזרת שרשרות.

על פי הבדיקות שבוצעו, נמצא כי הסערה בדצמבר 2010 אופיינה ע"י גל סיגניפיקנטי עם תקופת חזרה ממוצעת של כ-7 שנים, אך עם מהירות זרם עם תקופת חזרה ממוצעת של לאחת ל-50 שנים וגם של מהירות רוח עם תקופת חזרה של אחת ל-25 שנה. לגבי הסערה בדצמבר 2013 נמצא כי למעשה היא כללה שתי סערות סמוכות בנות יממה כל אחת, בעלות גלים סיגניפיקנטיים עם תקופות חזרה ממוצעות של 2 שנים ושל 10 שנים, וזרמים ורוחות בעלי מהירויות עם תקופות חזרה ממוצעת של שנתיים ושל 10 שנים בהתאמה. לבסוף בסערה של נובמבר 2014 נמצא כי כללה גלים וזרמים עם תקפת חזרה ממוצעת של אחת לשנה ורוחות עם תקופת חזרה ממוצעת של שנתיים.

### 3. מסקנות והמלצות

1. מיקום הכלובים (קו העומק) בו יוצבו הכלובים ועומק ההשקעה של הכלובים בעת מצבי שרידות חשובים, וככל שהכלובים ניתנים לשיקוע בעומק גדול יותר, כך יקטנו הכוחות שיפעלו על הכלובים ותגדל השרידות שלהם. לפי כך, עדיף לנסות להציב כלובים על קווי עומק עמוקים יותר, אך לא רחוק מדי מבסיס התחזוקה החופי, כדי שמשך זמן ההפלגה עד הכלובים וחזרה לא יהיה גדול מדי, משך זמן שמשפיע ישירות על עלויות התפעול וכדאיות הפעלת חוות כלובי הדגים.

2. בעבודה הנוכחית התייחסנו לכן במיוחד לכלובים שקועים לגמרי, כי אז מוקטנים הכוחות הפועלים עליהם. כלוב הנמצא בסמוך לפני הים או על פני הים יהיה חשוף לכוחות גדולים יותר משמעותית ולכן התפקוד שלו מוגבל רק לתנאי ים שקטים יחסית.

3. מאידך, ראינו כי כלובים המאוזנים בעמודת המים מסוג TLC או SUBFLEX צפויים להימצא בבעיה אם משתמשים בשרשרות. זאת מאחר ואם הכלובים מתקרבים או מורדים לעומק של מספר מטרים מעל קרקעית הים, כאשר השרשרות מגיעות עד פני קרקעית הים, הם עלולים לשקוע עוד יותר ואפילו להיפגע ממגע עם הקרקעית. הסיבה לכך נעוצה בכך שבתחומי ההצבה לרב הקרקעית חולית או טינית עם תכולת חול מסוימת, דבר ההופך אותה בזמן סערות גלים לקרקעית מתנזלת. עקב כך, שרשרות שאמורות להיות מונחות על הקרקעית ובכך להגדיל את כוח הציפה (על ידי הקטנת הכח המושך את הכלוב כלפי הקרקעית) ולשמור על הכלובים להימצא מעל הקרקעית בגובה המתוכנן, הן עלולות להמשיך למשוך את הכלובים בתוך הקרקעית המתנזלת ובכך לגרום לשקיעת הכלובים עד הקרקעית. יתרה מכך, בשוך הסערה הם עלולים להילכד בתוך הקרקעית שהופכת שוב למוצק ולגרום למניעת עליית הכלוב מעל הקרקעית. גם העוגנים עלולים לשקוע בעת התנזלות הקרקעית או לחליפין, עלולים להישלף מתוך הקרקעית המתנזלת ולכן יש לבצע בדיקות קרקעית ותת קרקע באתר המיועד להצבת כלובי דגים ולתכנן את מערכת העוגנים בהתאם. לדעתנו, הפתרון של השקעת כלובים לעומק קרוב לקרקעית הים מחייב או הצבה על אזור בו הקרקעית היא קשה יותר או ששיטת שמירת העומק תתבסס על מערך מצופי מתיחה ולא על משקולות משרשרות פלדה.

4. כפי שהתברר מניתוח אירועי הסערות בהם נגרמו נזקים לכלובי דגים, הנוזקים התרחשו (לפחות בחלקם) עקב כוחות גדולים מאוד שהתפתחו בזמן הסערות עם גלים גבוהים וגם זרמים חזקים. להערכתנו, חלק מהנזקים נגרמו בגלל בעיות הקשורות להתנזלות הקרקעית כפי שהסברנו לעיל וכן קריעה של חבלי עגינה בגלל עומסים גבוהים ביחד עם תחזוקת חבלים לקויה בחלק מהמקרים.
5. לפי מה שנמסר לנו, חלק מהנזקים לכלובי דגים נגרמו גם עקב קריעת רשתות ע"י כרישים אשר נשכו את הרשת באזור של הצטברות פסדים (גוויות של דגים מתים). על פי סקר שבוצע לאחרונה (ברש ושניר, 2017) מסתבר שסיבה זו מוכרת במקומות אחרים בעולם. איסוף יומיומי של הפסדים מהווה פתרון מיטבי להקטנת משיכת כרישים לכלובי דגים.
6. כלובי הדגים שהוצבו בנמל אשדוד ליד לשובר הגלים הראשי, ניזוקו ככל הנראה בגלל ממספר סיבות:
  - (i) הכלובים הוצבו קרוב מדי לשובר הגלים, במיוחד באזור שובר הגלים החדש יותר המוגן ביחידות קוביות אנטיפר. באזור זה שובר הגלים תוכנן מראש לאפשר הצפתו בזמן סערות גלים חזקות, כאשר מי ההצפה מורחקים מצידו הפנימי של שובר הגלים ע"י מגלשות. עקב כך, כמויות המים הגדולות העוברות מעל שובר הגלים הגיעו ישירות לאזור הימצאות כלובי הדגים במהירויות מאוד גבוהות, דבר שיצר מכות חזקות הכלובים ובדגים. (ii) להערכתנו, חלק מהכלובים נמצאים באזור נקודת נד של גל ארוך התונד בנמל אשדוד, שנוכחותו שם נבדקה במספר מודלים פיזיים של הרחב<sup>ת</sup> נמל אשדוד על ידי המחבר, הן בחו"ל במעבדת DHI וכן בארץ. בנקודת נד של גל ארוך הנוצר בגלל תהודת נמל, ישנן זרימות אופקיות מאוד חזקות של מס' מטרים לשניה. המצאות כלובים באזור נקודת נד מפעילה כוחות גרר גדולים על הכלובים ועל מערכת העגינה שלהם, שאם לא לקחו אותם בחשבון, יכולה לקרוס או הכלובים ינזקו.
7. נראה כי בתכנון של כלובי הדגים בארץ לא היתה התחשבות בתופעת ספירל אקמן, כלומר שינוי כיוון הזרם הכללי עם העומק בהשפעת רוחות חזקות, מצב שלדעתנו יתכן וגרם לפחות בדצמבר 2009 להסתבכות כלובים בעת סערה ולצמצום נפח הכלובים וגרימת עקה ותמותה של חלק מהדגים באותם כלובים.
8. המלצות תקן ISO 16488:2015 לבדיקת כלובי דגים במצבי שרידות ממליץ לבדוק עמידות הכלובים בשני מצבים עקרוניים:
  - א. גובה גל מרבי המתאים לגל סיגניפיקנטי קיצון עם תקופת חזרה ממוצעת של 50 שנה בשילוב עם מהירות זרם בעלת תקופת חזרה ממוצעת של 10 שנה ועם רוח בעלת תקופה חזרה ממוצעת של 50 שנה.
  - ב. גובה גל מרבי המתאים לגל סיגניפיקנטי קיצון עם תקופת חזרה ממוצעת של 10 שנה בשילוב עם מהירות זרם בעלת תקופת חזרה ממוצעת של 50 שנה ועם רוח בעלת תקופה חזרה ממוצעת של 50 שנה.התברר שבגלל אופי משטר הגלים בחוף הישראלי, העמידה בדרישה א' תגבר תמיד על הדרישה ב' דלעיל.
9. השפעת מהירות הרוח כבר משולבת בתוך מדידות הזרמים, ומכיוון שתרומתה תהיה בסדר גודל של כ-25 ס"מ/שני או כחצי קשר, ולכן ברור שעיקר מהירות הזרם שנמדד ושימש לחישוב ערכי קיצון בעומקים בהם אמורים להימצא הכלובים בעת מצבי קיצון (6 מ' מעל הקרקעית, על קווי עומק 40 – מ' ושל 60- מ') הינו חלק הזרם הכללי הגיאוסטרופי. כמו כן, תרומת המהירות האורביטלית היא הרבה יותר גדולה במצבי קיצון של גלים עם תקופת חזרה ממוצעת של 50 שנה בחופי ישראל, ולכן לא הכרחי לבדוק מצבי קיצון לפי הדרישה בסעיף 1ב' דלעיל.



10. מכיוון שאורך החיים הכלכלי של כלובי הדגים לא הוגדר בתקינה, ולמעשה כל בעל חוות כלובים יכול לקבוע מהו אורך החיים הכלכלי של החווה שהוא מעונין להקים ולהפעיל, ובאיזה תנאי סיכון (באחוזים) הוא יעבוד, מומלץ כי משרד החקלאות ופיתוח הכפר יקבע דרישות מינימום לפרמטרים אלה. לדעתנו, אין לאפשר הקמת כלובי דגים שתוכננו בסיכון גדול מ-5% ואורך חיים כלכלי קטן מ-5 שנים. המשמעות היא תקופת חזרה ממוצעת של 100 שנה וגובה גל סיגניפיקנטי מרבי באתר הכלובים של כ-8.0 מ' (ראה טבלה 1-5), אך בעתיד בעוד עשור או שניים יהיה צורך לעדכן ערך זה בתוספת של כ-5% עד 10% בגלל צפי של השפעת שינוי האקלים.

11. תוצאות החישובים שביצענו, הראו כי עבור תנאי הגלים בחוף הישראלי, מומלץ לבדוק מצבי שרידות שעבורם זמן מחזור של שיא הספקטרום ייבחר על פי הנוסחה [11] שבפרק 2 ולא לפי הנוסחאות המומלצות ע"י התקן הבינלאומי (סעיף 2.2.2 ד'), למרות שזמני המחזור לפי התקן הבינלאומי מציגים גלים תלולים יותר, כלומר בהם קיימות מהירויות אורביטליות גדולות יותר, שיובילו לכוחות גדולים יותר, אך זמני המחזור הנ"ל לא תואמים את סטטיסטיקות זמני מחזור השיא של הגלים בחופינו.

12. התרשמנו כי יש העדפה בארץ לעגינת ורתיקת כלובי דגים, ע"י שימוש בחבלים הסינטטיים, בעיקר מסוג פוליפרופילן, בגלל יכולת הציפה שלהן. מאידך, חבלים אלה הם פחות חזקים מאשר חבלי ניילון או פוליאסטר או פוליסטיל. תכנון מערכת העגינה חייב לקחת בחשבון את התכונות האלסטיות של החבלים וכן את העובדה כי חבל שנמתח ומתארך צובר בתוכו אנרגיה (כח x תנועה) שלאחר מכן, כשהעומס על החבל יקטן, תשתחרר ותגרום להתכווצות החבלים ולתזוזת הכלוב.

13. לדעתנו, הדבר מחייב תכנון יותר מושכל באמצעות ביצוע הדמיות במודלים מתקדמים של הכלובים ומערכות העגינה שלהם לעמידה בכוחות גבוהים יותר, ולא הצבת הכלובים על קווי עומק 60- מ' עד אפילו מעבר לקו עומק 100- מ' דבר שיאפשר הורדת הכלובים בזמן סערות לעומקים גדולים. המיקומים ייקבעו גם על בסיס בדיקות כדאיות כלכליות הוצאות התחזוקה והתפעול של הכלובים, כפונקציה של עליית המרחק, זמני ההפלגה והוצאות ההפלגה לחוות הכלובים, שיעלו ככל שימוקמו במים עמוקים יותר. כמו כן יידרשו מתן פתרונות לבעיית ייתכנות ההתנזלות הקרקעית ולקבלת התרעה ממוקדת מוקדמת מספיק של צפי לאירועי מצבי ים עם גלים וזרמים מאוד חזקים הקרובים או עולים על ערכי התכן לשרידות. אלה נכונים לגבי כל סוגי כלובי הדגים.

14. בנוסף לעיל, נדרש כי כל הכלובים יצוידו באמצעי סימון וניטור (נצנצי תאורה ו/או נצנצים אקוסטיים למקרה של היספחות או התנתקות. המחיר המאוד נמוך בשל נצנצים אקוסטיים עושה אותם לדעתנו פריט חיוני להיכלל באביזרים של כל כלוב.

15. בין התוכנות המתקדמות ביותר לתכן כלובי לים ומערכות העגינה שלהם ניתן לציין בדיקות באמצעות מודל AquaSim של החברה הנורבגית Aquastructures (<http://aquastructures.no>) או התוכנה OrcaFlex של החברה האנגלית Orcina (<https://www.orcina.com>).

16. כפי שצינו בסעיף הקודם, כדי למזער הסיכון לפגיעה בכלובי דגים יש צורך לקבל התרעה מוקדמת של מצב הגלים והזרמים הצפוי לפחות יומיים קדימה. כיום ניתן לקבל תחזית טובה של מצב הים אם כי היא אינה ממוקדת ודווקא בזמן שיאי סערות התוכנות המופעלות לרב מטעות כי נותנות תחזיות מוגזמות של גובהי הגלים. בעולם ידוע כי כדאי להריץ יותר ממודל גלים אחד. על פי בדיקות שבוצעו בחו"ל הסתבר כי חבילת

התוכנה WAVEWATCH III מצליחה לתת תחזיות אמינות יותר משימוש בחבילת התוכנה WAM בגרסתה האחרונה. מומלץ ליצור קשר עם היא"ל כדי שיפעיל בנוסף לתוכנת WAM גם את תוכנת WAVEWATCH III.

**17.** לגבי תחזיות זרמים בעמודת המים, אפשר לציין כי היא"ל מריץ כיום את מודל SELIPS כחלק ממערכת משולבת ים תיכונית של גופי מחקר. לצערנו, כרגע המודל מורץ בסריג גס מדי כדי שיהיה שימושי למתן התרעה לצורכי חקלאות ימית, למרות שהמודל מורץ במצב אופרטיבי עם עדכונים יומיים. מומלץ לבוא בדברים עם היא"ל לפיתוח והתאמת מודול המצופף את הסריג החישובי באזורי אתרי כלובי דגים, עם סריג בעל גודל צלע של לא יותר מ-25 מ' ופתרון בשכבות עומק רבות יותר כדי לקבל מידע על הזרמים בתחום העומקים בהם מתוכנים להפעיל כלובים בעמודת המים.

**18.** יישום ההמלצות הנ"ל צפוי לשפר באופן משמעותי את אפשרות ההגנה על כלובי הדגים. בנוסף יש לדרוש כי מערכות כלובי דגים ייבדקו באמצעות מודלים כאלה שהוצעו מקודם וכן לבצע תכנית בקרה שוטפת והחלפה תקופתית של חבלי העגינה, גם אם למרעית עין בלתי מקצועית, החבלים נראים במצב סביר.

## הכרת תודה

המחבר מבקש להודות לגופים שאפשרו מסירה ושימוש בנתוני המדידות שלהם לצורך ביצוע המחקר :

- חקר ימים ואגמים לישראל (חיא"ל) ובמיוחד לה"ה לזר רסקין, ד"ר איסק גרטמן, מר רון גולדמן וד"ר אלי ביטון עבור נתוני הגלים והזרמים מחדרה ונתוני מודל סליפס,
- השירות המטאורולוגי הישראלי (שמ"ט) עבור נתוני הרוחות באתר הנתונים שלהם ובמיוחד לד"ר עמית סביר, מנהל מרכז החיזוי על הדרכתו לגבי נתוני האתר של שמ"ט,
- חברת נמלי ישראל פיתוח ונכסים (חנ"י) על הרשאתה של שימוש בנתוני הגלים מתחנות הגלים שלה בחיפה ובאשדוד ושל נתוני מדידות הזרמים באשדוד שבוצעו עבורה ע"י חיא"ל,
- חברת המכון הישראלי להנדסה ימית על העברת בהנחיית חנ"י של נתוני גלים מתחנות הגלים בחיפה ואשדוד שהיא מתפעלת עבור חנ"י ושל נתוני מדידות הזרמים מאשדוד שהועברו אליהם ע"י חיא"ל ובמיוחד לד"ר אורי קושנר ולד"ר מיכאל גלזמן על הטיפול בהכנת והעברת הנתונים.

המחבר מבקש להודות גם עבור מידע חשוב שנמסר לו מאת מר גיא ארושס, נציג החברת "לב ים" המפעילה כלובי דגים מול מכמורת, ולנציגי החברות המפעילות כלובי דגים מול צפון אשדוד ובתוך נמל אשדוד בעת הביקור אצלם בפברואר 2016, מר רועי רביב נציג חברת "דג היס", ה"ה ניר צוהרי מחברת "דגי איכות" ומר עודד גולדן מחברת "דג סוף". תודה מיוחדת והערכה רבה על שיתוף הפעולה בהעברת מידע מפורט לגבי כלובי הדגים של חברות דג היס ודגי איכות (בבעלות חברת ערדג) נמסרת למר גיא שביט סמנכ"ל הנדסה ופיתוח בחברת "ערדג".

המחבר מבקש להודות מקרב לב למשרד החקלאות ופיתוח הכפר, אגף הדיג וחקלאות מים ובמיוחד לאינג' נעם מוזס, מנהל תחום חקלאות ימית על כי סמכו ביצוע מחקר זה בידינו, על שיתוף הפעולה לאורך תקופת הכנת הדוח, על ההבנה והסבלנות שגילו לגבי סיום הדו"ח שהתעכב באופן לא צפוי בעקבות ניתוח קשה שעבר המחבר ולבסוף על ההערות המועילות בבדיקתו את טיוטת הדו"ח.

## i. תוכן העניינים

<u>פרק</u>	<u>תאור הפרק</u>	<u>עמוד</u>
	אזהרה והסרת אחראיות	ii
	תקציר מנהלים	iii
	הכרת תודה	x
.i	תוכן העניינים	1
.ii	רשימת טבלאות	5
.iii	רשימת איורים	9
.iv	רשימת נספחים (בכרך נפרד)	23
.1	<b>מבוא</b>	27
1.1	תיאור מטרות העבודה המדווחת והיקפה	27
1.2	מקורות ותיאור המידע לביצוע העבודה	28
1.2.1	נתוני רוחות	28
1.2.2	נתוני גלים	28
1.2.3	נתוני זרמים	29
1.2.4	מידע גיאולוגי על צדודית קרקעית הים לאורך החוף ומבנה קרקעית הים	30
1.2.5	מידע לגבי כלובי הדגים	38
1.2.6	מקורות מידע נוסף לגבי כלובי הדגים בארץ ובעולם, אירועי נזקים לכלובי דגים ועוד	41
1.2.7	סוגי כלובי דגים שנמצאים בשימוש בישראל	44
.2	<b>שיטות עיבוד הנתונים וניתוח המידע</b>	46
2.1	שיטות אפיון וניתוח על פי טווח זמן	46
2.1.0	כללי	46
2.1.1	אפיונים סטטיסטיים לטווח זמן קצר (במצב תמידי כביכול)	46
2.1.2	אפיונים סטטיסטיים לטווח זמן ארוך (עונתי, שנתי)	49
2.1.3	אפיונים סטטיסטיים לטווח זמן ארוך (עשרות עד מאות שנים)	50
2.2	שיטות חישוב כוחות על כלובי דגים	53
2.3	חישובים הידרודינמיים קינמטיים לטווח זמן קצר	55
2.4	מערכות ושיטות עגינה של כלובי דגים	58
3.	עיבוד וניתוח הנתונים המטאו-ימיים לאפיינים סטטיסטיים באזור אשדוד	60
3.1	אפיון הרוחות באזור אשדוד בים	60

## i. תוכן העניינים - המשך

<u>פרק</u>	<u>תאור הפרק</u>	<u>עמוד</u>
3.	עיבוד וניתוח הנתונים המטאו-ימיים לאפיינים סטטיסטיים באזור אשדוד	60
3.1	אפיון הרוחות באזור אשדוד בים	60
3.1.1	עיבוד נתוני הרוחות לבנק נתוני רוחות וגלים שעתיים	60
3.1.2	אומדן של משטר הרוחות במצבי קיצון נדירים מול אשדוד באזור המיועד לחוות כלובי דגים	60
3.1.3	אומדן של משטר הרוחות הרב שנתי (שנתי, קיצי וחורפי) מול אשדוד באזור המיועד לחוות כלובי דגים	62
3.2	<b>עיבוד מידע הגלים ואפיון הגלים באזור אשדוד</b>	65
3.2.1	יצירת בנק נתוני גלים אחיד במים עמוקים באזור אשדוד	65
3.2.2	יצירת בנק נתוני גלים בקווי העומק המיועדים לחוות כלובי דגים (60- מ' ו-40- מ')	66
3.2.3	אומדן של משטר הגלים במצבי קיצון נדירים מול אשדוד במים עמוקים	66
3.2.4	אומדן של משטר הגלים במצבי קיצון נדירים מול אשדוד במים עמוקים	66
3.2.5	אומדן של משטר הגלים הרב שנתי (שנתי, קיצי וחורפי) מול אשדוד	68
3.2.6	אומדן של משטר הגלים במצבי קיצון נדירים מול אשדוד על קו עומק 60- מ'	74
3.2.7	אומדן של משטר הגלים הרב שנתי (שנתי, קיצי וחורפי) מול אשדוד על קו עומק 60- מ'	77
3.2.8	אומדן של משטר הגלים במצבי קיצון נדירים מול אשדוד על קו עומק 40- מ'	83
3.2.9	אומדן של משטר הגלים הרב שנתי (שנתי, קיצי וחורפי) מול אשדוד על קו עומק 40- מ'	86
3.3	<b>אפיון הזרמים באזור אשדוד</b>	93
3.3.1	עיבוד נתוני הזרמים לבנק נתוני זרמים שעתיים בשלושה עומקים מתחת לפני הים על קו עומק 27- מ' ...	93
3.3.2	אומדן של משטר הזרמים במצבי קיצון נדירים מול אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 4- מ' מפני הים	93
3.3.3	אומדן של משטר הזרמים הרב שנתי מול אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 4- מ' מפני הים	95
3.3.4	אומדן של משטר הזרמים במצבי קיצון נדירים מול אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 11- מ' מפני הים ..	98
3.3.5	אומדן של משטר הזרמים הרב שנתי מול אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 11- מ' מפני הים	101
3.3.6	אומדן של משטר הזרמים במצבי קיצון נדירים מול אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 22- מ' מפני הים ..	104
3.3.7	אומדן של משטר הזרמים הרב שנתי מול אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 22- מ' מפני הים	107
3.3.8	אומדן של הזרמים בקווי עומק 40- מ' ו-60- מ' מול אשדוד במצבי קיצון	110
4.	<b>עיבוד וניתוח הנתונים המטאו-ימיים לאפיינים סטטיסטיים באזור מכמורת</b>	114
4.1	<b>אפיון הרוחות באזור מכמורת בים</b>	114

## i. תוכן העניינים - המשך

<u>פרק</u>	<u>תיאור הפרק</u>	<u>עמוד</u>
4.1.1	עיבוד נתוני הרוחות לבנק נתוני רוחות וגלים שעתיים .....	114
4.1.2	אומדן של משטר הרוחות במצבי קיצון נדירים מול מכמורת באזור המיועד לחוות כלובי דגים .....	116
4.1.3	אומדן של משטר הרוחות הרב שנתי (שנתי, קיצי וחורפי) מול מכמורת באזור המיועד לחוות כלובי דגים .....	117
<b>4.2</b>	<b>אפיון הגלים באזור מכמורת .....</b>	121
4.2.1	יצירת בנק נתוני גלים אחיד במים עמוקים באזור מכמורת .....	121
4.2.2	יצירת בנק נתוני גלים בקווי עומק המיועדים לחוות כלובי דגים (60- מ' ו-40- מ') .....	122
4.2.3	אומדן של משטר הגלים במצבי קיצון נדירים מול מכמורת במים עמוקים .....	122
4.2.4	אומדן של משטר הגלים במצבי קיצון נדירים מול מכמורת במים עמוקים .....	122
4.2.5	אומדן של משטר הגלים הרב שנתי (שנתי, קיצי וחורפי) מול מכמורת .....	124
4.2.6	אומדן של משטר הגלים במצבי קיצון נדירים מול מכמורת על קו עומק 60- מ' .....	130
4.2.7	אומדן של משטר הגלים הרב שנתי (שנתי, קיצי וחורפי) מול מכמורת על קו עומק 60- מ' .....	132
4.2.8	אומדן של משטר הגלים במצבי קיצון נדירים מול מכמורת על קו עומק 40- מ' .....	138
4.2.9	אומדן של משטר הגלים הרב שנתי (שנתי, קיצי וחורפי) מול מכמורת על קו עומק 40- מ' .....	140
<b>4.3</b>	<b>אפיון הזרמים באזור מכמורת .....</b>	146
4.3.1	עיבוד נתוני הזרמים לבנק נתוני זרמים שעתיים בשלושה עומקים מתחת לפני הים על קו עומק 27- מ' .....	146
4.3.2	אומדן של משטר הזרמים במצבי קיצון נדירים מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 4- מ' מפני הים ..	147
4.3.3	אומדן של משטר הזרמים הרב שנתי מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 4- מ' מפני הים .....	148
4.3.4	אומדן של משטר הזרמים במצבי קיצון נדירים מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 11- מ' מפני הים .....	151
4.3.5	אומדן של משטר הזרמים הרב שנתי מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 11- מ' מפני הים .....	153
4.3.6	אומדן של משטר הזרמים במצבי קיצון נדירים מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 22- מ' מפני הים .....	155
4.3.7	אומדן של משטר הזרמים הרב שנתי מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 22- מ' מפני הים .....	157
4.3.8	אומדן של הזרמים בקווי עומק 40- מ' ו-60- מ' מול מכמורת במצבי קיצון .....	160
<b>.5</b>	<b>חקר אירועי הסערות בינואר ופברואר 2015 .....</b>	164
5.0	כללי .....	164
5.1	ניתוח אירועי הסערות בינואר ופברואר 2015 מבחינת גלים וזרמים ושכיחותן של מצבים אלה .....	177

## i. תוכן העניינים - המשך

<u>פרק</u>	<u>תיאור הפרק</u>	<u>עמוד</u>
5.1 א	ניתוח אירועי הנזקים הנמל אשדוד	177
5.1 ב	ניתוח אירועי הנזקים בים הפתוח	177
5.2	ניתוח אירועי הסערות בשנים 2009-2014 מבחינת גלים וזרמים ושכיחותן של מצבים אלה	178
.6	<b>אפיון מצבי קיצון מטא-ימיים לגבי תנאי זרימה, גלים וכוחות שיפעלו על כלוב דגים בים</b>	180
6.1	בחירת מאפייני הגלים, הזרמים והרוחות לביצוע הדמיות של מהירויות ותאוצות על גוף טבול (כלוב) במצבי קיצון	180
6.2 א	הצגת תוצאות ההרצות של ההדמיות של התנאים ההידרודינמיים המתפתחים במצבי קיצון על גוף טבול בים במיקום המיועד לכלובי הדגים מול חופי צפון אשדוד	182
6.2 ב	הצגת תוצאות של אמדנים של הכוחות על גוף טבול בים במיקום המיועד לכלובי הדגים מול חופי צפון אשדוד	216
6.3 א	הצגת תוצאות ההרצות של ההדמיות של התנאים ההידרודינמיים המתפתחים במצבי קיצון על גוף טבול בים במיקום המיועד לכלובי הדגים מול חופי ממורת	217
6.3 ב	הצגת תוצאות של אמדנים של הכוחות על גוף טבול בים במיקום המיועד לכלובי הדגים מול חופי ממורת	267
6.4	לקחים לגבי דרישות אפיון לעמידות כלובי דגים שיוצבו מול החוף הישראלי	268
6.5	מסקנות לגבי עמידות הכלובים שהוצבו עד היום בים בתלות באורך החיים הכלכלי והסיכון	270
.7	<b>המלצות מערכתיות על התרעה, גילוי ותגובה</b>	271
.8	<b>סיכום</b>	272
.9	<b>מקורות ספרות</b>	273
.10	<b>Acknowledgements and Credits</b>	279
.11	<b>Executive Summary</b>	280

## ii. רשימת טבלאות

<u>מס'</u>	<u>כותרת הטבלה</u>	<u>עמוד</u>
1-1	שינוי עומק המים כתלות במרחק מהחוף, לאורך חוף הים התיכון הדרום-מזרחי	33
1-2	אפיון אירועי נזקים לכלובי הדגים בחוף הישראלי בים התיכון מאז 2009	39
1-3	מידע שהתקבל בעת ביקור אצל מפעילי כלובי דגים ב-2.2.2016	40
1-4	סיווג כלובי דגים ודוגמאות של יצרנים של כלובים על פי הסיווג	44
1-5	קוטר או צלע כלוב צף (לכלובי דגיגים) וגובהו	45
2-1	השפעת תקופת חזרה הממוצעת, אחוז הסיכון ואורך החיים הכלכלי על בחירת גובה גל התכן ...	52
3-1	חישוב ערכי קיצון של רוחות בחוף אשדוד	61
3-2	מידע על נתונים חסרים ומקדמי התיקון	62
3-3	אומדן שכיחות שנתית משותפת של עוצמת הרוח הממוצעת השעתית ושל כיוון הרוח השעתית בחוף אשדוד	63
3-4	ערכי קיצון של גובה גל סיגניפיקנטי על בסיס 5 פרוסים שונים באשדוד במים עמוקים	67
3-5	שכיחות שנתית משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום במים עמוקים מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	69
3-6	התפלגות כיוונית של גובה הגל הסיגניפיקנטי כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת במים עמוקים מול חופי צפון אשדוד בתקופה אפריל 1992- מרץ 2016	70
3-7	התפלגות כיוונית של זמן מחזור השיא של הגלים כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת במים עמוקים מול חופי צפון אשדוד בתקופה אפריל 1992- מרץ 2016	71
3-8	ערכי קיצון של גובה גל סיגניפיקנטי על בסיס 5 פרוסים שונים בקו עומק 60- מ' מול אשדוד ...	75
3-9	שכיחות שנתית משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום על קו עומק 60- מ' מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	78
3-10	התפלגות כיוונית של גובה הגל הסיגניפיקנטי כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת על קו עומק 60- מ' מול חופי צפון אשדוד בתקופה אפריל 1992- מרץ 2016	79
3-11	התפלגות כיוונית של זמן מחזור השיא של הגלים כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת על קו עומק 60- מ' מול חופי צפון אשדוד בתקופה אפריל 1992- מרץ 2016	80
3-12	ערכי קיצון של גובה גל סיגניפיקנטי על בסיס 5 פרוסים שונים בקו עומק 40- מ' מול אשדוד ...	84
3-13	שכיחות שנתית משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום על קו עומק 40- מ' מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	87
3-14	התפלגות כיוונית של גובה הגל הסיגניפיקנטי כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת על קו עומק 40- מ' מול חופי צפון אשדוד בתקופה אפריל 1992- מרץ 2016	88
3-15	התפלגות כיוונית של זמן מחזור השיא של הגלים כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת על קו עומק 60- מ' מול חופי צפון אשדוד בתקופה אפריל 1992- מרץ 2016	89



## ii. רשימת טבלאות - המשך

<u>מס'</u>	<u>כותרת הטבלה</u>	<u>עמוד</u>
3-16	ערכי קיצון של מהירות הזרם בעומק 4- מ' על קו עומק 27- מ' לפי 5 פרוסים שונים מול אשדוד .	94
3-17	אומדן שכיחות משותפת ממוצעת שנתית של מהירות וכיוון הזרם השעתי הממוצע מול צפון אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 4 מ' מתחת לפני הים	96
3-18	ערכי קיצון של מהירות הזרם בעומק 11- מ' על קו עומק 27- מ' לפי 5 פרוסים שונים מול אשדוד	99
3-19	אומדן שכיחות משותפת ממוצעת שנתית של מהירות וכיוון הזרם השעתי הממוצע מול צפון אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 11 מ' מתחת לפני הים	102
3-20	ערכי קיצון של מהירות הזרם בעומק 22- מ' על קו עומק 27- מ' לפי 5 פרוסים שונים מול אשדוד	105
3-21	אומדן שכיחות משותפת ממוצעת שנתית של מהירות וכיוון הזרם השעתי הממוצע מול צפון אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 22 מ' מתחת לפני הים	108
4-1	ערכי קיצון של מהירויות הרוח השעתית על בסיס 5 פרוסים שונים במכמורת על קו עומק 2- מ'	116
4-2	מידע על נתונים חסרים ומקדמי התיקון	118
4-3	אומדן שכיחות שנתית משותפת של עוצמת הרוח הממוצעת השעתית ושל כיוון הרוח השעתית מול מכמורת על קו עומק 2- מ'	119
4-4	ערכי קיצון של גובה גל סיגניפיקנטי על בסיס 5 פרוסים שונים במכמורת במים עמוקים	123
4-5	שכיחות שנתית ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום במים עמוקים מול חופי מכמורת עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	125
4-6	התפלגות כיוונית של גובה הגל הסיגניפיקנטי כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת במים עמוקים מול חופי מכמורת בתקופה אפריל 1992- מרץ 2016	126
4-7	התפלגות כיוונית של זמן מחזור השיא של הגלים כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת במים עמוקים מול חופי מכמורת בתקופה אפריל 1992- מרץ 2016	127
4-8	ערכי קיצון של גובה גל סיגניפיקנטי על בסיס 5 פרוסים שונים במכמורת על קו עומק 60- מ'	131
4-9	שכיחות שנתית ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום על קו עומק 60- מ' מול חופי מכמורת עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	133
4-10	התפלגות כיוונית של גובה הגל הסיגניפיקנטי כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת על קו עומק 60- מ' מול חופי מכמורת בתקופה אפריל 1992- מרץ 2016	134
4-11	התפלגות כיוונית של זמן מחזור השיא של הגלים כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת על קו עומק 60- מ' מול חופי מכמורת בתקופה אפריל 1992- מרץ 2016	135
4-12	ערכי קיצון של גובה גל סיגניפיקנטי על בסיס 5 פרוסים שונים במכמורת על קו עומק 40- מ'	139
4-13	שכיחות שנתית ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום על קו עומק 40- מ' מול חופי מכמורת עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	141
4-14	התפלגות כיוונית של גובה הגל הסיגניפיקנטי כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת על קו עומק 40- מ' מול חופי מכמורת בתקופה אפריל 1992- מרץ 2016	142
4-15	התפלגות כיוונית של זמן מחזור השיא של הגלים כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת על קו עומק 40- מ' מול חופי מכמורת בתקופה אפריל 1992- מרץ 2016	143

## ii. רשימת טבלאות - המשך

מס'	כותרת הטבלה	עמוד
4-16	ערכי קיצון של מהירות הזרם בעומק 4- מ' על קו עומק 27- מ' לפי 5 פרוסים שונים מול מכמורת .....	147
4-17	אומדן שכיחות משותפת ממוצעת שנתית של מהירות וכיוון הזרם השעתי הממוצע מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 4 מ' מתחת לפני הים .....	149
4-18	ערכי קיצון של מהירות הזרם בעומק 11- מ' על קו עומק 27- מ' לפי 5 פרוסים שונים מול מכמורת .....	152
4-19	אומדן שכיחות משותפת ממוצעת שנתית של מהירות וכיוון הזרם השעתי הממוצע מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 11 מ' מתחת לפני הים .....	153
4-20	ערכי קיצון של מהירות הזרם בעומק 22- מ' על קו עומק 27- מ' לפי 5 פרוסים שונים מול מכמורת .....	156
4-21	אומדן שכיחות משותפת ממוצעת שנתית של מהירות וכיוון הזרם השעתי הממוצע מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 22 מ' מתחת לפני הים .....	158
5-1	אומדן תקופות חזרה ממוצעות של פרמטרים מטאוימיים באירועי קיצון .....	164
5-2	ערכי קיצון מטא-ימיים באירועי הסערות שתוארו לעיל מאז 12/2009 עד 03/2015 מצפון מערב לאשדוד .....	179
6-1	ערכי קיצון של פרמטרים ימיים שהתקבלו מניתוח המידע ואשר שימשו לבחירת התרחישים שנבדקו מבחינת הכוחות ההידרודינמיים על כלובים .....	181
6-2	הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 14.4 מ', זמן מחזור 14.6 שני, זרם כללי של 1.10 מ'שני, $x=0$ , בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גל עם תקופת חזרה 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה .....	184
6-3	הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 14.4 מ', זמן מחזור 14.6 שני, זרם כללי של 1.10 מ'שני, $x=0$ , בעומק 34 מ' מתחת לפני הים, גל עם תקופת חזרה 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה .....	188
6-4	הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 15.2 מ', זמן מחזור של 15.0 שני, זרם כללי של 1.10 מ'שני, $x=0$ , בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה .....	192
6-5	הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 15.2 מ', זמן מחזור של 15.0 שני, זרם כללי של 1.10 מ'שני, $x=0$ , בעומק 34 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה .....	196
6-6	הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 60 מ', גובה גל מרבי 14.6 מ', זמן מחזור 14.7 שני, זרם כללי של 1.00 מ'שני, $x=0$ , בעומק 42 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה .....	200
6-7	הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 60 מ', גובה גל מרבי 14.6 מ', זמן מחזור 14.7 שני, זרם כללי של 0.95 מ'שני, $x=0$ , בעומק 54 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה .....	204
6-8	הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 60 מ', גובה גל מרבי 15.4 מ', זמן מחזור 15.1 שני, זרם כללי של 1.00 מ'שני, $x=0$ , בעומק 42 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה .....	208
6-9	הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 60 מ', גובה גל מרבי 15.4 מ', זמן מחזור 15.1 שני, זרם כללי של 0.95 מ'שני, $x=0$ , בעומק 54 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה .....	212

## ii. רשימת טבלאות - המשך

מס'	כותרת הטבלה	עמוד
6-10	תוצאות חישוב אומדן הכח המופעל על כלוב במצב שרידות מול אשדוד .....	216
6-11	הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור 13 שני, זרם כללי ' 1.00 מ'שני, $x=0$ , בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה	219
6-12	הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור 13 שני, זרם כללי ' 1.00 מ'שני, $x=0$ , בעומק 32 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה	223
6-13	הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור 13 שני, זרם כללי של 1.20 מ'שני, $x=0$ , בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה	227
6-14	הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור 13 שני, זרם כללי של 1.20 מ'שני, $x=0$ , בעומק 32 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה	231
6-15	הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור 15.1 שני, זרם כללי של 1.00 מ'שני, $x=0$ , בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה	235
6-16	הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור 15.1 שני, זרם כללי של 1.00 מ'שני, $x=0$ , בעומק 32 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה	239
6-17	הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור 15.1 שני, זרם כללי של 1.20 מ'שני, $x=0$ , בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה	243
6-18	הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור 15.1 שני, זרם כללי של 1.20 מ'שני, $x=0$ , בעומק 32 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה	247
6-19	הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי של 16.0 מ', זמן מחזור 15.4 שני, זרם כללי של 1.00 מ'שני, $x=0$ , בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה	251
6-20	הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי של 16.0 מ', זמן מחזור 15.4 שני, זרם כללי של 1.00 מ'שני, $x=0$ , בעומק 32 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה	255
6-21	הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי של 16.0 מ', זמן מחזור 15.4 שני, זרם כללי של 1.20 מ'שני, $x=0$ , בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה	259
6-22	הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי של 16.0 מ', זמן מחזור 15.4 שני, זרם כללי של 1.20 מ'שני, $x=0$ , בעומק 32 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה	263
6-23	תוצאות חישוב אומדן הכח המופעל על כלוב במצב שרידות מול מכמורת .....	267

### iii. רשימת איורים

מס'	כותרת	עמוד
1.1	טופוגרפיה וחתך סכמטי של רכסי הכורכר העיקריים במדף היבשת. (בעקבות אלמגור ואחרים, 1998).	32
1.2	השתנות עומק המים כתלות במרחק מהחוף בחוף הים התיכון הדרום-מזרחי.	34
1.3	מפת תפוצת ריכוזי הגז הרדוד מתחת לשכבת החרסית אשר שקעה בין 12,000 שנה ל-10,000 שנה לפני זמננו - פוליגונים אדומים. כמו כן משורטטים קווי סקר האיים המלאכותיים (8-1997) וסקר נוסף (2011), (בעקבות גולן, 2012).	35
1.4	מפת נתיבי הסקרים הסיסמיים מ-1997/8 ו-2011. פוליגון כחול כהה - אזור תיכנון צינור הגז וקו עומק 100 מ'. מסומנים גם נקודות החשדות כשבירה צעירה וקו החוף הגלאציאלי. הפוליגון הצהוב מציין את רצועת הגז (בעקבות גולן-2012).	36
1.5	מפות אילוצים שונים, כולל סיכונים גיאולוגיים של שקיעות קרקע ושברים במדף היבשת הרדוד של ישראל שהוכנו לצורך תמ"א 37 ח' (בעקבות דו"ח לרמן אדריכלים ומתכנני ערים, מרץ 2012).	37
1.6	כלוב (Tension Leg Cage) TLC של REFAMED.	42
1.7	כלובי Polarcircel של AKVA.	42
1.8	א. כלוב של Farmocean; ב. מבנה כלוב של Farmocean.	42
1.9	כלוב SeaStation 6400 של InnovaSea.	42
1.10	כלוב Aquapod של InnovaSea.	42
1.11	כלוב Oceanis 2.	43
1.12	מערכת כלובי סבפלקס.	43
1.13	כלוב צף גמיש מסוג Bridgestone.	43
1.14	כלוב צף מסוג Triton.	43
1.15	א. כלובי Aqualine Midgard; ב. מבנה כלוב Aqualine Midgard.	43
1.16	א. כלוב רפאמד טרם השקעה במכמורת; ב. מצופי כלובי רפאמד שקועים.	44
1.17	חוות הכלובים באשדוד ליד שובר הגלים הראשי (מימין) ובהגדלת פרט (משמאל).	45
2.1	השוואה בין ספקטרום JONSWAP וספקטרום Pierson-Moscovitz.	48
3.1	פרוס וויבול, מקדם $K=2.00$ רמת אמינות של 95% מהירות רוח שעתית למצבי קיצון על קו עומק 2- מ' מול אשדוד.	61
3.2	התפלגות שנתית של שכיחות מהירות הרוח באזור חוף אשדוד.	64
3.3	שכיחות שנתית משותפת של עוצמת רוח ממוצעת שעתית וכיוונה בחוף אשדוד בין 04/1997 – 03/2016.	64
3.4	פרוס וויבול, מקדם $K=1.40$ רמת אמינות של 95% גרף גובה גל סיגניפיקנטי למצבי קיצון במים עמוקים מול אשדוד.	68

### iii. רשימת איורים - המשך

מס'	כותרת	עמוד
3.5	פרוס Fisher-Tippet, רמת אמינות של 95% גרף גובה גל סיגניפיקנטי למצבי קיצון במים עמוקים מול אשדוד	68
3.6	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של גובה הגל הסיגניפיקנטי במים עמוקים מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992-מרץ 2016	72
3.7	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של זמן מחזור שיא הספקטרום במים עמוקים מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992-מרץ 2016	72
3.8	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של אזימות כיוון התקרבות הגלים במים עמוקים מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992-מרץ 2016	73
3.9	שכיחות שנתית ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום במים עמוקים מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992-מרץ 2016	73
3.10	התפלגות כיוונית של גובה הגל הסיגניפיקנטי כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת במים עמוקים מול חופי צפון אשדוד בתקופה אפריל 1992-מרץ 2016	74
3.11	פרוס וויבול, מקדם חזקה $k=1.40$ , רמת אמינות של 95% גרף גובה גל סיגניפיקנטי למצבי קיצון על קו עומק 60- מ' מול אשדוד	76
3.12	פרוס Fisher-Tippet, רמת אמינות של 95% גרף גובה גל סיגניפיקנטי למצבי קיצון על קו עומק 60- מ' מול אשדוד	76
3.13	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של גובה הגל הסיגניפיקנטי על קו עומק 60- מ' מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992-מרץ 2016	81
3.14	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של זמן מחזור שיא הספקטרום על קו עומק 60- מ' מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992-מרץ 2016	81
3.15	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של אזימות כיוון התקרבות הגלים על קו עומק 60- מ' מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992-מרץ 2016	82
3.16	שכיחות שנתית ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום על קו עומק 60- מ' מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992-מרץ 2016	82
3.17	התפלגות כיוונית של גובה הגל הסיגניפיקנטי כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת על קו עומק 60- מ' מול חופי צפון אשדוד בתקופה אפריל 1992-מרץ 2016	83
3.18	רמת אמינות של 95% גרף גובה גל סיגניפיקנטי למצבי קיצון, $k=1.40$ פרוס וויבול, מקדם חזקה על קו עומק 40- מ' מול אשדוד	85
3.19	פרוס Fisher-Tippet, רמת אמינות של 95% גרף גובה גל סיגניפיקנטי למצבי קיצון על קו עומק 40- מ' מול אשדוד	85
3.20	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של גובה הגל הסיגניפיקנטי על קו עומק 40- מ' מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992-מרץ 2016	90
3.21	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של זמן מחזור שיא הספקטרום על קו עומק 40- מ' מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992-מרץ 2016	90
3.22	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של אזימות כיוון התקרבות הגלים על קו עומק 40- מ' מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992-מרץ 2016	91
3.23	שכיחות שנתית ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום על קו עומק 40- מ' מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992-מרץ 2016	91

### iii. רשימת איורים - המשך

מס'	כותרת	עמוד
3.24	התפלגות כיוונית של גובה הגל הסיגניפיקנטי כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת על קו עומק 40- מ' מול חופי צפון אשדוד בתקופה אפריל 1992- מרץ 2016	92
3.25	פרוס Fisher-Tippet, רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 4 מ' מתחת לפי הים מול אשדוד	94
3.26	פרוס וויבול, מקדם חזקה $k=1.40$ , רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 4 מ' מתחת לפי הים מול אשדוד	95
3.27	אומדן שכיחות שנתית, קיצית וחורפית ממוצעת של מהירות הזרם השעתי הממוצע מול אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 4 מ' מתחת לפני הים	97
3.28	שכיחות שנתית, קיצית וחורפית של אזימות כיוון הזרם השעתי הממוצע בעומק 4 מ' על קו עומק 27- מ' מול חופי אשדוד עבור התקופה אפריל 2004 – מרץ 2015	97
3.29	התפלגות כיוונית של השכיחות השנתית הממוצעת של מהירות הזרם השעתי הממוצע מול צפון אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 4 מ' מתחת לפני הים	98
3.30	פרוס Fisher-Tippet, רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 11 מ' מתחת לפי הים מול אשדוד	99
3.31	פרוס וויבול, מקדם חזקה $k=1.00$ , רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 11 מ' מתחת לפי הים מול אשדוד	100
3.32	פרוס וויבול, מקדם חזקה $k=1.40$ , רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 11 מ' מתחת לפי הים מול אשדוד	100
3.33	אומדן שכיחות שנתית, קיצית וחורפית ממוצעת של מהירות הזרם השעתי הממוצע מול אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 11 מ' מתחת לפני הים	103
3.34	שכיחות שנתית, קיצית וחורפית של אזימות כיוון הזרם השעתי הממוצע בעומק 11 מ' על קו עומק 27- מ' מול חופי אשדוד עבור התקופה אפריל 2004 – מרץ 2015	103
3.35	התפלגות כיוונית של השכיחות השנתית הממוצעת של מהירות הזרם השעתי הממוצע מול צפון אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 11 מ' מתחת לפני הים	104
3.36	פרוס Fisher-Tippet, רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 22 מ' מתחת לפי הים מול אשדוד	106
3.37	פרוס וויבול, מקדם חזקה $k=2.00$ , רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 22 מ' מתחת לפי הים מול אשדוד	106
3.38	אומדן שכיחות שנתית, קיצית וחורפית ממוצעת של מהירות הזרם השעתי הממוצע מול אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 22 מ' מתחת לפני הים	109
3.39	שכיחות שנתית, קיצית וחורפית של אזימות כיוון הזרם השעתי הממוצע בעומק 11 מ' על קו עומק 27- מ' מול חופי אשדוד עבור התקופה אפריל 2004 – מרץ 2015	109
3.40	התפלגות כיוונית של השכיחות השנתית הממוצעת של מהירות הזרם השעתי הממוצע מול צפון אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 22 מ' מתחת לפני הים	110
3.41	שכיחות ממוצעת שולית שנתית של אזימות כיוון הזרם השעתי הממוצע בעמודת המים על קו עומק 27- מ' מול חופי אשדוד עבור התקופה אפריל 2004 – מרץ 2015	111
3.42	תבנית הזרמים על פי מודל SELIPS ב- 2016-12-2 ב-4 עומקי מים בים התיכון	112
3.43	השתנות פרוס מהירות הזרם הכללי עם העומק בסערה החזקה בדצמבר 2010	113

### iii. רשימת איורים - המשך

מס'	כותרת	עמוד
4.1	הצגת קורלציה בין מהירויות רוח שעתיות בנמל חדרה (כ-200 מ' מקו החוף) ובקצה מזח הפחם בחדרה (כ-2.1 ק"מ מקו החוף) עבור נתוני מדידות בו-זמניות בתקופה אפריל 2000-מרץ 2009	115
4.2	פרוס וויבול, מקדם $K=2.00$ , רמת אמינות של 95% מהירות רוח שעתית למצבי קיצון על קו עומק 2- מ' מול מכמורת	117
4.3	אמדן שכיחות שנתית, קיצית וחורפית של עוצמת רוח ממוצעת שעתית מול מכמורת בתקופה אפריל 2000 – מרץ 2015 על קו עומק 2- מ' בקרוב	120
4.4	שכיחות שנתית משותפת של עוצמת רוח ממוצעת שעתית וכיוונה מול מכמורת על קו עומק 2- מ' בין אפריל 2000 – מרץ 2015	120
4.5	פרוס וויבול, מקדם $K=2.00$ , רמת אמינות של 90%, גובה גל סיגניפיקנטי למצבי קיצון במים עמוקים מול מכמורת	124
4.6	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של גובה הגל הסיגניפיקנטי במים עמוקים מול חופי מכמורת עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	128
4.7	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של זמן מחזור שיא הספקטרום במים עמוקים מול חופי מכמורת עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	128
4.8	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של אזימות כיוון התקרבות הגלים במים עמוקים מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	129
4.9	שכיחות שנתית ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום במים עמוקים מול חופי מכמורת עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	129
4.10	התפלגות כיוונית של גובה הגל הסיגניפיקנטי כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת במים עמוקים מול חופי מכמורת בתקופה אפריל 1992- מרץ 2016	130
4.11	פרוס וויבול, מקדם $K=2.00$ , רמת אמינות של 90%, גובה גל סיגניפיקנטי למצבי קיצון על קו עומק 60- מ' מול מכמורת	132
4.12	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של גובה הגל הסיגניפיקנטי על קו עומק 60- מ' מול חופי מכמורת עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	136
4.13	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של זמן מחזור שיא הספקטרום על קו עומק 60- מ' מול חופי מכמורת עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	136
4.14	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של אזימות כיוון התקרבות הגלים על קו עומק 60- מ' מול חופי מכמורת עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	137
4.15	שכיחות שנתית ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום על קו עומק 60- מ' מול חופי מכמורת עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	137
4.16	התפלגות כיוונית של גובה הגל הסיגניפיקנטי כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת על קו עומק 60- מ' מול חופי מכמורת בתקופה אפריל 1992- מרץ 2016	138
4.17	פרוס וויבול, מקדם $K=2.00$ , רמת אמינות של 90%, גובה גל סיגניפיקנטי למצבי קיצון על קו עומק 40- מ' מול מכמורת	140
4.18	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של גובה הגל הסיגניפיקנטי על קו עומק 40- מ' מול חופי מכמורת עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	144
4.19	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של זמן מחזור שיא הספקטרום על קו עומק 40- מ' מול חופי מכמורת עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	144

### iii. רשימת איורים - המשך

מס'	כותרת	עמוד
4.20	שכיחות מוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של אזימות כיוון התקרבות הגלים על קו עומק 40- מ' מול חופי מכמורת עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	145
4.21	שכיחות שנתית ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום על קו עומק 40- מ' מול חופי מכמורת עבור התקופה אפריל 1992- מרץ 2016	145
4.22	התפלגות כיוונית של גובה הגל הסיגניפיקנטי כתלות באזימות כיוון התקרבות הגלים, שכיחות שנתית ממוצעת על קו עומק 40- מ' מול חופי מכמורת בתקופה אפריל 1992- מרץ 2016	146
4.23	פרוס וויבול, מקדם חזקה $k=0.75$ , רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 4 מ' מתחת לפי הים מול מכמורת	148
4.24	השכיחות השנתית, הקיצית והחורפית הממוצעת של מהירות הזרם השעתי הממוצע מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 4 מ' מתחת לפני הים	150
4.25	השכיחות השנתית, הקיצית והחורפית של הכיוון הזרם השעתי הממוצע של הזרם מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 4 מ' מתחת לפני הים	150
4.26	התפלגות כיוונית של השכיחות השנתית הממוצעת של מהירות הזרם השעתי הממוצע מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 4 מ' מתחת לפני הים	151
4.27	פרוס וויבול, מקדם חזקה $k=1.00$ , רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 11 מ' מתחת לפי הים מול מכמורת	152
4.28	השכיחות השנתית, הקיצית והחורפית הממוצעת של מהירות הזרם השעתי הממוצע מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 11 מ' מתחת לפני הים	154
4.29	השכיחות השנתית הקיצית והחורפית הממוצעת של הכיוון השעתי הממוצע של הזרם מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 11 מ' מתחת לפני הים	154
4.30	התפלגות כיוונית של השכיחות השנתית הממוצעת של מהירות הזרם השעתי הממוצע מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 11 מ' מתחת לפני הים	155
4.31	פרוס וויבול, מקדם חזקה $k=1.00$ , רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 22 מ' מתחת לפי הים מול מכמורת	157
4.32	אומדן השכיחות השנתית, הקיצית והחורפית הממוצעת של מהירות הזרם השעתי הממוצע מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 22 מ' מתחת לפני הים	159
4.33	השכיחות השנתית, הקיצית והחורפית הממוצעת של הכיוון השעתי הממוצע של הזרם על קו עומק 27- מ' בעומק 22 מ' מתחת לפני הים	159
4.34	התפלגות כיוונית של השכיחות השנתית הממוצעת של מהירות הזרם השעתי הממוצע מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 22 מ' מתחת לפני הים	160
4.35	תבנית הזרמים על פי מודל SELIPS ב-2016-12-2 ב-4 עומקי מים בים התיכון	162
4.36	השתנות פרוס מהירות הזרם הכללי עם העומק בסערה החזקה בדצמבר 2010	163
5.1	הסטוריית מצב הים בין 16 ל-32 בדצמבר 2009 מול אשדוד	165
5.2	הסטוריית מהירות הרוח ומהירות הזרם על קו עומק 27- מ' בין 16 ל-32 בדצמבר 2009 מול אשדוד	165
5.3	הסטוריית מצב הים בין 11 ל-15 בדצמבר 2010 מול אשדוד	166



### iii. רשימת איורים - המשך

מס'	כותרת	עמוד
5.4	הסטוריית מהירות הרוח ומהירות הזרם על קו עומק 27- מ' בין 11 ל-15 בדצמבר 2010 מול אשדוד	166
5.5	הסטוריית מצב הים בין 05 ל-10 בינואר 2013 מול אשדוד	167
5.6	הסטוריית מהירות הרוח ומהירות הזרם על קו עומק 27- מ' בין 05 ל-10 בינואר 2013 מול אשדוד	167
5.7	תבנית הזרמים היומית הממוצעת בפני הים ב-2013-1-7 לפי מודל SELIPS	168
5.8	תבנית הזרמים היומית הממוצעת בפני הים ב-2013-1-9 לפי מודל SELIPS	169
5.9	הסטוריית מצב הים בין 25 ל-28 בנובמבר 2014 מול אשדוד	170
5.10	הסטוריית מהירות הרוח ומהירות הזרם על קו עומק 27- מ' בין 25 ל-28 בנובמבר 2014 מול אשדוד	170
5.11	תבנית הזרמים היומית הממוצעת בפני הים ב-2014-11-26 לפי מודל SELIPS	171
5.12	הסטוריית מצב הים בין 6 ל-11 בינואר 2015 מול אשדוד	172
5.13	הסטוריית מהירות הרוח ומהירות הזרם על קו עומק 27- מ' בין 6 ל-11 בינואר 2015 מול אשדוד	172
5.14	תבנית הזרמים היומית הממוצעת בפני הים ב-2015-1-6 לפי מודל SELIPS	173
5.15	הסטוריית מצב הים בין 10 ל-14 בפברואר 2015 מול אשדוד	174
5.16	הסטוריית מהירות הרוח ומהירות הזרם על קו עומק 27- מ' בין 10 ל-14 בפברואר 2015 מול אשדוד	174
5.17	תבנית הזרמים היומית הממוצעת בפני הים ב-2015-2-11 לפי מודל SELIPS	175
5.18	ערכי גלי קיצון שנתיים (מאפריל בשנה אחת עד מרץ בשנה העוקבת) מאז 01.04.1992 עד 31.03.2016 מול חופי אשדוד	176
6.1	סכימה של הגדרות כיוונים	182
6.2	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 14.4 מ', זמן מחזור 14.6 שני, זרם כללי של 1.10 מ'שני, $x=0$ , בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גל עם תקופת חזרה 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה	185-187
6.2	תצורת הגל על פני שני מחזורים	185
6.3	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	185
6.4	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	185
6.5	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים	186
6.6	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים	186
6.7	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים	186
6.8	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים	187
6.9	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים	187
6.10	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים	187

### iii. רשימת איורים - המשך

מס'	כותרת	עמוד
6.11	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 14.4 מ', זמן מחזור 14.6 שני, זרם כללי של 1.10 מ' לשני, $x=0$ , בעומק 34 מ' מתחת לפני הים, גל עם תקופת חזרה 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה	189-191
6.11	תצורת הגל על פני שני מחזורים	189
6.12	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	189
6.13	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	189
6.14	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים	190
6.15	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים	190
6.16	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים	190
6.17	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים	191
6.18	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים	191
6.19	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים	191
6.20	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 15.2 מ', זמן מחזור של 15.0 שני, זרם כללי של 1.10 מ' לשני, $x=0$ , בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה	193-195
6.20	תצורת הגל על פני שני מחזורים	193
6.21	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	193
6.22	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	193
6.23	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים	194
6.24	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים	194
6.25	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים	194
6.26	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים	195
6.27	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים	195
6.28	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים	195
6.29	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 15.2 מ', זמן מחזור של 15.0 שני, זרם כללי של 1.10 מ' לשני, $x=0$ , בעומק 34 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה	197-199
6.29	תצורת הגל על פני שני מחזורים	197
6.30	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	197
6.31	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	197
6.32	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים	198
6.33	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים	198

### iii. רשימת איורים - המשך

מס'	כותרת	עמוד
6.34	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים	198
6.35	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים	199
6.36	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים	199
6.37	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים	199
6.38	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 60 מ', גובה גל מרבי 14.6 מ', זמן מחזור	201-
עד	14.7 שני, זרם כללי של 1.00 מ'שני, $x=0$ , בעומק 42 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת	203
6.46	חזרה של 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה	203
6.38	תצורת הגל על פני שני מחזורים	201
6.39	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	201
6.40	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	201
6.41	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים	202
6.42	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים	202
6.43	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים	202
6.44	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים	203
6.45	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים	203
6.46	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים	203
6.47	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 60 מ', גובה גל מרבי 14.6 מ', זמן מחזור	205-
עד	14.7 שני, זרם כללי של 0.95 מ'שני, $x=0$ , בעומק 54 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת	207
6.55	חזרה של 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה	207
6.47	תצורת הגל על פני שני מחזורים	205
6.48	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	205
6.49	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	205
6.50	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים	206
6.51	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים	206
6.52	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים	206
6.53	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים	207
6.54	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים	207
6.55	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים	207
6.56	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 60 מ', גובה גל מרבי 15.4 מ', זמן מחזור	209-
עד	15.1 שני, זרם כללי של 1.00 מ'שני, $x=0$ בעומק 42 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת	211
6.64	חזרה של 100 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה	211
6.56	תצורת הגל על פני שני מחזורים	209
6.57	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	209

### iii. רשימת איורים - המשך

מס'	כותרת	עמוד
6.58	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	209
6.58	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים	210
6.60	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים	210
6.61	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים	210
6.62	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים	211
6.63	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים	211
6.64	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים	211
6.65	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 60 מ', גובה גל מרבי 15.4 מ', זמן מחזור עד	213-
6.73	חזרה של 100 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה	215
6.65	תצורת הגל על פני שני מחזורים	213
6.66	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	213
6.67	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	213
6.68	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים	214
6.69	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים	214
6.70	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים	214
6.71	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים	215
6.72	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים	215
6.73	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים	215
6.74	סכימה של הגדרות כיוונים	217
6.75	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור 13 שני, זרם כללי 1.00 מ'שני, $x=0$ , בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת	220-
6.83	חזרה של 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה	222
6.75	תצורת הגל על פני שני מחזורים	220
6.76	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	220
6.77	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	220
6.78	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים	221
6.79	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים	221
6.80	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים	221
6.81	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים	222
6.82	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים	222
6.83	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים	222

### iii. רשימת איורים - המשך

מס'	כותרת	עמוד
6.84	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור 13 שני, זרם כללי 1.00 מ' לשני, $x=0$ , בעומק 32 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה	224-226
6.84	תצורת הגל על פני שני מחזורים	224
6.85	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	224
6.86	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	224
6.87	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים	225
6.88	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים	225
6.89	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים	225
6.90	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים	226
6.91	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים	226
6.92	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים	226
6.93	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור 13 שני, זרם כללי של 1.20 מ' לשני, $x=0$ , בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 25 שנה	228-230
6.93	תצורת הגל על פני שני מחזורים	228
6.94	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	228
6.95	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	228
6.96	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים	229
6.97	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים	229
6.98	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים	229
6.99	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים	230
6.100	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים	230
6.101	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים	230
6.102	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור 13 שני, זרם כללי של 1.20 מ' לשני, $x=0$ , בעומק 32 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 25 שנה	232-234
6.102	תצורת הגל על פני שני מחזורים	232
6.103	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	232
6.104	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	232
6.105	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים	233
6.106	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים	233

### iii. רשימת איורים - המשך

עמוד	כותרת	מס'
233	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים	6.107
234	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים	6.108
234	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים	6.109
234	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים	6.110
236-238	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 15.3 מ', זמן מחזור 15.1 שני, זרם כללי של 1.00 מ'שני, $x=0$ , בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה	6.111 6.119
236	תצורת הגל על פני שני מחזורים	6.111
236	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	6.112
236	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	6.113
237	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים	6.114
237	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים	6.115
237	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים	6.116
238	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים	6.117
238	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים	6.118
238	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים	6.119
240-242	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 15.3 מ', זמן מחזור 15.1 שני, זרם כללי של 1.00 מ'שני, $x=0$ , בעומק 32 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה	6.120 6.127
240	תצורת הגל על פני שני מחזורים	6.120
240	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	6.121
240	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	6.122
241	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים	6.123
241	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים	6.124
241	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים	6.125
242	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים	6.126
242	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים	6.127
242	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים	6.128

### iii. רשימת איורים - המשך

עמוד	כותרת	מס'
244-246	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 15.3 מ', זמן מחזור 15.1 שני, זרם כללי של 1.20 מ/שני, $x=0$ , בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 25 שנה	6.129 עד 6.137
244	תצורת הגל על פני שני מחזורים	6.129
244	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	6.130
244	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	6.131
245	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים	6.132
245	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים	6.133
245	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים	6.134
246	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים	6.135
246	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים	6.136
246	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים	6.137
248-250	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 15.3 מ', זמן מחזור 15.1 שני, זרם כללי של 1.20 מ/שני, $x=0$ , בעומק 32 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 25 שנה	6.138 עד 6.146
248	תצורת הגל על פני שני מחזורים	6.138
248	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	6.139
248	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	6.140
249	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים	6.141
249	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים	6.142
249	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים	6.143
250	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים	6.144
250	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים	6.145
250	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים	6.146
252-254	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 16.0 מ', זמן מחזור 15.4 שני, זרם כללי של 1.00 מ/שני, $x=0$ , בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה	6.147 עד 6.155
252	תצורת הגל על פני שני מחזורים	6.147
252	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	6.148
252	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	6.149

### iii. רשימת איורים - המשך

עמוד	כותרת	מס'
253	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים .....	6.150
253	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים .....	6.151
253	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים .....	6.152
254	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים .....	6.153
254	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים .....	6.154
254	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים .....	6.155
256-258	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 16.0 מ', זמן מחזור עד חזרה של 100 שנה וזרם של 1.00 מ' לשני, $x=0$ , בעומק 32 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה .....	6.156
256	תצורת הגל על פני שני מחזורים .....	6.164
256	תצורת הגל על פני שני מחזורים .....	6.156
256	מהירות אופקית על פני שני מחזורים .....	6.157
256	מהירות אנכית על פני שני מחזורים .....	6.158
257	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים .....	6.159
257	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים .....	6.160
257	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים .....	6.161
258	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים .....	6.162
258	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים .....	6.163
258	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים .....	6.164
260-262	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 16.0 מ', זמן מחזור 15.4 שני, זרם כללי של 1.20 מ' לשני, $x=0$ , בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 25 שנה .....	6.165
260	תצורת הגל על פני שני מחזורים .....	6.173
260	תצורת הגל על פני שני מחזורים .....	6.165
260	מהירות אופקית על פני שני מחזורים .....	6.166
260	מהירות אנכית על פני שני מחזורים .....	6.167
261	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים .....	6.168
261	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים .....	6.169
261	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים .....	6.170
262	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים .....	6.171
262	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים .....	6.172
262	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים .....	6.173



### .iii רשימת איורים - המשך

עמוד	כותרת	מס'
264-	תוצאות חישובי הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 16.0 מ', זמן מחזור	6.174
266	עד 15.4 שני, זרם כללי של 1.20 מ' לשני, $x=0$ , בעומק 32 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 25 שנה	6.182
264	תצורת הגל על פני שני מחזורים	6.174
264	מהירות אופקית על פני שני מחזורים	6.175
264	מהירות אנכית על פני שני מחזורים	6.176
265	תאוצה אופקית על פני שני מחזורים	6.177
265	תאוצה אנכית על פני שני מחזורים	6.178
265	פרוס הלחץ על פני שני מחזורים	6.179
266	מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים	6.180
266	תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים	6.181
266	פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים	6.182

iv. רשימת נספחים (בכרך נפרד)

<u>מס'</u>	<u>שם הנספח</u>	<u>עמוד</u>
1.	<b>תוצאות של עיבודים וניתוחים לכלובים באזור אשדוד</b>	1
1.1	<b>רוחות</b>	2
1.1.1	תוצאות ערכי קיצון של רוחות בחוף אשדוד	3
1.1.2	תוצאות של ניתוח סטטיסטי של משטר הרוחות הרב-שנתי באזור אשדוד	9
1.2	<b>גלים</b>	15
1.2.1	תוצאות ערכי קיצון של גבהי גל סיגניפיקנטי מול חופי צפון אשדוד במים עמוקים	16
1.2.2	תוצאות של ניתוח סטטיסטי של משטר הגלים הרב-שנתי מול חופי צפון אשדוד במים עמוקים	22
1.2.3	תוצאות ערכי קיצון של גבהי גל סיגניפיקנטי מול חופי צפון אשדוד על קו עומק 60- מ'	37
1.2.4	תוצאות של ניתוח סטטיסטי של משטר הגלים הרב-שנתי מול חופי צפון אשדוד על קו עומק 60- מ'	45
1.2.5	תוצאות ערכי קיצון של גבהי גל סיגניפיקנטי מול חופי צפון אשדוד על קו עומק 40- מ'	60
1.2.6	תוצאות של ניתוח סטטיסטי של משטר הגלים הרב-שנתי מול חופי צפון אשדוד על קו עומק 40- מ'	67
1.3	<b>זרמים</b>	82
1.3.1	תוצאות ערכי קיצון של זרמים מול חופי צפון אשדוד על קו עומק 27- מ', בעומק 4 מ'	83
1.3.2	תוצאות של ניתוח סטטיסטי של משטר הזרמים הרב-שנתי מול חופי צפון אשדוד על קו עומק 27- מ', בעומק 4 מ'	89
1.3.3	תוצאות ערכי קיצון של זרמים מול חופי צפון אשדוד על קו עומק 27- מ', בעומק 11 מ'	95
1.3.4	תוצאות של ניתוח סטטיסטי של משטר הזרמים הרב-שנתי מול חופי צפון אשדוד על קו עומק 27- מ', בעומק 11 מ'	101
1.3.5	תוצאות ערכי קיצון של זרמים מול חופי צפון אשדוד על קו עומק 27- מ', בעומק 22 מ'	107
1.3.6	תוצאות של ניתוח סטטיסטי של משטר הזרמים הרב-שנתי מול חופי צפון אשדוד על קו עומק 27- מ', בעומק 22 מ'	113
1.4	<b>תוצאות של הדמיות תנאים הידרודינמיים במצבי קיצון מול חופי צפון אשדוד</b>	119
1.4.1	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 50:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 10 שנים, על קו עומק 40 מ', בעומק 22 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 14.4 מ', זמן מחזור של 14.6 שניות, זרם כללי של 1.10 מ'שניה	120
1.4.2	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 50:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 10 שנים, על קו עומק 40 מ', בעומק 34 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 14.4 מ', זמן מחזור של 14.6 שניות, זרם כללי של 1.10 מ'שניה	128
1.4.3	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 100:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 10 שנים, על קו עומק 40 מ', בעומק 22 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 15.2 מ', זמן מחזור של 15.0 שניות, זרם כללי של 1.10 מ'שניה	136

iv. רשימת נספחים - המשך

מס'	שם הנספח	עמוד
1.4.4	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 100:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 10 שנים, על קו עומק 40 מ', בעומק 34 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 15.2 מ', זמן מחזור של 15.0 שניות, זרם כללי של 1.10 מ'שניה	144
1.4.5	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 50:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 10 שנים, על קו עומק 60 מ', בעומק 42 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 14.6 מ', זמן מחזור של 14.7 שניות, זרם כללי של 1.00 מ'שניה	152
1.4.6	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 50:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 10 שנים, על קו עומק 60 מ', בעומק 54 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 14.6 מ', זמן מחזור של 14.7 שניות, זרם כללי של 0.95 מ'שניה	163
1.4.7	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 100:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 10 שנים, על קו עומק 60 מ', בעומק 42 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 15.4 מ', זמן מחזור של 15.1 שניות, זרם כללי של 1.00 מ'שניה	171
1.4.8	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 100:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 10 שנים, על קו עומק 60 מ', בעומק 54 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 15.4 מ', זמן מחזור של 15.1 שניות, זרם כללי של 0.95 מ'שניה	179
2.	<b>תוצאות של עיבודים וניתוחים לכלובים באזור מכמורת</b>	187
2.1	<b>רוחות</b>	188
2.1.1	תוצאות ערכי קיצון של רוחות מול מכמורת על קו עומק 40- מ'	189
2.1.2	תוצאות של ניתוח סטטיסטי של משטר הרוחות הרב-שנתי מול מכמורת על קו עומק 40- מ'	194
2.2	<b>גלים</b>	199
2.2.1	תוצאות ערכי קיצון של גבהי גל סיגניפיקנטי מול חופי מכמורת במים עמוקים	200
2.2.2	תוצאות של ניתוח סטטיסטי של משטר הגלים הרב-שנתי מול מכמורת במים עמוקים	206
2.2.3	תוצאות ערכי קיצון של גבהי גל סיגניפיקנטי מול מכמורת על קו עומק 60- מ'	222
2.2.4	תוצאות של ניתוח סטטיסטי של משטר הגלים הרב-שנתי מול מכמורת על קו עומק 60- מ'	228
2.2.5	תוצאות ערכי קיצון של גבהי גל סיגניפיקנטי מול מכמורת על קו עומק 40- מ'	244
2.2.6	תוצאות של ניתוח סטטיסטי של משטר הגלים הרב-שנתי מול מכמורת על קו עומק 40- מ'	250
2.3	<b>זרמים</b>	266
2.3.1	תוצאות ערכי קיצון של זרמים מול מכמורת על קו עומק 27- מ', בעומק 4 מ'	267
2.3.2	תוצאות של ניתוח סטטיסטי של משטר הזרמים הרב-שנתי מול מכמורת על קו עומק 27- מ', בעומק 4 מ'	273
2.3.3	תוצאות ערכי קיצון של זרמים מול מכמורת על קו עומק 27- מ', בעומק 11 מ'	279
2.3.4	תוצאות של ניתוח סטטיסטי של משטר הזרמים הרב-שנתי מול מכמורת על קו עומק 27- מ', בעומק 11 מ'	285
2.3.5	תוצאות ערכי קיצון של זרמים מול מכמורת על קו עומק 27- מ', בעומק 22 מ'	291

iv. רשימת נספחים - המשך

מס'	שם הנספח	עמוד
2.3.6	תוצאות של ניתוח סטטיסטי של משטר הזרמים הרב-שנתי מול מכמורת על קו עומק 27- מ', בעומק 22 מ' .....	297
2.4	<b>תוצאות של הדמיות תנאים הידרודינמיים במצבי קיצון מול מכמורת</b> .....	303
2.4.1	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 50:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 10 שנים, על קו עומק 40 מ', בעומק 22 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור של 13.0 שניות, זרם כללי של 1.00 מ'שניה .....	304
2.4.2	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 50:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 10 שנים, על קו עומק 40 מ', בעומק 32 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור של 13.0 שניות, זרם כללי של 1.00 מ'שניה .....	315
2.4.3	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 50:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 25 שנים, על קו עומק 40 מ', בעומק 22 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור של 13.0 שניות, זרם כללי של 1.20 מ'שניה .....	326
2.4.4	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 50:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 25 שנים, על קו עומק 40 מ', בעומק 32 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור של 13.0 שניות, זרם כללי של 1.20 מ'שניה .....	333
2.4.5	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 50:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 10 שנים, על קו עומק 40 מ', בעומק 22 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור של 15.1 שניות, זרם כללי של 1.00 מ'שניה .....	344
2.4.6	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 50:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 10 שנים, על קו עומק 40 מ', בעומק 32 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור של 15.1 שניות, זרם כללי של 1.00 מ'שניה .....	351
2.4.7	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 50:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 25 שנים, על קו עומק 40 מ', בעומק 32 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור של 15.1 שניות, זרם כללי של 1.20 מ'שניה .....	362
2.4.8	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 50:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 25 שנים, על קו עומק 40 מ', בעומק 32 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור של 15.1 שניות, זרם כללי של 1.20 מ'שניה .....	368
2.4.9	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 100:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 10 שנים, על קו עומק 40 מ', בעומק 22 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 16.0 מ', זמן מחזור של 13.3 שניות, זרם כללי של 1.00 מ'שניה .....	379
2.4.10	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 100:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 10 שנים, על קו עומק 40 מ', בעומק 22 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 16.0 מ', זמן מחזור של 15.4 שניות, זרם כללי של 1.00 מ'שניה .....	386
2.4.11	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 100:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 10 שנים, על קו עומק 40 מ', בעומק 32 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 16.0 מ', זמן מחזור של 15.4 שניות, זרם כללי של 1.00 מ'שניה .....	397
2.4.12	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 100:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 25 שנים, על קו עומק 40 מ', בעומק 22 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 16.0 מ', זמן מחזור של 15.4 שניות, זרם כללי של 1.20 מ'שניה .....	408
2.4.13	תוצאות של הרצה עם תנאי מצב קיצון של גובה גל מרבי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 100:1 שנה, מהירות זרם בעל תקופת חזרה של 25 שנים, על קו עומק 40 מ', בעומק 32 מ' מפני הים, גובה גל מרבי של 16.0 מ', זמן מחזור של 15.4 שניות, זרם כללי של 1.20 מ'שניה .....	415

iv. רשימת נספחים - המשך

<u>מס'</u>	<u>שם הנספח</u>	<u>עמוד</u>
3.	שיטות ניתוח לערכי קיצון נדירים	425
4.	סקירה של שיטות לבחינת האינטראקציה בין זרם וגלים עם כלובי דגים	433
5.	תאוריית הגלים בשיטת טורי פורייה ע"י Fenton	444
6.	CD עם סרטון של ההדמיות היומיות של הרצות מודל SELIPS של הזרמים היומיים באגן המזרחי של הים התיכון מול חופי ישראל בתקופה 2012/08/01 עד 2016/02/29	במעטפה בגב דף השער

## 1. מבוא

### 1.1 תיאור מטרות העבודה המדווחת והיקפה

מטרות העבודה הוגדרו ע"י המזמין כמתן שירותי ייעוץ בסטטיסטיקה אוקיאנוגרפית והיבטים שלהנדסה ימית לניתוח אירועי סערות שגרמו לנזקים לכלובי גידול דגים בים התיכון. זאת על מנת שניתן יהיה לשפר את הקריטריונים להקמת ותפעול חוות כלובי דגים חדשות ולבחינת עמידות כלובי דגים קיימים בכוחות המופעלות עליהם בעת סערות ולשיפר שרידותם בהן בתקופת החיים הכלכליים שלהם, כולל מניעת נזק לדגים שבתוך הכלובים. באופן מתומצת שלבי העבודה כללו ביצוע הפעילויות הבאות:

א. ריכוז מידע ממדידות קיימות

ב. ארגון המידע, ניקוי, אינטרפולציה והשלמת נתונים

ג. אקסטראפולציה של נתוני הגלים למים עמוקים (עומקי מים גדולים מ- 500 מ') שם אפייני הגלים קבועים

ד. הפעלת הנתונים בקווי העומק 40- מ' ו-60- מ' לבחינת המידע בטווח קווי העומק בהם הוצבו כלובי דגים

ה. זיהוי אירועי סערה על פי דיווחי עיתונות, אינטרנט, וראיונות עם מגדלים.

ו. חישוב התנאים (גובה גל, זרם ורוח) באותם אירועים ותקופת החזרה שלהם.

ז. ריכוז נתונים אלו והשוואה עם המלצות תקנים בינלאומיים

ח. המלצה על דרישות התכן בחוף הישראלי

כמטלות מפורטות הוסכם כי העבודה תכלול ביצוע הפעילויות הבאות:

#### 1.1.1 חקר אירועי סערות בעבר:

- ניתוח אירועי סערות בינואר ופברואר 2015 מבחינת גלים, זרמים ואומדן השכיחות שלהן על פי משטר הגלים הנוכחי והצפוי.
- ניתוח אירועי סערה בשנים האחרונות ובחינת התאמה לתקלות במערכות כלובים בעבר ואומדן השכיחות שלהן על פי משטר הגלים הנוכחי והצפוי.
- בחינת מערכות העגינה והתפקוד של הכלובים בסערות הנ"ל להסקת לקחים לגבי דרישות אפיון לעמידות כלובי דגים שיוצבו מול החוף הישראלי.

#### 1.1.2 הפקת לקחים

- המלצות לתנאי ים שימשו כתנאי תכן לפעילות ולשרידות של מערכות כלובים עתידיות בים התיכון (בעיקר עבור האתר הנמצא 12 ק"מ מערבית לאשדוד).
- מיפוי כלל הסיכונים השונים, ע"פ מטריצת סיכונים דו- ממדית של חומרה ושכיחות והצעת שיטות טכניות והנדסיות לניהול סיכונים אלו והקטנתם עד למינימום האפשרי.
- ביצוע סימולציה לתרחישי קיצון שונים לבחינת חסינות \ חולשות של כלובי דגים על מערכותיהן לאותם תרחישים והצעת דרכים התמודדות עם תרחישים אלו ודרישות מינימום של עמידות כלובי דגים בתנאי הסביבה.

#### 1.1.3 המלצות מערכתיות על התראה, גילוי ותגובה

## 1.2 מקורות ותיאור המידע לביצוע העבודה

### 1.2.1 נתוני רוחות

עבור ביצוע אמדני השפעת הרוח על כלובי דגים המוצבים בים יש צורך בנתוני מהירויות וכיוון רוחות בים, אך נתונים כאלה באזור החוף הישראלי בים התיכון אינם קיימים באופן רציף ומקיף, אלא כמידות מקריות מזדמנות. על כן היה צורך להשתמש במידע קיים, שמכסה בעיקר מדידות בקרבת קו החוף. בחרנו להשתמש בנתוני רוחות שהתקבלו מהשירות המטאורולוגי לישראל (שמ"ט), בהורדה מאתר המידע של שמ"ט. הנתונים היו ערכים ממוצעים כל 10 דקות, על פי זמינותם. הנתונים הללו זמינים בתחנות ניטור של שמ"ט לאורך החופים. לצורך העבודה הנוכחית נעשה שימוש בנתוני רוחות מנמל חדרה, מנמל אשדוד ומנמל אשקלון כפי שיוסבר בהמשך. תחנות ניטור אלה נמצאות כ-200 מ' אל תוך הים ביחס לקו החוף. תקופת הזמן שמכסות המדידות ששימשו אותנו במנמל אשדוד היא בין אפריל 2000 ועד ספטמבר 2012. המדידות בתחנה זאת פסקו אז עקב פעילויות הפיתוח של הנמל. כדי להגדיל את תקופת הזמן ולאפשר ייחוס גם לאירועים שקרו בשנים 2012 עד 2015, הוחלט לנסות ולהשתמש גם בנתוני רוחות מהתחנות שמ"ט במנמל אשקלון ובחוף יבנה, ולבחון התאמתם בהמשך, למרות שהיה ברור מראש שכנראה ישנו שוני מסוים בין אפייני הרוח בתחנות אלה לעומת הכיוון ועוצמת הרוחות בחוף אשדוד.

בנוסף לנתוני הרוחות הנ"ל נעשה שימוש במדידות מעובדות לערכים שעתיים של הרוח בתחנת הניטור של חקר ימים ואגמים לישראל (חיא"ל) בקצה מזרח הפחם בחדרה, הנמצא כ-2.1 ק"מ בים ביחס לקו החוף. תקופת הזמן שמכסות המדידות בתחנה זאת היא בין אפריל 2000 עד סוף מרץ 2009.

### 1.2.2 נתוני גלים

לצורך ביצוע העבודה הופנו פניות לקבלת נתוני גלים כיווניים וספקטראליים לחיא"ל ולחברת נמלי ישראל (חנ"י) שנענו לפניית משרד החקלאות ופיתוח הכפר להעברת המידע למחבר.

חיא"ל ביצעה מדידות גלים כיווניים באמצעות ציוד מתקדם מסוג PUV (לחץ עמודת המים ושני רכיבי המהירות האורביטלית) מאז 1992 בקצה מזרח הפחם בחדרה על קו עומק 26.5 מ' ומאז 2004 עברה לביצוע מדידות הגלים באמצעות מד גלים מסוג ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) משולב במד לחץ מדויק של לחץ עמודת המים. לעומת הציוד הישן שאפשר קבלת אפייני הגובה והתפלגות אנרגיית הגלים לפי תדירות הגלים ורק אומדן של כיוון הגלים, הציוד החדש אפשר לקבל גם את הספקטרום הכיווני של אנרגיית הגלים בכל אחת מתדירויות הגלים. מאז 2012 הציבה חיא"ל תחנת מדידת גלים נוספת בקצה מזרח הפחם באשקלון, גם כן על קו עומק 26.5 מ', וגם כן מסוג ADCP. מדידות נוספות במד גלים מסוג ADCP בוצעו ע"י חיא"ל במפרץ חיפה, מול חוף הכרמל ומול חוף תל ברוך, אך למשך תקופות קצרות של שנים ספורות.

חנ"י מודדת גלים כולל כיוון באמצעות מדי גלים צפים עם מדי תאוצה בתוכם מסוג WAVEC DATAWELL. מכשיר ראשון כזה הוצב מצפון לנמל אשדוד מאז אפריל 1992 על קו עומק 24 מ', ומכשיר נוסף כזה הוצב מול ראש הכרמל בחיפה מאז נובמבר 1993, גם כן על קו עומק 24 מ'. בדומה למכשיר מסוג PUV, מד הגלים הצף מספק רק מידע חלקי על הספקטרום הכיווני של הגלים, אך בנוסף למידע ספקטראלי מאפשר גם איסוף מידע סטטיסטי לזמן קצר. נתונים על אפייני הגלים (גובה, זמן מחזור, כיוון) נמדדים בארץ באמצעות מכשור מתקדם המסוגל למדוד גם את כיוון התקרבות הגלים נאספים מאז 1992 ע"י חיא"ל בקצה מזרח הפחם בחדרה וע"י קאמרי עבור חנ"י באשדוד, ומאז נובמבר 1993 בחיפה.

מאחר שתקופת הבדיקה של הסערות שהוגדרה היתה מאז 2009 עד 2015 נתבקשו שני הגופים לספק הנתונים בתקופה הנ"ל בעונת החורף (דצמבר עד אפריל בשנה עוקבת). ואולם, בגלל הצורך לאפיון גם של המשטר הרב שנתי של הגלים, היה צורך להשתמש במידע של נתוני גלים נוספים מאז 1992. לשם כך השתמשנו במידע ישן המצוי בידי המחבר מהתחנות הנ"ל שמתפרסם באתרי האינטרנט של חיא"ל וחנ"י. באופן זה ניתן היה להרחיב את בסיס הנתונים של הגלים עד מרץ 2016, כדי לאפשר יצירת מדגם רב שנתי יותר ארוך שיוכל להגדיל את אמינות האומדנים הסטטיסטיים.

המדידות שבוצעו ע"י חיא"ל נאספות בקבצים שעתיים, כאשר המדיה עצמה מכסה תקופה של כ-20 דקות מתחילת כל שעה עגולה, עם מעט חוסר בנתונים בתקופות של תחזוקת הציוד או של תקלות.

המדידות שנאספו ע"י קאמרי עבור חנ"י כללו תקופות בהן המדידות כללו קבצים שעתיים עם תקופת מדידה בפועל של כ-20 דקות ברציפות, לאחר מכן תקופות בהן כאשר גובה הגל הסינגניפיקנטי היה נמוך מ-3 מ' נאספו קבצים שעתיים וכאשר עלה על 3 מ' נאספו קבצים מדי מחצית השעה, ובשנים האחרונות כל המדידות כוללות קבצים שנאספו מדי מחצית השעה (כשבפועל המידע שנמדד בכל מקבץ עדיין מכסה תקופה רציפה של כ-20 דקות).

בנוסף לנתונים הנ"ל, המחבר נעזר במידע שהכין בעבר לטובת מחקרים שונים לחברת החשמל לישראל, לחנ"י ולמשרד התש"ל, כפי שיוסבר בדו"ח זה.

### 1.2.3 נתוני זרמים

בעבודת המחבר משנות התשעים של המאה הקודמת (רוזן, 1999) הומלץ על הצבת כלובי דגים מול החוף הישראלי בים התיכון בתחום קווי עומק 60- מ' עד 80- מ'. למרות זאת, במציאות שהתפתחה מאז הוצבו כלובי דגים בתחום עומקי המים 30- מ' עד 60 מ'. לכן, לבחינת השפעת הזרמים על כלובי דגים, נדרש לברר מהו משטר הזרמים בתחום קווי העומק הנ"ל. אולם, נתונים מדודים בתחומי עומקים אלה ישנם רק באופן מזדמן במסגרת סקרים אוקיאנוגרפיים ומספר מחקרים שבהם הוצבו מדי זרם בתחומי העומקים הנ"ל, כשהמוכרים ביותר הם אלה של Engel (1967), Robinson et al. (1992), Rosentraub (1995), Hecht et al. (1998), Rosentraub (2000, 2004), and Brenner (2007). ואולם, המדידות שבוצעו בהם לא מאפשרות ניתוחים סטטיסטיים לאפיון המשטר הרב שנתי ושל אירועי קיצון.

בנוסף למדידות הנ"ל, בוצעו מאז 1992 מדידות זרמים קבועות ורציפות בתחנת חיא"ל בקצה מזרח הפחם בחדרה באמצעות מכשיר מסוג Marsh McBirney על קו עומק 26.5 מ' במיקום שנמצא בקרוב כ-11 מ' מתחת לפני הים. ב-2002 הוחל במדידות פרופיל הזרמים בעמודת המים בקצה המזרח בחדרה באמצעות מכשיר ADCP של חברת Teledyne RD Instruments (שאפשר למדוד גם גלים וגם זרמים בעמודת המים). מדידות זרמים באמצעות ADCP בוצעו למשך תקופה של שנתיים גם מול חוף תל ברוך בין 2002 ו-2004 על קווי עומק 15- מ' ו-28- מ'. בנוסף, החל מאז 2002 מתבצעות מדידות פרופיל הזרמים בעמודת המים גם באמצעות מד זרם ADCP מול נמל אשדוד ע"י חיא"ל עבור חנ"י. מיקום מד הזרם השתנה במהלך השנים בין קו עומק 25- מ' ל-27- מ', אך נותר מול הנמל.

מדידות הזרמים מחדרה התקבלו בתודה מחיא"ל בעקבות בקשת משרד החקלאות ופיתוח הכפר לצורך ביצוע העבודה, בכל התקופה שבה היו זמינות מדידות. מדידות זרמים שבוצעו מול אשדוד התקבלו לבקשת משרד החקלאות ופיתוח הכפר לחנ"י מחברת קאמרי, למרות שבוצעו ועובדו ע"י חיא"ל.

בנוסף למדידות זרמים הנ"ל בקרבת התחום בו מעוניינים להציב כלובי דגים, נעשה שימוש בנתונים היסטוריים סופיים של תבנית הזרמים בקרבת פני הים בתחום הכלכלי של ישראל מהמודל האוקיאנוגרפי (SELIPS South Eastern )



Levantine Israeli Prediction System) שמוצגים כתמונות של מפות זרמים באתר היא"ל, במסגרת פרויקט משותף עם אוניברסיטת ת"א ומכון ויצמן בשם COSEM (COntainment Spread in the Eastern Mediterranean) בכתובת <http://isramar.ocean.org.il/isramar2009/cosem/fsle.aspx> ובו נתוני זרמים ממוצעים יומיים מאז חודש ספטמבר 2012. התמונות שנאספו אפשרו ליצור סרטון המראה את השתנות תבנית זרמי פני הים לאורך מספר שנים, כולל בזמן אירועי סערות גלים ורוחות (בנספח 6). בנוסף, באתר היא"ל מוצגות מפות זרמים מהמודל האופרטיבי SELIPS (<http://isramar.ocean.org.il/isramar2009/selips>) במספר מפלסי עומק (5- מ', 30- מ', 50- מ', 100- מ' ו-300 מ') המהווים תחזיות לכמה ימים קדימה של הזרימה הכללית. SELIPS מופעל ע"י היא"ל כחלק ממערכת מודלים אוקיאנוגרפיים משולבת ים תיכונית, שמורצים באופן שוטף מזה מספר שנים. לבסוף, נעשה שימוש בתוצאות עבודת הדוקטורט של קוניצה (2005, Stiasnie Kunitsa, Rosentraub and) שהתקבלו ע"י הרצת מודל אוקיאנוגרפי ליצירת בסיס נתונים סטטיסטיים של מהירויות זרמים במדף היבשת הרדוד של ישראל. כל המידע הנ"ל אפשר לאחר עיבוד וניתוח כפי שיוצג בהמשך את הכנת אומדן של משטר הזרמים בתחום קווי העומק שבהו מעוניינים להציב כלובי דגים.

בנוסף נעשה שימוש בתוצאות המחקרים של Chang et al. (2012) ושל אשכנזי (Ashkenazi, 2017) כדי שניתן יהיה לאמוד את תרומות הרוח לזרימה בקרבת פני הים ובשכבות עמוקות יותר, שם אמורים להימצא כלובי גלים מסוג הניתן להורדה לקרבת הקרקעית בעת מצבי סערה.

#### 1.2.4 מידע גיאולוגי על צדודית קרקעית הים לאורך החוף ומבנה קרקעית הים

הכרת מבנה קרקעית הים ותת הקרקע חשובה בקשר להצבת כלובי דגים בגלל מספר סיבות: א. צורת העיגון של הכלובים בקרקעית הים; ב. פעילות מערכות עגינה בקרקעית הים.

לגבי הסיבה הראשונה, סוג מבנה הקרקעית ושל תת הקרקע באתר הצבת כלובי דגים תקבע את סוג העגינה ואת חוזק הקרקע שניתן לקבל לעיגון העוגנים.

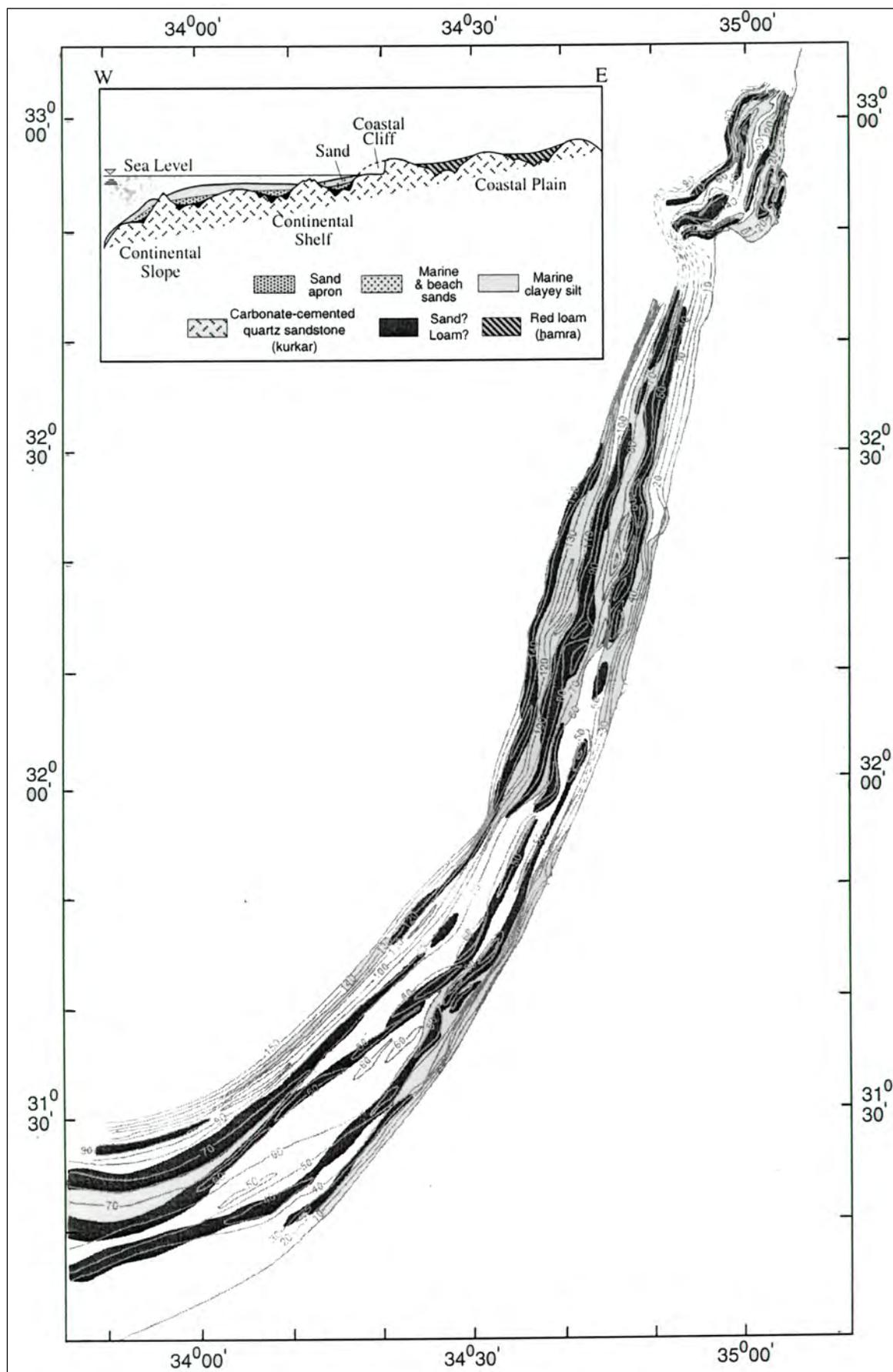
לגבי הסיבה השנייה, הרי שבמקטעי קרקעית ים המורכת מחול או חול וטין או חול, טין וחרסית קיימת אפשרות של תופעות התנזלות של הקרקעית בעת אירועי סערות חזקות או בעת רעידות אדמה.

להלן תיאור תמציתי לגבי מבנה קרקעית הים ותת הקרקע בחוף הישראלי.

מבנה הקרקעית של מדף היבשת של ישראל מורכב עקרונית מרצועת קרקעית חולית בין קו החוף וקו עומק 30- מ' בקרוב, ומקרקעית בוצית, במקטעים מסוימים מורכבת מתערובת טין וחול ובחלקים אחרים מטין וחרסית בעומקים שמעבר לקו 30- מ'. בתחום רצועת הקרקעית החולית ניתן למצוא שלוש קטעי רכסי כורכר שפורצים מתוך הקרקעית, האחד בסביבות קו עומק 30- מ', השני בין קו עומק 10- עד 14- מ' והשלישי בקרבת החוף בעומקים של כ-3 עד 4- מ'. במקומות מסוימים רצועת החול מגיעה עד קו עומק 35- מ' בקרוב. גודל גרגר החול הממוצע על קרקעית הים בעומקים גדולים מ-20 מ' הולך ונהיה דק מאד, ולמעשה תכולת החול בתוך סדימנט הקרקעית הולכת ויורדת. מול בת-ים ידוע על אזור סלעי חשוף נרחב בסביבת קו עומק 30- מ'.

מידע מעודכן על מבנה קרקעית הים בעומקים שבין 25- מ' עד 70- מ' נאסף ע"י היא"ל ועובד יחד עם המכון הגיאולוגי והמכון הגיאופיזי ב-1998 ע"י עריכת סקר סאיסמי. סקר זה כיסה התחום שבין עתלית וזיקים, ובוצע בעזרת ציוד אקוסטי חדיש ומתוחכם (CHIRP), במסגרת הפרוייקט לבדיקת הימצאות חומרי בנייה לאיים מלאכותיים (גולק וחובריו - 1998). מחקר משלים בוצע ע"י היא"ל בקשר לתכנית הנחת צינור הגז מאשדוד עד מעגן מיכאל בקרוב, וכן במסגרת סקר לאיתור מקורות חול במדף היבשת שבוצע ב-2011 (גולק, 2012).

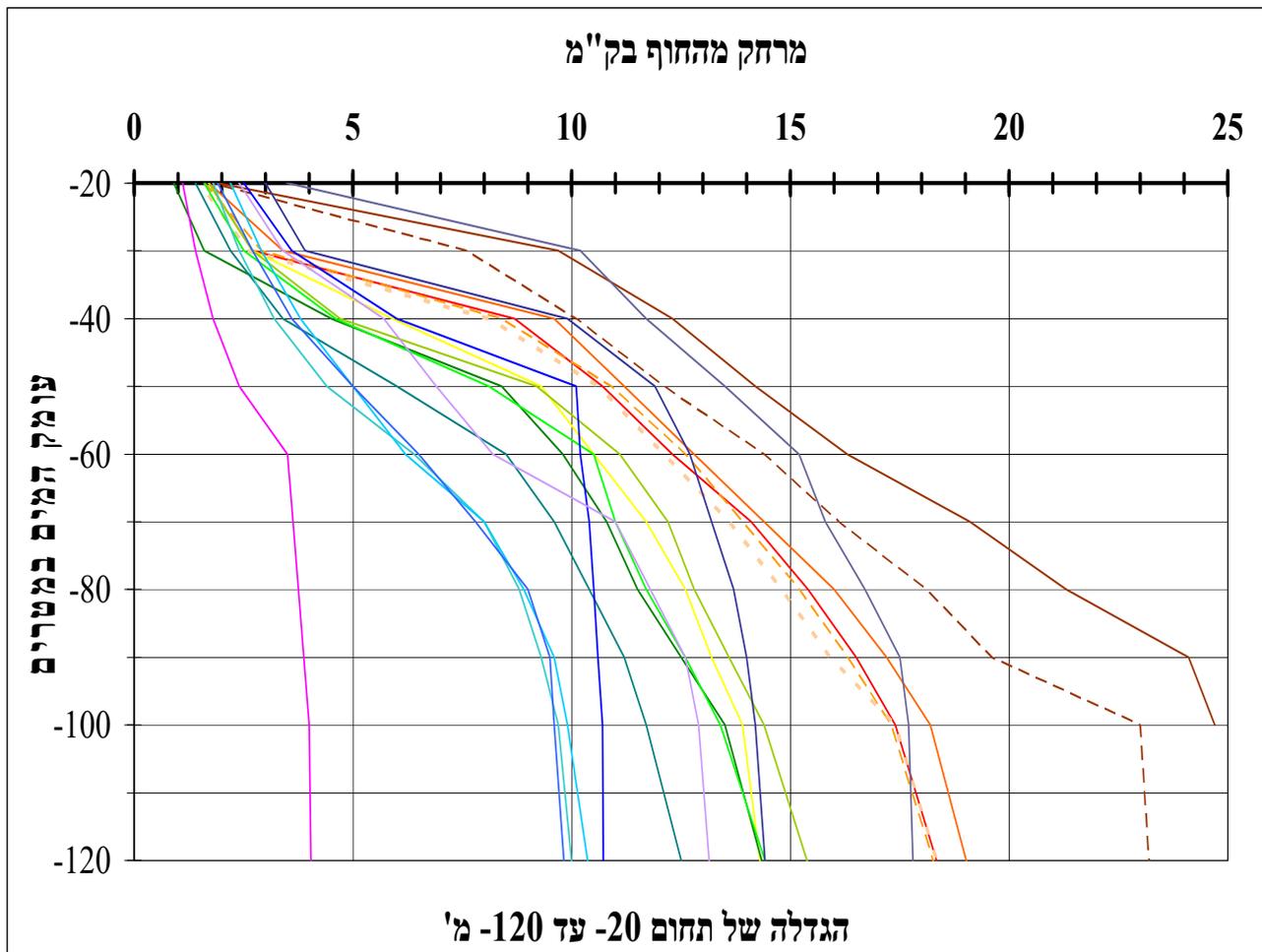
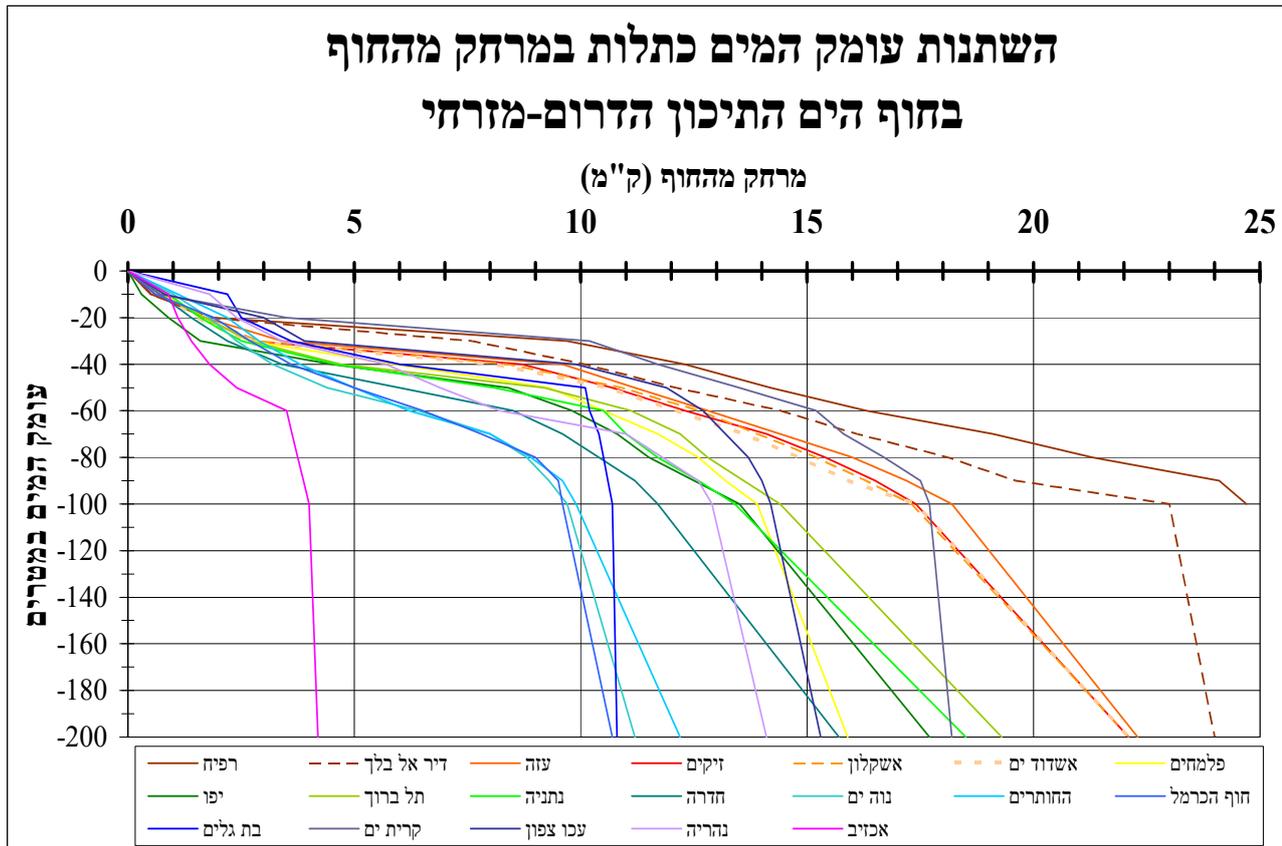
ממצאי הסקר הראו כי עובי שכבת הקרקעית הבוצית בתחום שמעבר לקו עומק 30- מ' הינו מספר מטרים (5 או יותר) במספר אזורים, שמתחתיה שכבת קרקעית חולית או לפעמים רכסי כורכר קבורים. מצפון לעתלית, רכסי הכורכר נחשפים גם בעומקים גדולים יותר. מידע נוסף על מבנה קרקעית מדף היבשת הרדוד הוצג ע"י אלמגור ואחרים (1998) והוא מובא כאן באיור מס' 1.1. השתנות הצדודית במדף היבשת לאורך החוף מוצגת בטבלה מס' 1-1 ובאיור מס' 1.2 ועל פיהן ניתן לראות גם את טווח המרחקים לקווי עומק שונים בכל הארץ. גולן (2012) מציג מפות של תחום החוף בין חדרה עד זיקים בהן מסומן תחום גז אנארובי הנפלט וגורם להתנזלויות קרקעית המשתרע הקרוב ביו קו עומק 30- מ' עד קו 60- מ', וכן מיקומים של קווים חשודים כשבירה צעירה, ראה איורים מס' 1.3 ו-1.4. המצב מבוטא גם בניתוח שנעשה לצורך אישור תמ"א 37 ח' (לרמן וחובריו, 2012) המוצג באיור מס' 1.5.



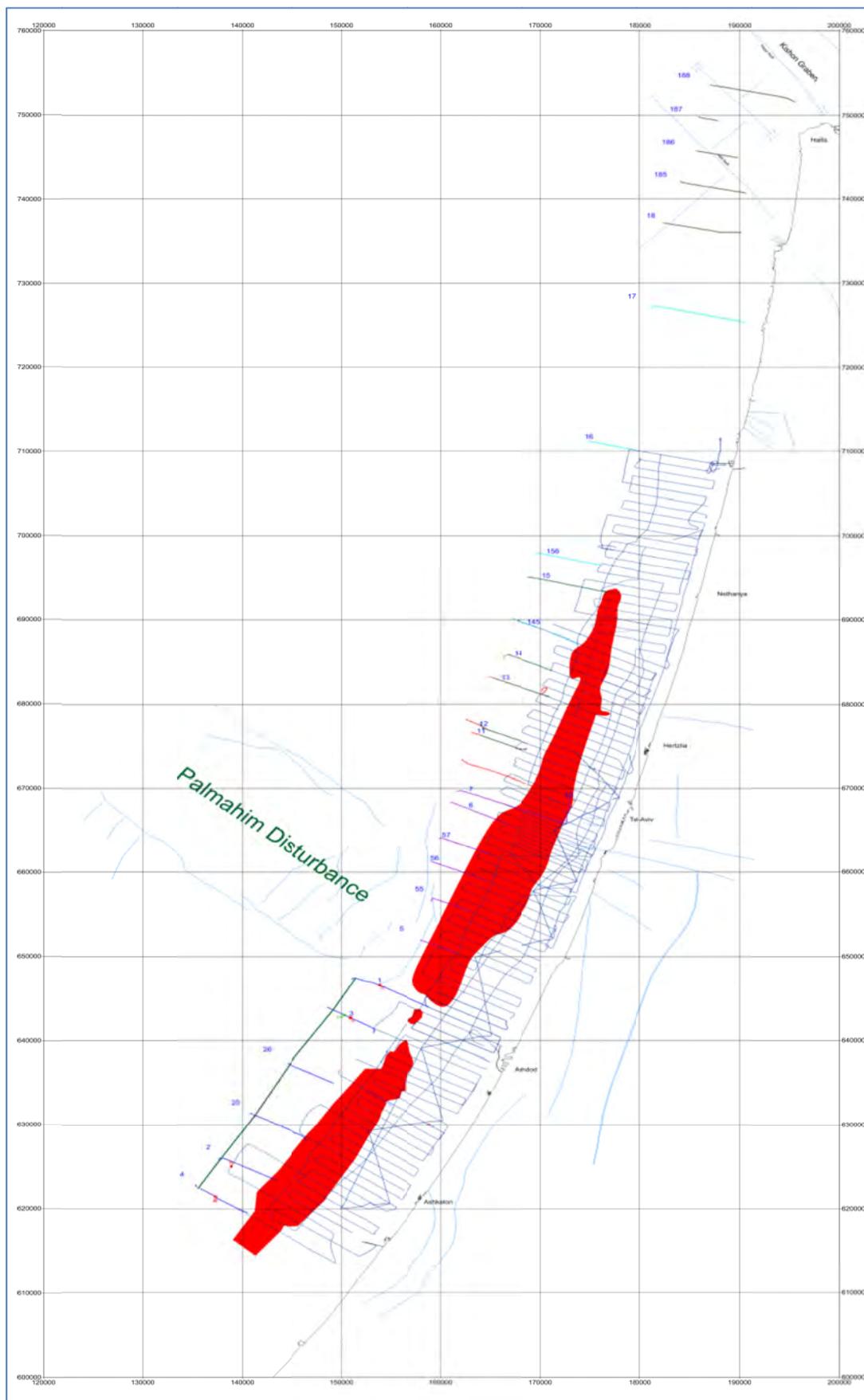
**איור מס' 1.1 - טופוגרפיה וחתך סכמטי של רכסי הכורכר העקריים במדף היבשת**  
 (בעקבות אלמגור ואחרים, 1998). המחברים מציינים כי מפה זאת לא מלאה והוכנה על בסיס מידע אקראי ובלתי מספיק משנות ה-1960 וה-1970, וכי המפה מצגיגה רק אלמנטים עיקריים ומגמותיהם

טבלה מס' 1-1 - שינוי עומק המים כתלות במרחק מהחוף, לאורך חוף הים התיכון הדרום-מזרחי

קו עומק (מ')	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100	-200
מקום	מרחק מקו החוף עד קו העומק המצויין בשורה שמעל, בקילומטרים										
רפיה	0.5	1.9	9.7	12.3	14.2	16.3	19.1	21.3	24.1	24.7	
דיר אל בלך	0.5	1.8	7.6	10.1	12.1	14.4	16.1	18.1	19.6	23.0	24.0
עזה	0.6	1.7	3.4	9.6	11.2	12.8	14.4	16.0	17.2	18.2	22.3
זיקים	0.6	1.7	2.7	8.7	10.7	12.3	14.1	15.4	16.5	17.4	22.1
אשקלון	0.9	1.6	2.9	8.4	10.9	12.6	13.9	15.2	16.3	17.3	22.1
אשדוד ים	0.8	1.5	2.6	8.1	10.6	12.1	13.6	14.8	15.9	17.4	22.1
פלמחים	0.8	1.7	2.7	5.9	9.3	10.5	11.7	12.6	13.2	13.9	15.9
יפו	0.3	0.9	1.6	4.5	8.4	9.8	10.8	11.5	12.5	13.5	17.7
תל ברוך	0.7	1.7	2.7	4.7	9.2	11.1	12.2	12.8	13.6	14.4	19.3
נתניה	0.9	1.6	2.5	4.6	8.1	10.5	11.0	11.7	12.6	13.4	18.5
חדרה	0.7	1.4	2.2	3.4	6.0	8.5	9.6	10.4	11.2	11.7	15.7
נוה ים	1.0	1.8	2.4	3.2	4.4	6.4	8.0	8.8	9.3	9.7	11.2
החותרים	1.1	2.2	2.9	3.8	5.0	6.2	8.0	8.9	9.6	9.9	12.2
חוף הכרמל	0.6	1.9	2.7	3.6	5.0	6.5	7.8	9.0	9.5	9.6	10.7
בת גלים	2.2	2.5	3.6	6.0	10.1	10.2	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8
קרית ים	0.7	3.5	10.2	11.7	13.5	15.2	15.8	16.7	17.5	17.7	18.2
עכו צפון	0.8	3.0	3.9	9.9	11.9	12.7	13.2	13.7	14.0	14.2	15.3
נהריה	1.8	2.4	3.4	5.7	6.9	8.2	11.0	11.8	12.6	12.9	14.1
אכזיב	0.9	1.1	1.4	1.8	2.4	3.5	3.6	3.8	3.9	4.0	4.2

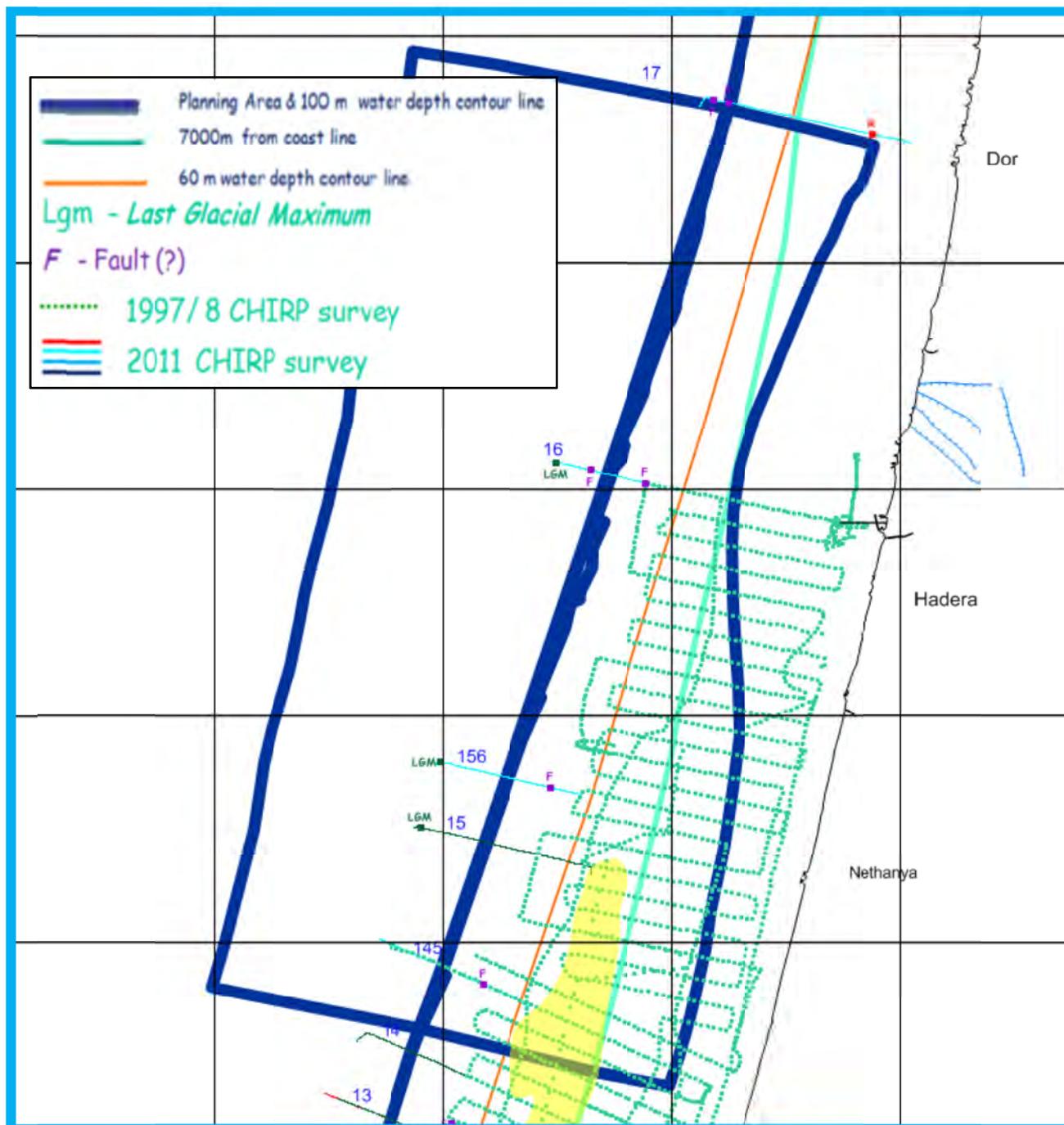


איור מס' 1.2 - השתנות עומק המים כתלות במרחק מהחוף בחוף הים התיכון הדרום-מזרחי

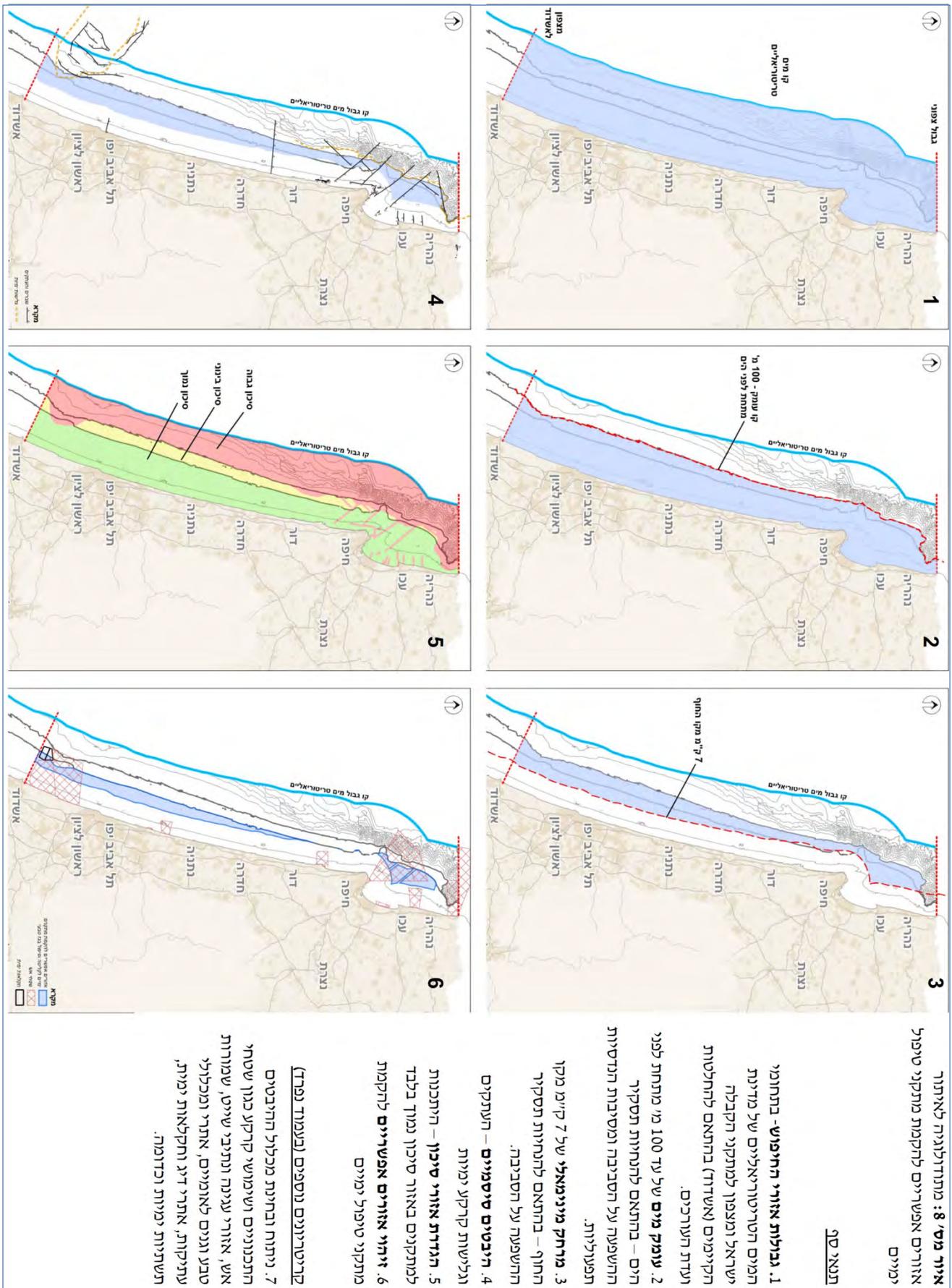


איור מס' 1.3 - מפת תפוצת ריכוזי הגז הרדוד מתחת לשכבת החרסית אשר שקעה בין 12,000 שנה

ל-10,000 שנה לפני זמננו - פוליגונים אדומים. כמו כן משורטטים קווי סקר האיים המלאכותיים (1997-8) וסקר נוסף (2011), (בעקבות גולן, 2012).



איור מס' 1.4 - מפת נתיבי הסקרים הסיסמיים מ-1997/8 ו-2011. פוליגון כחול כהה - אזור תיכנון צינור הגז וקו עומק 100 מ'. מסומנים גם נקודות החשודות כשבירה צעירה וקו החוף הגלאציאלי. הפוליגון הצהוב מציינ את רצועת הגז (בעקבות גולן - 2012).



איור מס' 1.5 - מפות אילוצים שונים, כולל סיכונים גיאולוגיים של שקיעות קרקע ושברים במדף היבשת הרדוד של ישראל שהוכנו לצורך תמ"א 37 ח' (בעקבות דו"ח לרמן אדריכלים ומתכנני ערים, מרץ 2012)



### 1.2.5 מידע לגבי כלובי הדגים ותכן כלובי דגים

מידע לגבי כלובי דגים ותכן כלובי דגים נאסף ע"י סקר ספרות ואינטרנטי. מידע לגבי כלובי הדגים המופעלים בישראל בים התיכון התבל בעקבות סיור מקצועי שתואם ואורגן ע"י אינג' נעם מוזס, מנהל תחום חקלאות ימית באגף לדיג ולחקלאות מים, במשרד החקלאות ופיתוח הכפר. הסיור התקיים בתאריך 2 בפברואר 2016 אצל חברות "לב ים" המפעילה כלובי דגים מול חוף מכמורת על קו עומק 40 מ' בקרוב מתוצרת חברת רפאמד (כולל סיור בים לאתר הכלובים מול מכמורת), ואצל חברות "דג היס", אצל חברת "דגי איכות" (בבעלות חב' ערדג) ואצל חברת "דג סוף", המפעילות שלושתן כלובי דגים: החברות "דגי איכות" ו"דג סוף" בנמל אשדוד בסמוך לשובר הגלים הראשי וחברת "דג היס" מפעילה כלובי דגים גם בים הפתוח מצפון מערב לנמל אשדוד. באשדוד הסיור כלל ביקור בכלובי הדגים שבנמל.

מידע על אירועים בהם נגרמו נזקים לכלובי דגים בשנים האחרונות מאז 2009 מסוכם בטבלה מס' 2 בעמוד הבא. מידע שהתקבל ממפעילי כלובי דגים מסוכם בטבלה מס' 3.

טבלה מס' 1-2 – אפיון אירועי נזקים לכלובי הדגים בחוף הישראלי בים התיכון מאז 2009

תאריך כתבה\ המידע של הפרסום	יום בשבוע	עיתון\מקור המידע	תאריך האירוע המק	מועד האירוע	תאור הנזק לכלובים	כמות הדגים שברחו	חברת הכלובים	סך הכלובים	סיבת הנזק
01.01.2010 10:04	ששי	הארץ	25-26.12.2009	בסוף השבוע הקודם	לפחות 3 כלובים נפגעו מצפון לאשדוד	15 עד 20 טון	ערדג	12	בגלל מזג האוויר הסוער ו-3 כלובים שלא שקעו
20.01.2010		גלרם שמאים	16-19/12/2009				דג הים		עיבוד דגים וציוד של חוות כלובים B של חב' דג הים. 6 כלובי החווה הסתבנו, ונלחצו דבר שגרם למוות דגים
13.01.13, 20:39	ראשון	ynet	7-12.1.2013	בשבוע שעבר	נפגעו בנמל אשדוד כשהם טובעים				מזג האוויר הסוער
16/01/2015	ששי	fxp.co.il\צלילה ודיג' כלובי הג'יג'ים באשדוד	לפני הדיווח	לפני הדיווח	כלובים נסחפו מאשדוד צפונה עד לבנון, כנראה לא נפרצו כלל עד חדרה ורק מעט משם עד לבנון	כ-200 טון		כמה כלובים	סערה אחרנה
16/02/15 21:44	שני	חדשות 2	16/02/2015	ביום הדיווח	כלובים מול אשדוד ואשקלון נפרצו והדגים הגיעו צפונה וגם דחמה	לפחות 160 טון			מזג האוויר הסוער
16.02.15 / 16:40	שני	אשדוד נט	14-15.2.2015	בסוף השבוע הקודם	נפרצו כ-8 כלובים	מעל 150 טון			מזג האוויר הסוער
16/02/2016	שני	אתר "שבעת הימים"	אחת בינואר אחת באמצע פברואר 2015		ניזוקו כלובים בנמל אשדוד ובפברואר מצפון לאשדוד				מזג האוויר הסוער

טבלה מס' 3-1 – מידע שהתקבל בעת ביקור אצל מפעילי כלובי דגים ב-2.2.2016

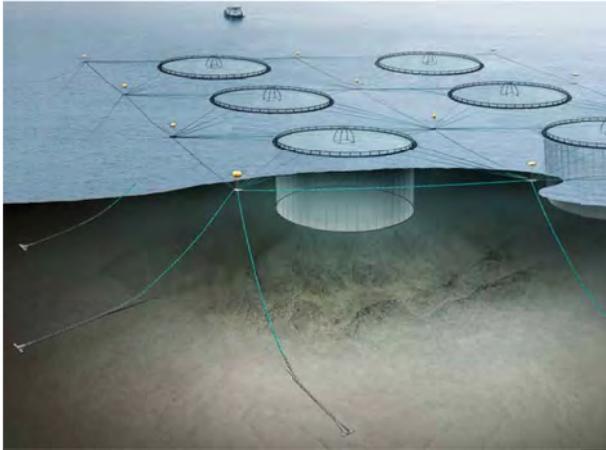
תאריך ביקור	מפרה	נציג החברה	תאריך זמן	עומק מ'	גובה כלוב מ'	קוטר כלוב מ'	יצרן	כתיחת הזנק	תאור מבני	סוג חבלים	סוג החיכוך
02/02/2016	לבים (מבנות)	גיא ארוש	10-5-10/1/2015 14/2/2015	36	9	20	רפא-מד	עבודת נפח וברישים	חבל רשת בקטרים של 25, 20, 10 מ"מ	פוליסטיל	בטונדרה-שירתת 13 מ"מ למצוף, רשת כלוב למצוף ע"י חבל פוליסטיל 24 מ"מ, כלוב משטר ניילון, הצומדה ממוקת
02/02/2016	זג אבות (עדרג)	חוע ריב	במל אשדוד	56-60		16	סאבפליקס	קלוב שקע החבלים לא עמדו העומם	כולל מסגרת 17 על 12 מ', חבל מיתחה 40 מ"מ,		
				17-18				קלבים והסתבכו ונקרעו			
02/02/2016	זג סוף (נמל אשדוד)	עודי גולדן	11.2014, ב-15/2/2015 נזוקו גם המשחים על שובר המלים								

מבחינת תכן כלובי דגים נעשה סקר ספרות תכנון ותקינה של כלובי דגים. בנוסף לתקן הנורבגי לכלובי דגים Norwegian International (2009) Standard NS 9415.E:2009, מצאנו שפורסם תקן חדש ועדכני של ארגון התקינה הבינלאומי (Standards Institute) שסימונו ISO 16488:2015 (2015), שכולל דרישות תקינה מעודכנות ביחס לתקן הנורווגי לגבי תכן ותפעול כלובי דגים בים הפתוח. כמו כן, נמצאו עוד מספר פרסומים רלוונטיים שהוכנו ע"י גופים שונים במדינות שונות הנוגעים כולם לתכן ותפעול כלובי דגים. בין אלה ניתן לציין: Carson (1988) Rudi (1988), Aarsnes et al. (1990) Huguenin, Berstad et al. (1997), Berstad et al. (2004), Pillay and Kutty (2005), Beveridge (2004), Fredriksson et al. (2007), Lekang (2007), Berstad et al. (2012), Kumar and Karnatak (2014), Marine Scotland (2015).

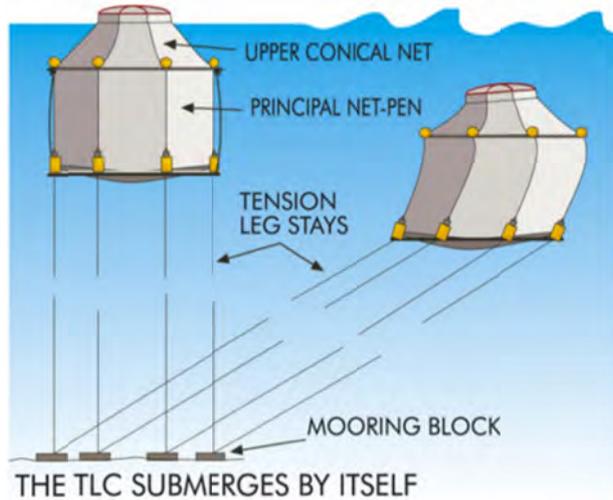
#### 1.2.6 מקורות מידע נוסף לגבי כלובי הדגים בארץ ובעולם, אירועי נזקים לכלובי דגים ועוד

כדי לדעת מה האירועים שבהם נגרמו נזקים לכלובי דגים בחוף הישראלי בים התיכון נעשה סקר אינטרנטי של פרסומים על אירועי נזק לכלובי דגים בעיתונות וכן הופנתה בקשה לחברות הכלובים לקבלת פרטים על כך כמו גם בקשה לקבלת מידע לגבי מאפייני הכלובים המופעלים. לצערנו רק אחת החברות ענתה לבקשה לאספקת מידע מפורט לגבי הכלובים שהיא מפעילה והחשובים שבוצעו טרם בנייתם, אף מסירתם הותנתה בהתחייבות לאי פרסום המסמכים שהתקבלו. לאור כך, נאלצנו לסרוק פרסומים של חברות המייצרות ומשווקות כלובי דגים מסוגים שונים.

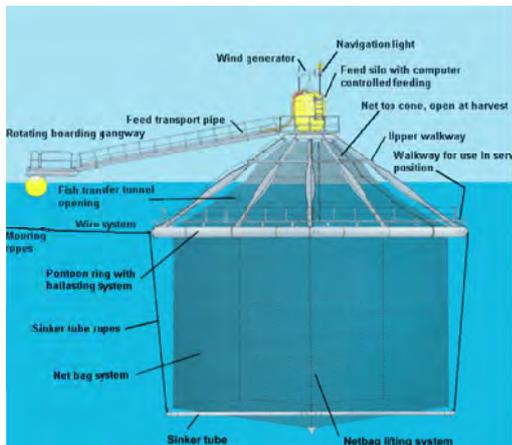
בין החברות שמוצריהן ופרסומיהן נסקרו היו החברות: Refa Med (<http://www.refamed.com>) יצרני כלובים מסוג TLC Tension Leg Cage (איור מס' 1.6), קבוצת Akva Group (<http://www.akvagroup.com>) יצרני כלובי Polarcirkel (איור מס' 1.7), חברת Farmocean (<http://www.farmocean.se>) יצרני כלובים באותו השם (איורים 1.8 ו-1.8), חברת InnovaSea Systems (<https://www.innovasea.com>) משווקי כלובים מסוג SeaStation ו-Oceanis 2 (איורים מס' 1.9 ו-1.10), חברת Badinotti Group (<http://badinotti.com>) יצרני כלובים מסוג Oceanis 2 (איור 1.11), כלובי סבפלקס בעלי נקודת עיגון בודדת (<http://www.subflex.org>) (איור מס' 1.12), שכולם ניתנים לשיקוע. בין יצרני הכלובים הצפים ניתן לציין חברות כמו Bridgestone (איור מס' 1.13) ו-Dunlop (מפתחת כלובי Tempest שכיום העבירה זכויותיה לחברת Letterkenny (Bonnar Engineering) Ltd.), חברת Fusion Marine (<http://fusionmarine.com>) יצרני כלובי Triton 400 (איור מס' 1.14), וחברת Aqualine (<http://aqualine.no/en/>) יצרני כלובי Aqualine-Midgard (איורים מס' 1.15 ו-1.15ב). כמובן שאלה רק חלק מכל יצרני הכלובים, אך אנו הזכרנו רק את אלה הרלוונטיים והנפוצים ביותר לדעתנו.



איור 1.7 – כלובי Polarcircle של AKVA  
(מקור: AKVA Group)



איור 1.6 – כלוב TLC של REFA MED  
(מקור: REFA MED)



איור 1.8 ב – מבנה כלוב של Farmocean  
(מקור: Farmocean International)



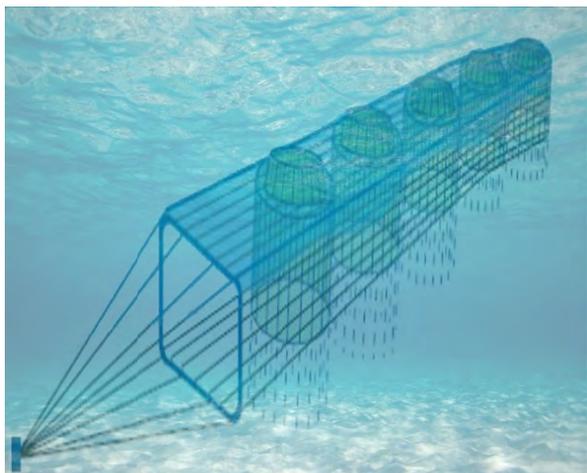
איור 1.8 א – כלוב של Farmocean  
(מקור: Farmocean International)



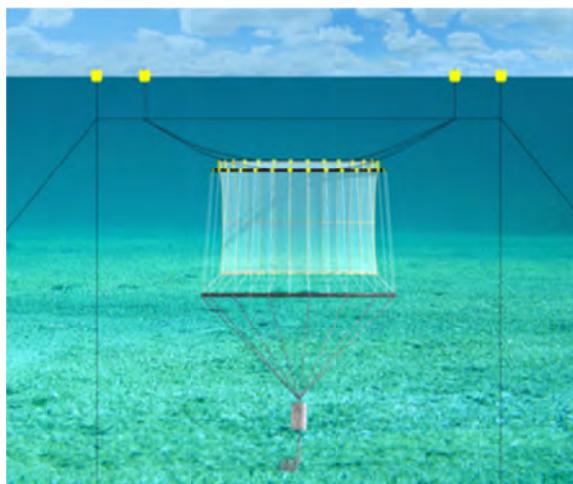
איור 1.10 – כלוב Aquapod של InnovaSea  
(מקור: InnovaSea Systems, Inc.)



איור 1.9 – כלוב SeaStation 6400 של InnovaSea  
(מקור: InnovaSea Systems, Inc.)



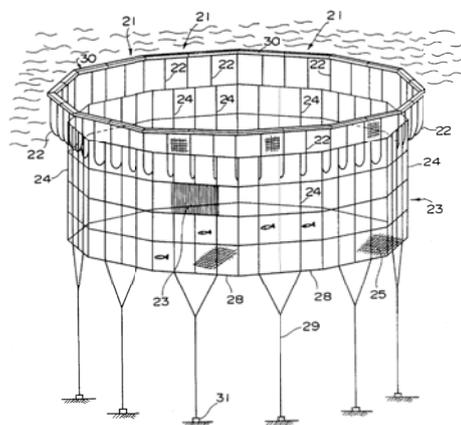
איור 1.12 – מערכת כלובי סבפלקס  
(מקור: Subflex Ltd., עיבוד גרפי ס'ד' רוזן)



איור 1.11 – כלוב Oceanis 2  
(מקור: BADINOTTI GROUP S.P.A.)



איור 1.14 – כלוב צף מסוג Triton  
(מקור: Fusion Marine Limited)



איור 1.13 – כלוב צף גמיש מסוג Bridgestone  
(מקור: Bridgestone Corporation)



איור 1.15 א – מבנה כלוב Aqualine Midgard  
(מקור: Aqualine AS)



איור 1.15 ב – כלובי Aqualine Midgard  
(מקור: Aqualine AS)

ניתן לסווג באופן עקרוני את כלובי הדגים בכמה סיווגים:

- א. לפי אופן עגינת הכלוב (בהרבה נקודות או בנקודה יחידה);
- ב. לפי סוג מבנה הכלוב (קשיח או גמיש);
- ג. לפי מיקום הכלוב בעמודת המים (צף קבוע, ניתן לשיקוע חלקי, ניתן לשיקוע לעומק).

בטבלה מס' 1-4 מוצגים סוגי הכלובים המוכרים לפי הסיווגים הנ"ל, בצורה מעט שונה מהטבלה שהוצגה בעבודתם של Scott and Muir (2000).

טבלה מס' 1-4 - סיווג כלובי דגים ודוגמאות של יצרנים של כלובים על פי הסיווג

שמות חברות מייצרות כלובי דגים ודגמי כלובים	תיפקוד במים	מבנה הכלוב	עגינת הכלוב	סוג
Akva (steel cages), Cruive, Pisbarca,	צף	קשיח		א
Farmocean	שוקע חלקית			ב
InnovaSea Systems (Aquapod), Marine Industries, Sea Trek, Trident	שוקע לעומק			ג
<u>Plastic non circle types:</u> Bridgestone, Dunlop Tempest (Bonnar Engineering (Letterkenny)), <u>Plastic circle types:</u> Akva (Polarcirkel), Aqualine (Midgard), Aquasystem, Badinotti Group, Corelsa, Fusion Marine (Triton 400),	צף	גמיש	עגון במספר נקודות	ב
Aqualine-Midgard, RefaMed,	שוקע חלקית			ג
Badinotti Group (Oceanis 2), InovaSea Systems (SeaStation),	שוקע לעומק			ד
OCAAT Offshore, Subflex	שוקע לעומק			ז

### 1.2.7 סוגי כלובי דגים שנמצאים בשימוש בישראל



איור מס' 1.16 - מצופי כלובי רפאמד שקועים (מקור: סרטון וידאו, חב' לב-ים)



איור מס' 1.16 - כלוב רפאמד טרם השקעה במכמורת (מקור: סרטון וידאו, חב' לב-ים)

על פי המידע ממפעילי כלובי דגים שצוינו בטבלה מס' 1-3 אפשר לציין את סוגי הכלובי הדגים הבאים:

- א. חברת "לב-ים" מפעילה כלובים במצב משוקע מתוצרת RefaMed (איור 1.16). קוטר כל כלוב 20 מ' וגובהו 9 מ'. מיקומם על קו עומק 36- מ' בקרוב. עגונים באמצעות חבלי פוליסטיל ורשתות בעלות עובי חוטים של 10, 20 או 25 מ"מ לפי הצורך. בינואר ופברואר 2015 ניזוקו מאיבודי נפח שגרמו לתמותת דגים ומכרישים בעקבות זאת.
- ב. חברת "דג הים" הפעילה כלובי דגים בים הפתוח מצפון לאשדוד על קו עומק 56- מ' עד 60- מ', בעבר היו בשימוש 2 מערכת כלובי סאבפלס עם 10-6 כלובים בעלי קוטר 16 מ', בנויים בייצור מקומי מצנרת פוליאטילן שניתנים לשיקוע, עם כל מערכת כלובים עגונה על עוגן יחיד (single point mooring). הנזק שנגרם בינואר 2015 היה כאשר מערכת אחת של כלובים נסחפה לדעת דג הים בגלל תקלה טכנית. על פי דיווחי הדייגים נראה כי מערכת הכלובים נסחפה לפחות עד חדרה מבלי שנפרצה, וכנראה שהסערה סחפה אותה אל מול חופי לבנון. בפברואר 2015, הנזק נגרם להערכת המפעילים עקב קריעה של חבלי הרתיקה שכנראה לא עמדו בכוחות שהתפתחו.
- ג. אצל המפעיל השני (דגי איכות) שמפעיל כלובים צפים, בנמל אשדוד היו שתי קבוצות כלובים בנמל אשדוד, אחת בת 9 כלובים, שניה בת 10 כלובים (איור מס' 1.17).



איור 1.17 חוות הכלובים באשדוד ליד שובר הגלים הראשי (מימין) ובהגדלת פרט (משמאל) (צילום: ס'ד' רוזן)

קוטר או צלע כלוב צף (לכלובי דגיגים) וגובהו השתנה כמצוין בטבלה מס' 1-5:

טבלה מס' 1-5 קוטר או צלע כלוב צף (לכלובי דגיגים) וגובהו

נתון	כלוב בוגרים מעגלי	כלוב דגיגים ריבועי גדול	כלוב דגיגים ריבועי קטן
קוטר או אורך צלע	18.85 מטר	10.00 מטר	7.00 מטר
שוקע הרשת	10.00 מטר	5.00 מטר	5.00 מטר

- ד. אצל מפעיל שלישי (חברת דג סוף חקלאות ימית) נעשה שימוש בכלובים צפים המוצבים בנמל אשדוד. הם ניזוקו בסערה בפברואר 2015. מאז מערכת העגינה שלהם שונתה. בעבר היו נסיונות של שימוש בכלובים אחרים, כמו כלוב קשיח עם ממסגרת פלדה בעלת ציפה חיובית של חברת מפעלים ימיים, שהיה בעל מערכת השקעה והצפה ע"י שימוש במערכת עם מצוף עם תוף משיכה דרך גלגלת בקרקעית להורדת הכלוב, כלובים צפים תוצרת חברת Aquavar, כלוב מבטון קל צף, כלוב צף של Dunlop, כלוב צף הניתן לשיקוע בפיתוח של חברת ברדה עם מערכת השקעה מיוחדת. הכלובים האלה לא החזיקו מעמד לאורך זמן, ואפשר לומר שבינתיים רק כלובי Refamed וכלובי Subflex הציגו יכולת שרידות מסוימת בים הפתוח וכן ע"י שימוש בכלובים צפים בנמל אשדוד, אם כי גם לאלה היו אירועים בהם חלק מהכלובים ניזוקו, במידות שונות של נזק לכלובים או לדגה.



## 2. שיטות עיבוד הנתונים וניתוח המידע

### 2.1 שיטות אפיון וניתוח על פי טווח זמן

#### 2.1.0 כללי

ניתן לסווג את שינוי תכונות סטטיסטיות של הפרמטרים המאפיינים תהליך פיזיקלי המשתנה בזמן, לשלוש קבוצות, על פי טווח הזמן בו מעוניינים לבחון את התנהגות הפרמטרים: (א) טווח זמן קצר, (ב) טווח זמן ארוך ו-(ג) טווח זמן נדיר (קיצוני). בטווח הזמן הקצר עוקבים אחר התנהגות הקשרים בין הפרמטרים השונים המתקיימים במשך זמן קצר המגדיר מצב תמידי כביכול (quasi-stationary) שנמשך בין דקות עד כמה שעות, ע"י בחינת הקשרים בין הפרמטרים המאפיינים כל מצב ים בטווח זמן קצר. השתנות פרמטרים אלה במשך ימים, חודשים ושנתית לאורך שנים נתונה ע"י אפיון המצב לטווח זמן ארוך, והשתנות פרמטרים בטווחי זמן של שנים רבות עד מאות (ואפילו אלפי שנים) ניתנת ע"י האפיון לטווח זמן נדיר (קיצוני). במקרה שלנו, אנו היינו צריכים לבחון את השתנות אפייני הגלים בשלושת טווחי הזמן. לעומת זאת, לגבי הרוחות והזרמים השתנותם לטווח זמן קצר פחות רלוונטי לעניננו. אמנם ידוע על משאבי רוח במשכי זמן קצרים של דקה עד כמה דקות שבהם מהירות הרוח תהיה גבוהה הרבה יותר תאשר מהירות הרוח הממוצעת השעתית אך מבחינת השפעתם למהירות הזרימה במי הים שולית וניתן להסתפק הנתונים שעתיים ממוצעים. גם לגבי הזרמים, אף כי הנתונים נאספים כערכים ממוצעים כל כמה דקות, מבחינת הכוחות שיופעלו על כלוב דגים ניתן להסתפק באפיונים של הערכים השעתיים של שני הפרמטרים הרלוונטיים לרוחות וזרמים, הכיוון והמהירות של הרוח והזרם. על כן, נדון להלן באפיון לטווח זמן קצר רק לגבי גלי רוח, ולגבי כל הגורמים (גלים, רוחות, זרמים בשני טווחי הזמן הנוספים).

הערה חשובה לציין היא לגבי המובן של כיוון. על פי הנוהג הקיים, כיוון הרוח וכיוון הגלים נחשב הכיוון ממנו הם מתקרבים. לעומת זאת, כאשר מדברים על כיוון זרם, מדברים על הכיוון אליו הוא נע. מדידת הכיוון מיוחסת לאזימות הכיוון הפרמטר הנדון, כלומר הזווית בין כיוון צפון וכיוון הפרמטר, מדוד בכיוון השעון.

#### 2.1.1 אפיונים סטטיסטיים לטווח זמן קצר של גלים (במצב תמידי כביכול)

טווח הזמן הקצר מתאר את הקשרים בין גלים שונים במשך זמן קצר בסדר גודל של דקות עד שעות בודדות, בהם ניתן לראות את מצב הגלים בים (מצב הים) כאילו אינו משתנה בזמן כלומר מצב תמידי-כביכול (quasi-stationary). במצב זה ניתן להתייחס לתכונות הגלים ולקשרים בין הגלים הבודדים. ניתן להראות שמבחינה סטטיסטית דטרמיניסטית, גובה הגלים השונים עוקב אחר פרוס Rayleigh, הקושר בין גובהי הגלים השונים על פי הסתברות הופעתם. לפיכך, מספיקה ידיעת ערך גובה הגל הממוצע ומספר הגלים במשך מצב ים תמידי-כביכול, על מנת לחשב את גובה הגל בעל הסתברות הופעה כלשהיא. אולם, מקובל להשתמש בגובה גל אחר הקרוי גובה גל סיגניפיקנטי (significant wave height) המייצג את גובה הגל השקול לגובה הממוצע של שליש הגלים הגבוהים במצב ים תמידי-כביכול נתון. מקובל לסמן גובה זה בסימון  $H_s$  או  $H_{1/3}$ .

לפי פרוס ראילי, התפלגות גובהי הגלים במצב תמידי כביכול נתונה ע"י הנוסחה:

$$R(H) = 1 - \exp \left( -2 \left( \frac{H}{H_s} \right)^2 \right) \quad [1]$$

כאשר  $R(H)$  הינה ההסתברות של אי-התהוות גל העולה על גובה  $H$  נתון, ו- $H_s$  הוא גובה הגל הסיגניפיקנטי.

על בסיס פרוס זה ניתן להראות כי עבור מצב ים נתון המאופיין ע"י  $H_s$  מסוים, גובה הגל המרבי תלוי ב- $H_s$  ובמספר הגלים  $N$  באותו מצב ים תמידי כביכול ונתון בקרוב ע"י הנוסחה:

$$H_{\max} = H_s \sqrt{\frac{\ln N}{2}} \quad [2]$$

בתלות אורך מקטע הזמן אליו מתייחסים כמצב תמידי כביכול (שעה, 3 שעות) נוהגים להשתמש לצרכי תכן בערכי גובה גל מרבי של  $H_{\max} = 1.9 H_s$ . כאשר מדובר באומדן גובה הגל המרבי לצרכי תכן לשרידות, תקן ISO (2015) ממליץ על שימוש בערך גובה גל מרבי הנתון ע"י

$$H_{\max} = 2.0 H_s \quad [3]$$

במציאות פני הים הרגעיים אינם מוגדרים על-ידי גל בודד, אלא ע"י תערובת של גלים שונים. פני הים במצב זה יוצרים מצב ים אקראי הניתן לתיאור מקורב ע"י סופרפוזיציה של אינסוף גלים בעלי גובהים אינפיניטסימליים ובעלי זמני מחזור שונים והנעים בכיוונים שונים. לפיכך, דרך אחרת של אפיון מצב ים כלשהו הינה ע"י התיאור הספקטרלי, במישור התדר, בניגוד לתיאור הקודם שהיה במישור הזמן. ספקטרום אנרגיית הגלים מתאר את התפלגות אנרגיית הגלים על פי תדירויות הגלים (התדירות היא אחד חלקי זמן המחזור), וכיווני ההתקדמות של הגלים. מרבית התכונות הסטטיסטיות של פני הים ניתנים לתיאור ע"י ספקטרום הגלים והמומנטים שלו, כאשר המומנט מסדר ה- $n$  שלו נתון ע"י הנוסחה:

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(\phi) df \quad [4]$$

צורת ספקטרום הגלים יכולה לשמש לאפיון הגלים. המאפיינים המקובלים הינם: גובה הגל הסיגניפיקנטי (characteristic wave height) שמקובל לסמנו בסימון  $H_{m0}$  כאשר מחושב מניתוח ספקטרלי וזהה בקרוב רב לגובה הגל הסיגניפיקנטי (לא במים רדודים), זמן מחזור שיא הספקטרום (זמן המחזור של הגלים בעלי עיקר האנרגיה באותו מצב ים), וכיוון הממוצע של הגלים. גובה הגל הסיגניפיקנטי ניתנת לחישוב ע"י הנוסחה:

$$H_s = 4\sqrt{m_0} \quad [5]$$

כאשר  $m_0$  הוא המומנט מסדר 0 של הספקטרום. זמן המחזור הממוצע  $T_{02}$  נתון בניתוח ספקטרלי בקרוב ע"י הנוסחה:

$$T_{02} = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad [6]$$

קיימות מספר צורות הספקטרליות המקובלות לתיאור גלי הרוח מבחינה אנרגטית, אך שתי הצורות המקובלות ביותר לתיאור גלי הרוח הינם צורת פירוס Pierson-Moscovitz, המקובלת לתיאור מצב של ים מפותח מלא וצורת JONSWAP המאפיינת בעיקר מצבי סערה, בעיקר בקרבת חופים. צורות אלה מוצגות באיור מס' 2.1.

ספקטרום הגלים  $S(f)$  לפי פרוס Pierson-Moscovitz נתון לפי הנוסחה דלהלן:

$$S(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp \left[ -0.74 \left( \frac{g}{2\pi U} \right)^4 f^{-4} \right] \quad [7]$$

כאשר  $f$  הוא תדר הגל,  $g$  היא תאוצת הכובד,  $U$  מהירות הרוח, ו- $\alpha$  הוא הקבוע של Phillips ושווה ל- $8.1 \times 10^{-3}$ . ספקטרום הגלים  $S(f)$  לפי פרוס JONSWAP נתון לפי הנוסחה דלהלן:

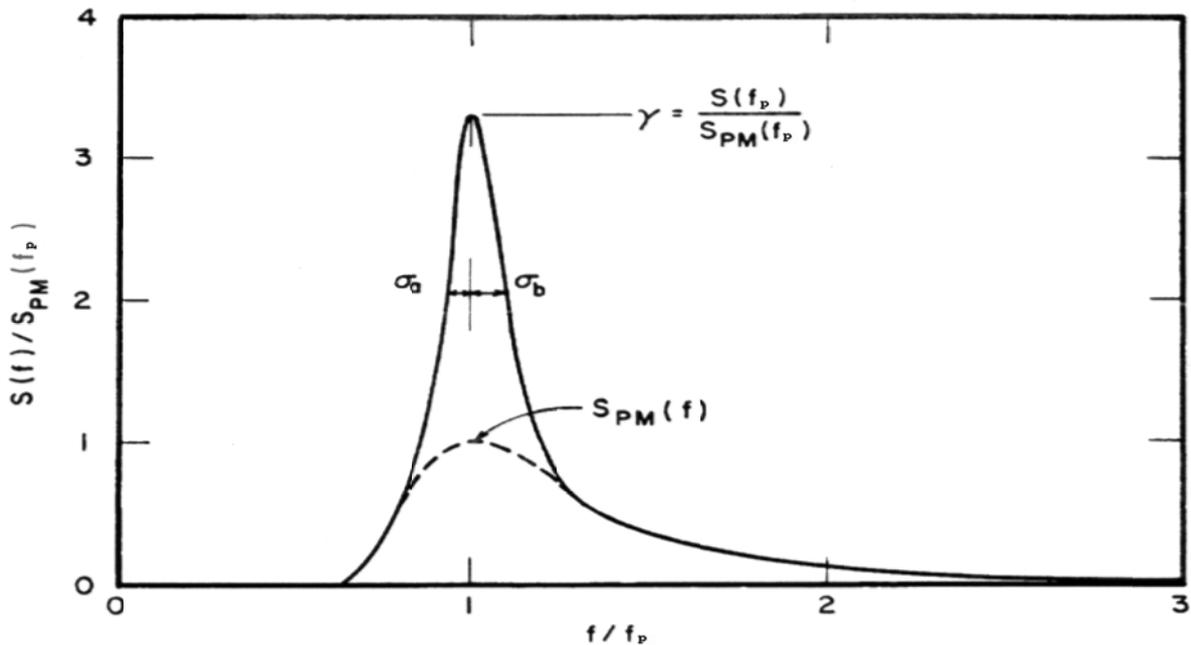
$$S(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp \left[ -\frac{5}{4} \left( \frac{f}{f_p} \right)^{-4} \right] \gamma \exp \left[ -\frac{(f - f_p)^2}{2\sigma^2 f_p^2} \right] \quad [8]$$

כאשר  $f_p$  הוא תדר שיא הספקטרום של אנרגיית הגלים,  $\alpha$  הוא הקבוע של Phillips אך נתון כעת כתלות באורך משב הרוח  $F$  ע"י הנוסחה:

$$\alpha = 0.66 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{0.22} \quad [9]$$

$\gamma$  הוא יחס הערך המרבי של שיא הספקטרום ביחס לשיא הספקטרום בפרוס Pierson-Moscovitz ו- $\sigma$  מוגדר ע"י:

$$\sigma = \begin{cases} \sigma_a = 0.07 & \text{for } f \leq f_p \\ \sigma_b = 0.09 & \text{for } f > f_p \end{cases} \quad [10]$$



### איור מס' 2.1 - השוואה בין ספקטרום JONSWAP וספקטרום Pierson-Moscovitz

על פי ניתוחים של מדידות גלים בחופי ישראל באשדוד, חדרה וחיפה, נמצא כי פרוס ריילי תופס בדרך כלל עבור הגלים שנמדדו ולכן כל עוד המדובר בגלים בתחום מים עמוקים או תחום ביניים ניתן להשתמש בהנחת פרוס ריילי לתיאור

הקשר בין הגלים של מצב ים נתון. כמו כן נמצא כי הצורות הספקטרליות יכולות להיות שונות במידה משמעותית מהצורה בעלת שיא יחיד של פירסון-מוסקוביץ, ובמקרים לא מעטים התקבלו ספקטרה עם יותר משיא אחד, דבר שהצביע על שילוב של יותר ממערכת גלים אחת (למשל גלי רוח מקומיים יחד עם גלי גיבוע או שתי מערכות גלים הנעות בכיוונים ממוצעים שונים). בחינה של ספקטרה בזמן מספר סערות גדולות יחסית בישראל הצביע על צורה ספקטרלית הקרובה יותר לצורת JONSWAP, אך עם פרמטר  $\gamma$  קטן יותר (2.8 במקום 3.3). יחד עם זאת, לא קיים ככל הידוע לנו ניתוח סטטיסטי מקיף של אופייני הצורות הספקטרליות בחוף הישראלי בים התיכון על פי רמות אנרגיית הגלים והעונתיות. כאשר משתמשים בפרוס JONSWAP תוך שימוש במקדם  $\gamma$  של 2.8, ניתן לחשב את זמן המחזור השיא של ספקטרום הגלים בתלות בגובה הגל הסיגניפיקנטי על הפי הקשר הבא:

$$T_p = 5.45 \sqrt{H_s} \quad [11]$$

אמנם לפי התקינה תקן ISO (2015) לכלובי דגים ממליצים לבחון לצורכי תכן לשרידות ערכי  $T_p$  אחרים, אך אלה פחות מסוכנים מבחינת אקלים הגלים בחופי ישראל ולכן אנו ממליצים להשתמש בקשר שבנוסחה 11 לעיל. יצוין כי לא קיים עדיין מחקר סטטיסטי לבחינת הספקטרום הכיווני של גלי הים בחוף הישראלי.

בעולם מקובל להשתמש בתיאור ההתפלגות הכיוונית של הגלים בים במים עמוקים בהתבסס על הקשר המתואר בנוסחה הבאה:

$$S(f, \theta) = S(f) \cdot G(f, \theta) \quad [12]$$

כאשר  $G(f, \theta)$  הינה פונקציה של הפיזור הכיווני. הצורה המקובלת כיום כמתארת בקרוב טוב את ההתפלגות הכיוונית של הגלים לטווח זמן קצר היא הנוסחה שהוצעה ע"י Mitsuyasu והמוצגת להלן:

$$G(f, \theta) = C(s) \cos^{2s} \left[ \frac{1}{2} (\theta - \bar{\theta}) \right] \quad [13]$$

כאשר  $\theta$  הוא כיוון גל כלשהו ביחס לכיוון הממוצע ו-  $\bar{\theta}$  הוא הכיוון הממוצע ושוה לאפס ו-  $C(s)$  היא פונקצית נירמול הנתונה ע"י הנוסחה:

$$C(s) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\Gamma(s+1)}{\Gamma(s+0.5)} \quad [14]$$

כאשר  $\Gamma$  היא הפונקציה גאמה.

### 2.1.2 ניתוחים סטטיסטיים לטווח זמן ארוך (עונתי, שנתי)

לטווח זמן ארוך אקלים הגלים מאופיין ע"י פונקציית ההסתברות המשותפת של הגובה המשמעותי של הגלים, זמן המחזור של שיא הספקטרום או זמן המחזור הממוצע וכיוון הגלים הממוצע או של הגלים בשיא הספקטרום.

ניתוחים של מדידות גלים בעולם וגם בחופי ישראל הראו כי ההתפלגות של גובהי הגלים לטווח זמן ארוך ניתנת בקרוב טוב ע"י הנחת פרוס Weibull המתואר ע"י הנוסחה הבאה:

$$P(H_s) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{H_s - H_o}{H_c - H_o} \right)^\beta \right] \quad [15]$$

כאשר  $H_o, H_c$  ו- $\beta$  הם פרמטרים שנקבעים על בסיס נתוני הגלים באתר כלשהו. לצורך העבודה הנוכחית אנו לא נניח שום פרוס תיאורטי, אלא ננתח את השכיחות המשותפת והצידית של שלושת הפרמטרים של הגלים, גובה סיגניפיקנטי, זמן מחזור שיא הספקטרום וכיוון הגלים, הן בחלוקה שנתית והן בחלוקה עונתית. הניתוח הנכון צריך להיות על פי שנים הידרוגרפיות, כלומר שנים שמאופיינות ע"י עונת חורף ועונת קיץ ולא על ידי שנה שנמשכת מינואר עד סוף דצמבר. זאת במטרה שלא לייחס אירועים אשר סטטיסטית שייכים לאותה מערכת המטאורולוגית אך סמוכים אחד לשני יחשבו כאירועים בלתי תלויים כשבפועל הם תלויים. על פי ניסיון העבר, כל שנה הידרוגרפית תתחיל באפריל של שנה אחת ותסתיים בסוף מרץ של השנה העוקבת. על כן, עונת הקיץ תשתרע בין אפריל לאוקטובר, ועונת החורף בין דצמבר למרץ של השנה העוקבת.

### 2.1.3 אפיונים סטטיסטיים לטווח זמן נדיר (עשרות עד מאות שנים)

שכיחות הופעתם של מצבי ים קיצוניים נמדדת ע"י תקופת החזרה הממוצעת של מצב ים בעל גובה משמעותי נתון במים עמוקים. קיימות באופן עקרוני שלוש שיטות שונות לאומדן מצבי ים קיצוניים: (א) ע"י שימוש בסדרה רצופה של לפחות 10 שנים של גובה גל משמעותיים מרביים שנתיים תוך הנחת פונקציות הסתברות של ערכים קיצוניים כגון Asymptote III, I, log-normal או Asymptote (ב) ע"י שימוש בסדרה רצופה במרווחי זמן קבועים לאורך שנים כגון ערכים יומיים מרביים או ערכים תלת-שעתיים של גובה הגל המשמעותי בשילוב מספר האירועים הממוצע השנתי של כל אחד ממצבים אלה, (ג) ע"י שימוש בכל נתוני הגלים בסדרה רציפה של מדידות במרווחי זמן קבועים תוך שימוש בפונקציות הסתברות מצטברת (פרוס אקספוננציאלי, Fisher Tippet Type I, Weibull, log-normal) ע"י ביטוי תקופות הזמן בשנים. כפי שהראו רוזן וקיט (1981) פרוס Gumbel, המהווה מקרה פרטי של פרוס Asymptote I נותן ערכים שמהווים גבול עליון של תחזיות על-פי פרוסים אחרים.

פרוס Asymptote I מבטא את ההסתברות המצטברת שמצב ים קיצוני המוגדר ע"י גובה גל משמעותי  $H_s$  יהיה קטן או שווה לגובה גל משמעותי קיצוני  $H_s^i$  ע"י הנוסחה:

$$\Phi(H_s \leq H_s^i) = \exp[-\exp(-y)] \quad [16]$$

כאשר  $y$  נקרא המשתנה המוקטן ונתון ע"י הביטוי:

$$y = (H_s^i - a_0)/a_1 \quad [17]$$

והמקדמים  $a_0$  ו- $a_1$  מתקבלים ע"י התאמה מיטבית לנתונים בעזרת רגרסיה ליניארית ע"י:

$$a_0 = \bar{y} - K a_1 \bar{H}_s \quad a_1 = \sigma_y / \sigma_{H_s} \cdot K \quad [18]$$

כאשר  $K$  הוא מקדם הקורלציה של הנתונים.

כאשר לוקחים  $K=1$ , מקבלים את פרוס Gumbel.

יצוין כי אמינות האומדן של תקופת החזרה של מצבי ים קיצוניים (נדירים) תלויה בראש וראשונה באורך סדרת הזמן הרציפה (מספר השנים הרצופות של נתונים), ובדרך כלל האמינות יורדת כאשר התחזית עולה על פעמיים משך תקופת הנתונים. לכן תחזית לפי פרוס Gumbel מומלץ במקרה של תקופת חזרה ממוצעות במצבים מאד נדירים של מעל 50 שנים. אומדן מקיף קודם של סטטיסטיקת מצבי ים נדירים (קיצוניים) הוצג ע"י רוזן וקיט (1981).

לצורך אפיון סטטיסטיקה של מצבים נדירים (קיצוניים), בעבודה הנוכחית נעשה שימוש במודול התוכנות Automated Coastal Engineering System (ACES) גרסה 2011 (Leenknecht et al., 1992) שבחבילת תוכנה שפותחה ע"י צבא ארה"ב, Coastal Engineering and Design and Analysis System (CEDAS), גרסה 4.03 המשווקת מסחרית ע"י חברת Veritech Enterprises. למרות שפותח במקור עבור ניתוח גלים, מודול התוכנה Extremal Analysis מבצע ניתוח נתונים של גלים, זרמים או רוח של האירועים החזקים ביותר בכל שנת מדידות,

היתרון של השימוש במודול של ניתוח מצבים קיצוניים (Extremal Analysis) הוא בכך שהתוכנה מאפשרת חישוב של ערכי קיצון עבור תקופת חזרה ממוצעות שונות, וכן של תחומי האמינות של האומדנים. התוכנה משתמשת בשיטת שיא מעל ערך נתון (Peak over Threshold) ובוחנת חמש פונקציות פרוס כמועמדות לתיאור המקורב ביותר של הפונקציות לנתונים. התוכנה מחשבת התאמתם לפרוסים Frechet-Tippet Type I ולפרוס Weibull עבור 4 חזקות (0.75, 1.0, 1.4 ו-2.0). בסופו של דבר, הפרוס המתאים ביותר לנתונים לאפיון מצבים נדירים ייקבע על פי מקדם הקורלציה הגבוהה ביותר ואז על פי ערך סטיית התקן המזערית בין המדידות והערכים המחושבים על פי הפרוסים. בנספח 3 מוצגת התיאוריה שעל פיה פועלת התוכנה.

חשיבות תקופת החזרה הממוצעת של מצב ים נובעת מצורכי התכן הבטוח של מבנים ימיים. אם נניח אורך חיים כלכלי של כלוב ימי של 5 שנים, בחירת גל תכן כגל המשמעותי בעל תקופת חזרה ממוצעת של 50 שנה לא תבטיח בטיחות המבנה. זאת מאחר שניתן להוכיח שקיים סיכון (risk) של כ-64% של אירוע גל הגבוה מהגל בעל תקופה חזרה ממוצעת של 5 שנים. על מנת להבטיח כי המבנה בטיחותי, מקובל לתכנן מבנים ימיים באחוז סיכון שלא עולה על 10% ובדרך כלל בין 2% עד 5%. במקרה זה, ניתן לחשב את תקופת החזרה הממוצעת של מצב הים שבו הסיכון לא יעלה על רמת הסיכון הנבחרת על פי הנוסחה דלהלן:

$$R(\text{years}) = \frac{1}{1 - (1 - r)^{1/L}} \quad [19]$$

כאשר R היא תקופת החזרה, r הוא אחוז הסיכון, ו-L הוא אורך החיים הכלכלי של הכלובים.

יצוין כי אמינות האומדן של תקופת החזרה של מצבי ים קיצוניים (נדירים) תלויה בראש וראשונה באורך סדרת הזמן הרציפה (מספר השנים הרצופות של נתונים), אך אמינות R יורדת אם הוא גדול מכפליים משך התקופה בה יש נתונים.

שכיחות הופעתם של מצבי ים קיצוניים נמדדת ע"י תקופת החזרה הממוצעת של מצב ים בעל גובה משמעותי נתון במים עמוקים. בטבלה מס' 2-1 מוצגת השפעת תקופת החזרה הממוצעת ושל רמת הסיכון על גובה גל התכן לבדיקת עומסים על מבנה הכלובים במצבי קיצון.

בטבלה 2-1 ציינו מצבים סבירים אפשריים של בחירת אחוז הסיכון ושל אורך החיים הכלכלי עבור כלובי דגים ואת תקופת החזרה הנדרשת של גובה גל התכן הסיגניפיקנטי. הצבע הירוק מציין מצב עם פחות סיכון לנזק כתלות באורך החיים הכלכלי הנבחר ע"י בעלי מערך הכלובים כדי שתהיה להם כדאיות כלכלית. הצבע האדום בהתאמה מציין מצב יותר מסוכן לשרידות הכלובים בתקופת אורך החיים הכלכליים של הכלובים.

טבלה מס' 1-2 - השפעת אחוז הסיכון ואורך החיים הכלכלי על תקופת חזרה הממוצעת לצורך בחירת גובה גל התכן

אורך חיים כלכלי מתוכנן של מערכת כלובים כדי שיבטיח החזר ההשקעה ורווחים [שנים]										סיכון מוסכם לאירוע גל התכן
100	50	20	15	10	8	6	5	4	2	אחוזים
תקופת חזרה ממוצעת של גל התכן [שנים]										
9,950	4,975	1,990	1,493	995	796	597	498	398	199	1
4,950	2,475	990	743	495	396	297	248	198	99	2
1,950	975	390	293	195	156	117	98	78	39	5
950	475	190	143	95	76	57	48	38	19	10
616	308	124	93	62	50	37	31	25	13	15
449	225	90	68	45	36	27	23	18	9	20
145	73	29	22	15	12	9	8	6	3	50
98	49	20	15	10	8	6	5	4	3	64

## 2.2 חישוב כוחות על כלובי דגים

### 2.2.1 סקירה עדכנית של שיטות החישוב של כוחות גלים וזרם על כלובי דגים

כדי להכיר ראשית את המורכבות של חישוב הכוחות המופעלים על ידי הגלים והזרם על כלובי דגים תוך אינטראקציה עמו, החלטנו לתרגם סקירה עדכנית שפרסמו Chen and Christensen (2015). להלן נביא קטע מסקירה זאת המציג באופן תמציתי את הנושא. תרגום הפרסום המלא מוצג בנספח 4.

"יתעשיית החקלאות הימית ברחבי העולם נמצאת במצב של התפתחות קבועה והייצור של החקלאות הימית המשיך לגדול במאה הנוכחית. כמו שחקלאות המים המתוקים הולכת ומאולצת יותר בגלל מחסור בשטחים ובמים, אלה גרמו לשאיפה לעבור מחקלאות מים לחקלאות ימית, ממפרצים ואזורים מוגנים אל אזורי חשופים יותר בים הפתוח עם תנאי גלים גבוהים וזרמים חזקים. מצב זה מוביל לאתרים עם איכות מים טובה יותר, ולביטול בעיות של איכות מים והשפעות שליליות על הסביבה הימית שבמים רדודים.

עם זאת, המעבר לאתרים בים הפתוח גורמת לצורך להתמודד עם בעיות אחרות. זרמים חזקים צפויים לגרום עיוות משמעותי של רשתות כלובי הדגים ומאידך הכוחות שמפעילים הזרמים החזקים גדלים ביחס ישיר עם במידת העיוות של רשתות הכלובים. רווחה נוספת לדגים תלויה בנפח מינימלי עבורם בתוך רשת הכלוב. סוגיות נוספות הן ביחס להיבטים טכניים. תכן של קווי העגינה מצריך הערכה מהימנה של הכוחות הנגרמים על ידי הגלים והזרמים על כל חלקי מערכת כלובי דגים. יש צורך להתחשב בהסתברות למגע וחיכוך בין הרשת והכבלים/השרשרות שמחזיקים את משקולות המתיחה או של הטבעת התחתונה של הכלוב שיכולה להביא לבלאי מוגבר. פעולות עם ספינת שרות רתוקה לכלוב עשויה להיות מאתגרת בתנאים ים קשים. למשל, הרשת של הכלוב עלולה להישאב לתוך המדחף ולהיקרע ובכך לגרום לאפשרות בריחת הדגים מהכלוב. בזמן גלים גבוהים, במקרה של כלובים צפים, קיימת אפשרות שהצפת הכלובים תגרום גם לקריעת הרשת ולבריחת דגים (ראה Kristiansen and Faltinsen, 2012).

על מנת לפתור את הבעיות לעיל, של האינטראקציה בין הגלים והזרמים ופעולתם המשולבת על רשתות וכלובי הדגים, שהם מעין מבנים של סביבה נקבובית, היא בעלת חשיבות מכרעת. הסקירה הנוכחית ממוקדת בעיקר בהדמיה ספרתית של האינטראקציה של הגלים והזרמים עם כלובי דגים. היא אינה עוסקת בהיבטים ביולוגיים כגון הצטברות צמדה ימית (fouling), צפיפות הדגים בכלוב, פרוס החמצן במי הכלוב, למרות שהיבטים אלה חשובים גם כן.

מודל ספרתי שלם המותאם לניתוח הדינמי של האינטראקציה של גלים וזרמים עם כלובי דגים חייב לכלול: מודל הידרודינמי של הכוחות שיאפשר לחשב את הכוחות הפועלים על כלובי דגים, מודל הידרודינמי של זרימה שיאפשר לחזות את שדה הזרימה דרך רשת הדיג של הכלוב והזרימה סביב הכלובים, ומודל מבני שיאפשר לחשב את עיוותי הכלוב ורשת הדגים שבתוכו."

מכיוון שכעת ברור כי בכדי לבצע חישוב מהימן ומדויק של השפעת הגלים והזרם על כלובי דגים נדרש להפעיל מערך של מודלים ותכנית הדמיות ניכרת, שהם מחוץ לתכולת העבודה הנוכחית, ננסה להביא אומדן מקורב ויותר פשוט של הכוחות המרביים המופעלים על כלובי דגים משוקעים בתנאי שרידות. לשם כך נשתמש בתוצאות של הדמיות הידרודינמיות קינמטיות של המהירויות, התאוצות והלחצים הפועלים על מבנה כלוב למקרה קיצון שבו הזרם והגלים מתקדמים באותו כיוון. חישובים אלה לא לוקחים בחשבון כי בעת מצב קיצון צפוי עיוות מסוים של רשת הכלוב, שצפוי לגרום לשינוי בתנאי הזרימה. מאידך, לתנאי החוף הישראלי באזור אשדוד ומכמורת, אנו מקבלים כפי שיוצג בפרקים 3 ו-4 כי כיוון הזרמים המרביים הינו בקרוב מקביל לכיוון קווי העומק באשדוד ומכמורת. כמו כן כי הכיוון של הגלים המרביים הינו בקרוב מערבי במים עמוקים ומשתנה בתלות קו העומק בו מוצבים הכלובים. כתוצאה מכך הרכיבים האופקיים של המהירות האורביטלית ושל התאוצה האורביטלית יהיו בזווית לכיוון הזרם (צפונית במקביל לקווי



העומק בקרוב). לכן, רכיבי המהירות האורביטלית האופקית יהיו נמוכים יותר מאשר אם נניח כי הזרם והגלים נעים ממש באותו כיוון. על כן החישוב יבוצע בהנחה הנ"ל תוך שימוש בנוסחת מוריסון ובהנחה שמבנה רשת הכלוב לא מתעוות.

ננסה לקבל אומדן של הכוחות הצפויים לפעול על כלוב דגים במצב שרידות, כאשר מצבי השרידות יוגדרו לפי תקן ISO לכלובי דגים, עם התאמה לתנאי הסביבה בישראל. מאחר ומכל החברות שמפעילות כלובים, התקבל מידע לגבי חישובים שנעשו לתכן הכלובים רק מחברה אחת, אך בהגבלה שהחומר לא יפורסם (ובנוסף היו בידנו דוחות שמאות המתארים נזקים לכלובי דגים באירוע ב-2013 שנמסרו לנו ללא הגבלה לאופן השימוש במידע), ההתייחסות תהיה כללית ועקרונית.

נביא להלן את תבנית הזרימה של אומדן חישוב הכוחות על כלוב. תוצאות החישוב מקורב למספר מצבי שרידות נבחרים עבור אזור אשדוד ועבור אזור מכמורת יוצגו בפרק 6. התוצאות הן עקרוניות היות ולצערנו, למרות פנייה למפעילי הכלובים לקבל מידע מפורט על אפיוני הכלובים המופעלים, הוא התקבל רק ממפעיל אחד ורק בהתחייבות של אי פרסום המידע. לכן, פרמטרים חשובים לגבי הגיאומטריה של רשתות הכלובים ושל מערכות הרתיקה שבשימוש נותרו חסרים, ונאלצנו לבחור ערכים עקרוניים לדוגמה.

## 2.2.2 בחירת וחישוב ערכי הפרמטרים המטאו-ימיים למצב שרידות

א. ובכן, לאחר שיש לנו אפיון של המשטר המטאו-ימי לטווח זמן קצר, ארוך ונדיר (קיצון) של רוחות, הגלים והזרמים ואת המידות הפיזיות ושל החומרים של כלובי הדגים, יש צורך ראשית יש לקבוע את ערכי הפרמטרים של הרוחות, הגלים והזרמים במצב שרידות. כאן יש צורך שהחישוב יתחשב באורך החיים הכלכלי המתוכנן לכלוב מערכת כלובים כדי שהקמתם תשתלם לזיסוציבור (ראה טבלה מס' 1-2, סעיף 2.1.3). כמו כן, יש צורך לבחון הערכים שקבענו ביחס לרמות תכן מזעריות המומלצות ע"י התקינה הבינלאומית, כמו התקן הנורבגי NS 9415.E:2009, או התקן הבינלאומי החדש יותר ISO 16488 (2015), או תקנים של ארצות אחרות או המלצות של מחקרים שהוזכרו בסעיף 1.2.5 ומופיעים ברשימת הספרות בסוף הדו"ח. לדעת המחבר תקן ISO הנ"ל הוא המעודכן ביותר ועבר את הביקורת הבינלאומית המקיפה ביותר, למרות שיש גם פרטים שלא מצויינים בו שכן מופיעים בתקן הנורבגי NS 9415.E: 2009.

ב. על פי תקן ISO דלעיל מומלץ כי גובה גל התכן יהיה גובה הגל המרבי במיקום הכלובים המבוסס על גובה גל סיגניפיקנטי קיצון עם תקופת חזרה ממוצעת של 50 שנים.

$$2.0 \times H_{s,max50y} = H_{max,50y} \quad \text{גובה הגל המרבי לתכן יהיה לפי התקן הנ"ל}$$

ד. זמן מחזור של הגל המרבי הנ"ל יהיה שווה לזמן המחזור שיא הספקטרום  $T_p$  של אותו מצב ים עם גובה סיגניפיקנטי  $H_{max,50y}$  ועל פי התקן הנ"ל  $T_p$  צריך להיות מבוסס על הנחת פרוס ספקטרי מסוג JONSWAP עם מקדם  $\gamma = 3.3$ .

$$T_{Hmax} = 2.55 \cdot \sqrt{H_{max}} \quad \text{לביין} \quad T_{Hmax} = 3.32 \cdot \sqrt{H_{max}} \quad \text{אולם הוא אמור להיות בגבולות הערכים של}$$

לתנאי הים בחופי ישראל בים התיכון מומלץ להשתמש במקדם  $\gamma = 2.7$  ואז ניתן לקבל את הקשר המוצג

$$T_p = 5.45 \sqrt{H_s} \quad \text{במשוואה 11, כלומר}$$

שימוש בקשר זה מביא לזמני מחזור יותר סבירים ועוצמתיים ולדעתנו הוא יותר מתאים להגדרת אפייני הגל למצב השרידות. מאידך, כפי שישתבר בהמשך, הגלים עם זמני המחזור שהומלצו ע"י התקן הבינלאומי הם יותר תלולים (תלילות היא היחס בין גובה הגל ואורך הגל) ולכן המהירויות האורביטליות של גלים אלה תהיה יותר גבוהה. מאידך כאמור, סטטיסטית הסתברות התרחשותם נמוכה יותר.

ה. לגבי תרומת הזרימה בים, תקן ISO הנ"ל ממליץ כי יעשה שימוש בנתוני מהירות זרם עם תקופת חזרה ממוצעת של 10 שנים כאשר נבדקת השפעה משולבת עם תרומת גלים עם תקופת חזרה ממוצעת של 50 שנה). כמובן שיהיה צורך גם להתייחס לכיוון הזרימה בעמודת המים ולפרופיל הזרימה בעמודת המים.

ו. לגבי תרומת הרוח לזרימת המים בים, במידה והכלוב צף, על חלק הגוף הצף מומלץ להשתמש בנתוני מהירות רוח עם תקופת חזרה ממוצעת של 50 שנה. כאשר מדובר בכלוב שכולו טבול בעמודת המים קביעת תרומת הרוח לזרם השקול מורכבת יותר ולא מצאנו הנחיה בתקנים.

ננסה לברר מה תרומת הרוח על כלוב בעמודת המים. לשם כך נעזרנו במאמרם של (2012) Chang et al., שמצביעים שניתן להעריך כי מהירות תרומת הזרם המושרה על ידיה בשכבת המים העליונה הינה בסדר גודל של כ-2% ממהירות הרוח התקנית (המדודה בגובה 10 מ' מעל פני הים).

כעת נוכל להשתמש בעבודתו של Ashkenazi (2016) כדי לומר שמהירות הזרם מושרה הרוח תישאר בקרוב כמו זאת שבקרב פני המים עם דעיכה מסוימת לכיוון העומק בעמודת המים. להערת המחבר, אפשר לאמוד את מהירות הזרם מושרה הרוח בעומקים גדולים מ-20 מ' לכ-1% ממהירות הרוח התקנית. כמו כן, הרוח משרה הטיה של כיוון הזרם בעמודת המים לפי תופעת ספיראלת Ekman. על כן להערכת המחבר ניתן לאמוד באופן טוב את תרומת הרוח למהירות הזרם.

באופן מעשי במקרה שלנו, אנו מתבססים על נתונים בהם תרומת הרוח והזרימה הגיאוסטרופית כבר משולבות במדידות עצמן, לכן לדעת המחבר החישוב של ערכי הקיצון של הזרמים על פי המדידות יכסה את תרומת הזרימה הכללית וגם של הרוח. על פי מדידות של זרמים במצבים הכי סוערים שנרשמו בארץ, אפשר לומר כי שינוי כיוון הזרם בזמן סערות רוח חזקות, יכול להגיע לכדי 1 עד 2 מעלות על כל מטר ירידה בעמודת המים בתחום העומקים 20 עד 60 מ'.

### 2.2.3 חישוב הידרודינמי קינמטי של פרוס הלחצים, המהירויות והתאוצות שפועלים על הכלוב

בשלב זה יחושבו פרוס הלחצים, המהירויות והתאוצות בעמודת המים ויבחרו השילובים המביאים לעומסים המרביים. תוצאות חישובים אלה מוצגות בנפרד עבור אזור אשדוד ועבור אזור מכמורת בסעיפים. נתוני המהירות, הזרם והלחץ בשלשת הצירים משמשים לסיכום של כוחות הגרר, העילוי והציפה, ולקבלת אומדן של הכוח השקול וכיוונו. הוא אמור להיות מאוזן ע"י העברת הכוחות לעוגן/עוגנים של הכלובים באמצעות חבלי או כבלי הרתיקה.

## 2.3 חישובים הידרודינמיים קינמטיים לטווח זמן קצר

פעילות הכלוב צריכה להיבחן מהיבט תפעול יום-יומי ומבחינת הישרדות במצבי ים קיצוניים.

לצורך בחינת השפעת מיקום הצבת כלוב דגים על הכוחות הפועלים עליו, כלומר על סיכויי ההישרדות של כלוב הדגים ותכולתו במצבי ים שונים, בוצעו חישובים של המשרעת של המהירות האורביטלית ושל התאוצה האורביטלית של חלקיקי המים בגלים שונים, עבור עומקי מים של 40 מ' ושל 60 מ', עבור טבילה של הכלוב כך שהוא 6 מ' מעל הקרקעית.

החישובים בוצעו בעזרת מודול Fourier Series Wave Theory של מערכת התוכנה ACES שהזכרו קודם. תיאור של התיאוריה שמופעלת ע"י מודול לחישוב הנתונים ההידרודינמיים הקינמטיים של הגלים מוצג בנספח 5. הנתונים

הקינמטיים המרביים של המהירות, התאוצה ופרוס הלחץ דרושים כדי לחשב את הכוחות המרביים המופעלים על כלובים במצבי טבילה שונים.

בזרימה תונדת בנוכחות זרם עם מהירות  $u(t)$  משוואת מוריסון מבטאת את הכח הפועל בכיוון הזרימה ומורכב משני אברים, הראשון הקשור לאינרציה והשני הקשור לגרר.

כח הגרר המופעל על גוף טבול קשיח במים בהשפעת גלים ניתן לחישוב בקרוב על פי נוסחת **Morison** כדלקמן:

$$[20] \quad \mathbf{F} = \mathbf{F}_I + \mathbf{F}_D = \mathbf{F}_I = C_M \rho \dot{u} V + C_D \frac{1}{2} \rho A u |u|$$

כאשר:

$$[21] \quad C_M = 1 + \frac{M_a}{\rho V}$$

$C_M$  הוא מקדם האינרציה של הגוף הטבול,

$M_a$  היא מסת המים הנוספת למסת הגוף הטבול עצמו הנעה יחד עימו, כאשר המסה הנוספת תלויה בצורת הגוף. הגדרת המסה הנוספת במקרה של רשת כלוב היא הרבה יותר מסובכת ומוגדרת רק באופן ניסיוני בשילוב מודלים כפי שמובהר בנספח 4.

$\rho$  היא צפיפות מי הים, שכמובן תלויה במליחות, טמפרטורה והלחץ בעמודת המים על פי משוואת המצב. בקירוב טוב נוכל להשתמש לאזור מדף היבשת הישראלי בים התיכון לחישוב כוחות על כלובי הדגים בערך של 1.265 גר'סמ"ק.

$\dot{u}$  היא התאוצה של חלקיקי המים,

$V$  הוא הנפח של הגוף, ועבור גוף גלילי בעל קוטר  $D$ , נקבל  $V = \frac{1}{4} \pi D^2$

$C_D$  הוא מקדם הגרר של הגוף,

$u$  היא המהירות של חלקיקי המים,

$|u|$  היא עוצמת המהירות של חלקיקי המים,

$A$  הוא שטח היטל הגוף בכיוון ניצב לכיוון הזרימה.

להבדיל מהתיאור דלעיל, כאשר מדובר בכלובי דגים גמישים ובלתי אטומים הכוללים בעיקר רשת דגים, חישוב ההכוחות מורכב הרבה יותר מאשר החישוב לפי נוסחת מוריסון, כמוסבר בנספח 5.

מתוך בחינת הפרמטרים הנכללים בנוסחת מוריסון, ברור כי עבור גוף בעל גיאומטריה נתונה, הערכים הקובעים את הכוחות ופרוס הכוחות על הגוף הטבול (כלומר הכוחות והמומנטים הפועלים עליו) הם ערכי המהירות האורביטלית ושל התאוצה האורביטלית. גם לזרם הכללי באזור החוף הישראלי יש תרומה מסוימת, ובהנחה שמהירות הזרם קבוע ולא תונדת מהר בזמן אפשר לראותו כתורם לכח הגרר אך לא לכח אינרציה, אך תרומת הגלים לרב היא התרומה העיקרית.

אופייני גל המתקדם מתחום מים עמוקים (עומק גדול מחצי אורך הגל) לתחום מים רדודים יותר, משתנים כתלות ב: זמן המחזור של הגל  $T$ , גובה הגל  $H$ , עומק הקרקעית מפני הים  $d$ , ועומק הטבילה  $z$  בו אנו מתעניינים, (מדוד מפני הים).

על פי התיאוריה הליניארית, מוצגות לשם המחשה להלן נוסחאות רכיבי המהירות והתאוצה האורביטלית האופקיות והאנכיות.

מהירות חלקיק אופקית:

$$u = \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{\cosh\left(\frac{2\pi(z+d)}{L}\right)}{\sinh\left(\frac{2\pi}{L}d\right)} \cos(\theta) \quad [23]$$

מהירות חלקיק אנכית:

$$w = \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{\sinh\left(\frac{2\pi(z+d)}{L}\right)}{\sinh\left(\frac{2\pi}{L}d\right)} \sin(\theta) \quad [24]$$

תאוצת חלקיק אופקית:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \dot{u} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \cdot \frac{\cosh\left(\frac{2\pi(z+d)}{L}\right)}{\sinh\left(\frac{2\pi}{L}d\right)} \sin(\theta) \quad [25]$$

תאוצת חלקיק אנכית:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \dot{w} = -\frac{2\pi^2 H}{T^2} \cdot \frac{\sinh\left(\frac{2\pi(z+d)}{L}\right)}{\sinh\left(\frac{2\pi}{L}d\right)} \cos(\theta) \quad [26]$$

כאן:

$z$  הוא עומק הטבילה מדוד מפני המים,  $d$  הוא עומק המים,  $L$  הוא אורך הגל במקום, ו- $\theta$  היא זווית הפאזה של הגל.

בפועל, תיאור הגלים על פי התיאוריה הליניארית נמצא כי פחות מדויק מתיאוריות לא ליניאריות. אחת השיטות המקובלות כיום לתיאור מהימן של דינמיקת חלקיקי המים בגלים היא תיאוריה לא ליניארית הקרויה תיאורית הגלים של טורי פורייה. לפי תיאוריה זאת ניתן לחשב ערכים שונים עבור גלים מתקדמים בעלי צורה קבועה על פי קירוב בעזרת טורי פורייה. על פיה ניתן לחשב ערכים הנדסיים שונים כגון רום פני הגל, תכונות אינטגרליות של הגלים ופרמטרים קינמטיים כפונקציה של גובה הגל, זמן המחזור (של גל בודד) עומק המים ואינטרקציה עם זרם אחיד בו-זמני. התיאוריה פותחה ע"י פנטון (Fenton, 1990)

לצורך עריכת הבחינה בחרנו גלים בעלי זמני מחזור שונים, שייכתנו בסערות החורף במצבי ים קיצוניים.

יחושבו ערכי המהירות האורביטלית  $U$  והתאוצה האורביטלית  $\dot{U}$  וכן ערכים של המהירות והתאוצה האנכית בעומקי טבילה שונים מתחת לפני הים, וכן פרוס המהירות האורביטלית האופקית והתאוצה האנכית בזמן שיא הגל בכל עמודת המים, עבור עומקי מים של 40- מ' ושל 60- מ'. כמו כן, בכל החישובים תוסף תרומת הזרימה הכללית וכן תרומת הזרימה מושרית רוח.

## 2.4 מערכות ושיטות עגינה של כלובי דגים

כפי שאפשר לראות בסעיף הקודם, רב מערכות העגינה של כלובים מבוססות על עגינה באמצעות כמה קווי עגינה אל קרקעית הים (multi point mooring), אך ישנן גם מערכות עגינה מבוססות נקודת עיגון בודדת (single point mooring - SPM). מערכות העגינה מרובות נקודות עגינה מגבילות את תנועת הכלוב או חוות כלובים ביחס לכיוון השקול של הכוחות מושרי הרוח, הזרמים והגלים ולעומתם מערכות עגינה בודדת מאפשרות תנועת הכלוב הבודד או חוות כלובים לעמידה וקבלת העמסה בכיוון שקול הכוחות. אם תנאי הסביבה המשתנים וכיוון שקול הכוחות משתנה, אזי מערכות עגינה נקודתית מאפשרות תזוזת הכלוב ממקומו ובכך גם מקטינות ריכוז פליטות שיירי המזון וצואת הדגים במקום אחד ואת הבעיה של הזיהום הסביבתי.

מערכת העגינה של הכלובים כוללת לרוב חבלי רתיקה של הכלוב אל העוגנים וכן קווי מתיחה והזזה של הכלוב, שמחברים למצופים או ישירות מהכלוב, או דרך נקודות מעוגנות לקרקעית או למשקולות מונחות על קרקעית הים. בעבר, חברת מפעלים ימיים השתמשה במערכת עם כננת מתיחה מוצבת על מצוף על מנת לשקע כלוב לעומק הים לקראת מצב סערה. הבעיה שהתגלתה היתה שמשך הורדת הכלוב היה ארוך מדי ולא הספיקו להוריד תמיד להוריד הכלוב.

בכלובים מסוג tension leg cage TLC הבנויים עם יכולת ציפה עצמית עודפת, כאשר כוחות הסביבה גוברים, הכלובים שוקעים באופן עצמאי, אך לא ידוע כי נוסו מערכות המורידים הכלובים מספיק עמוק כדי להקטין משמעותית את כוחות הגלים. בכלובי רפאמד אשר במכמורת הכלובים במצב תפעולי מלכתחילה שקועים, דבר המאפשר שקיעה יותר עמוקה בזמן סערה אך נראה לנו כי לא מספיק עמוק כדי לקבל הקטנה משמעותית של הכוחות. ההקטנה מסייעת לא רק לשרידות הכלובים אלא גם לשרידות הדגה בתוכם, היות וככל שהכלובים גבוהים יותר בעמודת המים צמצום נפח הרשתות יגדל.

בסיוור שערכנו בנמל אשדוד תוארו לנו שיטות העגינה אצל שני מפעלי הכלובים. כל מערכות העגינה בנמל התבססו על עוגני כלונסאות, כלונס לכל נקודת עגינה. התיחסות יותר פרטנית לגבי מערכות העגינה לא היתה אפשרית מכיוון שלמרות פניות לכל מפעלי הכלובים לא התקבלו נתונים מ-3 מתוך ארבעת המפעלים והמפעיל שכן העביר מידע, אסר לפרסם המידע. לאור זאת אנו נתייחס רק להיבטים עקרוניים של תכן נכון של מערכות עגינה ורתיקה.

ראשית, מאחר ונעשה שימוש בחבלים מסיבים פלסטיים (ניילון, פוליאטילן, פוליסטיל, פוליאסטר) יש לשים לב לתכונות האלסטיות של החבלים ולשים לב כי על פי המלצות היצרנים אין להעמיס בתנאים רגילים את החבלים בעומסים העולים על 12% מכח הקריעה שלהם, ובשום אופן לא יותר מ-25% מכח הקריעה במצבי קיצון. מקדמי הביטחון נחוצים להבטיח שרידות במצבי קיצון. כמו כן, נדרשת ביקורת מצב החבלים לאחר כל סערה רצינית (עם תקופת חזרה של יותר מ-10 שנים), ויש להחליף את החבלים אחת לשנה עד שנתיים לכל היותר, גם אם למראית עין (לרב מתחת למים ע"י צוללים לא מומחים) החבלים נראים "בסדר". שימוש בצוללים מומחים לנושא לחבלי רתיקה של חברות שמאות, יכול לאפשר קביעה האם הכרחי להחליף את החבלים או לאו. אלמנט אחר של מערכת העגינה יהיו השרשרות. אורכן ומשקלן צריך להיות מותאם למטרת השימוש, ולהיקבע ע"י תכנון בעזרת תוכנה מקצועית המתחשבת בעקומת השקיעה של השרשרת (catenary).

ראינו כי בחלק מהכלובים נעשה שימוש בארץ בעוגני מחרשה. לדעתנו, בגלל סוג הקרקעית ברוב תחום השטחים המיועדים להצבת כלובי דגים, העלולה להתנזל, רק עגינה באמצעות עוגני כלונס או עוגנים מתחפרים כגון של חברת Vryhof

(<http://www.vryhof.com>) יתאימו לעיגון הכלובים שמדף היבשת הישראלי בים היכון, אלא אם במקרה יש במקום קרקעית כורכר קשה.

Mochet et al. (2014) הציגו מסקנות כלליות לגבי שרידות ותפקוד של מערכות עגינה. הם ציינו כי הסיבות העיקריות לכשל מערכות עגינה כוללות תכן לא נכון ואפיון לא נכון של תנאי הסביבה בשלב התכנון, פגמי יצור, כשל התעופות חומר, קורוזיה, התקנה לא נכונה של חומרים ושימוש לא נכון. בסדר הכשל, מצאו כי הגורמים הראשיים בסדר זה הם:

א. כשל שרשרות, בכ-50% מהמצבים שבדקו,

ב. מחברים, בכ-23% מהמקרים

ג. כבלי פלדה, בכ-19% מהמקרים

ד. חבלים סינטטיים בכ-8% מהמקרים

בהקשר לחבלים הסינטטיים שבשימוש בארץ, התרשמנו כי יש העדפה לשימוש בחבלי פוליפרופילן בגלל יכולת הציפה שלהם. מאידך, חבלים אלה הם פחות חזקים מאשר חבלי ניילון או פוליאסטר או פוליסטיל. תכנון מערכת העגינה חייב לקחת בחשבון את התכונות האלסטיות שלהם וכן את העובדה כי חבל שנמתח ומתארך, צובר תוך כדי התמתחותו אנרגיה אלסטית שלאחר מכן תשחרר ע"י התכווצות והזזה של הכלוב בעת שיקטן הכח הסביבתי, ראה Bratteland (1988).

### 3. עיבוד וניתוח הנתונים המטאור-ימיים לאפיינים סטטיסטיים באזור אשדוד

#### 3.1 אפיון הרוחות באזור אשדוד בים

##### 3.1.1 עיבוד נתוני הרוחות הגולמיים לבנק נתוני רוחות שעתיים

כאמור בסעיף 1.2.1 התברר כי באתר שמ"ט ניתן היה למצוא מדידות רוחות בנמל אשדוד אך רק לאורך מ-שנת 2000 עד ספטמבר 2012 כאשר לאחר מכן לא היו זמינות יותר, אולי בגלל פעילות פיתוח הנמל. הנתונים כללו ברובם נתונים שעתיים ממוצעים אך גם נתונים של ערכי משב הרוח (wind gust) של הדקה העוצמתית ביותר ושל 10 הדקות הגבוהות בשעה. לא הצלחנו למצוא מה קרה עם תחנת מדידת הרוח באשדוד או למצוא מדידות מתחנה אחרת בנמל או בקרבתו אם ישנה. לכן, הוחלט לבדוק אפשרות שימוש בנתוני רוחות מתחנת יבנה ים, וכן מתחנת נמל אשקלון, שהן מדרום ומצפון לנמל אשדוד. באופן זה קיינו כי יתאפשר שימוש בנתוני רוחות משתי התחנות הנ"ל כדי להשלים את המידע החסר באשדוד עד סוף מרץ 2015, כדי שיהיה מידע על הרוחות גם בתקופה החסרה עד מרץ 2015. הבדיקה שבוצע ע"י בחינת קורלציות בין רוחות (כיוון ועוצמה) הראתה כי נתוני הרוחות באשקלון דומים לאלה שבאשדוד ולכן הוחלט להשתמש בהן כדי להשלים בסיס הנתונים עד סוף מרץ 2015 באשדוד.

כמו כן, מאחר ולא היו מדידות רוחות אלא רק בקרבת החוף, ומאחר ועל פי הספרות מהירות הרוח בים יכולה להיות גבוהה יותר עד כ-30%, ומאחר שעל בסיס קורלציות בין מדידות רוח בנמל חדרה (כ-200 מ' מערבה מקו החוף) ובקצה מזרח הפחם בחדרה (כ-2.1 ק"מ מקו החוף) נמצא (ראה פרק 4.1.1) כי המהירות בים היתה כ-10% גבוהה יותר מאשר בחוף, גם כאן נשתמש במידע זה לאומדן מהירויות הרוח במיקום קו עומק 40- מ' ו-60- מ'.

##### 3.1.2 אומדן של משטר הרוחות במצבי קיצון נדירים מול אשדוד באזור המיועד לחוות כלובי דגים

נתוני מהירויות הרוח חולקו לפי שנים הידרוגרפיות, ובכל שנה אותרו הערכים הממוצעים הגבוהים ביותר. ערכים אלה שימשו תשומה לבדיקת התאמתם ל-5 פונקציות הסתברות של הערכים הנדירים (ערכי הקיצון) עבור תקופות חזרה שונות. כפי שהוסבר בפרק 2.1.3, פונקציות פרוס אלה היו Frechet-Typpet Type I ופונקציית פרוס Weibull עבור 4 ערכי חזקה. ריכוז התוצאות שהתקבלו מוצגים בטבלה 3-1 להלן, וכלל התוצאות לקבלת אומדן ערכי קיצון לתקופות חזרה ממוצעות שונות של מהירות הרוח באשדוד מוצגות בנספח 1.1.1.

טבלה מס' 3-1 - חישוב ערכי קיצון של רוחות בחוף אשדוד

Case: Extreme Winds at Ashdod Shore (Ashdod Port)

Extremal Hourly Wind Speed Analysis

N:	19	NU:	1
NT:	19	K:	19
Lambda:	1.00	Mean:	16.37
Standard deviation:	3.01		

Correlation: FT-I 0.95  
Sum square of residuals: 0.07

Weibull Distribution

k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0
0.82	0.89	0.94	0.97
0.42	0.24	0.08	0.04

Return Period (Yr)	Vw(m/s)	Vw(m/s)	Vw(m/s)	Vw(m/s)	Vw(m/s)
2	15.93	15.40	15.50	15.74	16.02
5	18.60	17.57	18.13	18.60	18.88
10	20.36	19.54	20.12	20.45	20.51
25	22.59	22.45	22.74	22.66	22.33
50	24.25	24.86	24.73	24.21	23.53
73	25.15	26.23	25.82	25.02	24.15
100	25.89	27.41	26.72	25.69	24.64

WARNING: RETURN PERIODS > 57 Yrs May Not Be Meaningful.

95% Confidence Interval (Lower Bound - Upper Bound)

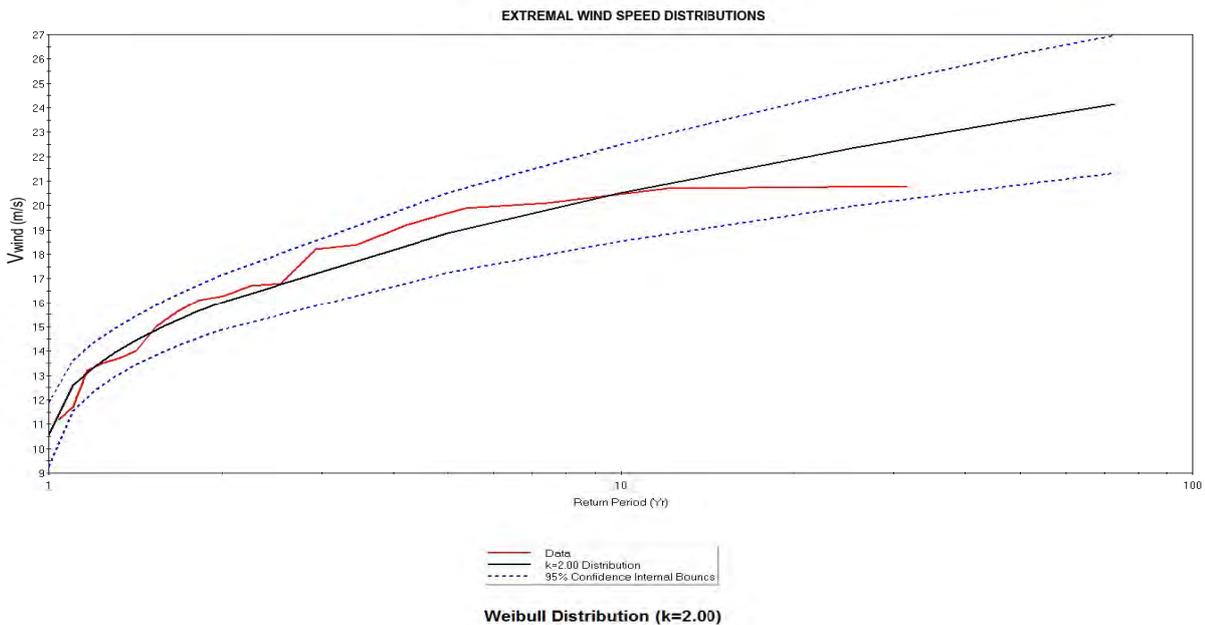
Return Period (Yr)	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0
5	16.9 - 20.2	14.7 - 20.5	15.9 - 20.4	16.7 - 20.5	17.3 - 20.5
10	18.2 - 22.6	15.0 - 24.0	16.8 - 23.4	18.0 - 22.9	18.5 - 22.5
25	19.6 - 25.6	15.5 - 29.4	18.1 - 27.4	19.4 - 25.9	19.9 - 24.7
50	20.7 - 27.8	15.9 - 33.8	19.0 - 30.4	20.5 - 28.0	20.9 - 26.2
73	21.3 - 29.0	16.1 - 36.3	19.5 - 32.1	21.0 - 29.1	21.3 - 27.0
100	21.7 - 30.0	16.3 - 38.5	19.9 - 33.5	21.4 - 30.0	21.7 - 27.6

Units: (m/s)

Percent chance for Hourly Wind Speed equalling or exceeding return period

Return Period (Yr)	2	5	10	25	50	73
2	75	97	100	100	100	100
5	36	67	89	100	100	100
10	19	41	65	93	99	100
25	8	18	34	64	87	95
50	4	10	18	40	64	77
73	3	7	13	29	50	63
100	2	5	10	22	39	52

על בסיס התוצאות הנ"ל ומאחר שמקדם הקורלציה (Correlation) הגבוה ביותר וסטיית התקן הקטנה ביותר (sum of residuals square) התקבלו עבור פרוס Weibull עם חזקה 2.0, נבחר בערכי רוחות הקיצון Vw עבור תקופות החזרה השונות. התאמת פרוס זה לנתוני המדידות השנתיות המרובות ממוצגת באיור מס' 3.1.



איור מס' 3.1 - פרוס וויבול, מקדם  $K=2.00$ , רמת אמינות של 95% מהירות רוח שעתית למצבי קיצון על קו עומק 2- מ' מול אשדוד



3.1.3 אומדן של משטר הרוחות הרב שנתי (שנתי, קיצי וחורפי) מול אשדוד באזור המיועד לחוות כלובי דגים

בעמודים הבאים נציג בטבלאות ובצורה גרפית את התוצאות שהתקבלו עבור אקלים הרוחות הרב שנתי בחוף אשדוד על בסיס המדידות בנמל אשדוד, כ-200 מ' מקו החוף ובתוספת העברה של שנתיים נוספות של רוחות מנמל אשקלון. התוצאות מציגות טבלאות של שכיחות ממוצעת משותפת של מהירות הרוח וכיוונה, בחלוקה שנתי, וגרפים של ההתפלגות הכיוונית השנתית של הרוח, וכן גרפים של ההתפלגות השולית של מהירות הרוח ושל כיוון הרוח. גרפים אלה וכן טבלאות וגרפים בחלוקה לעונות הקיץ והחורף מוצגים יחד בנספח 1.1.2.

למרות ההשלמה הזאת עם נתוני אשקלון, בסדרת הזמן השעתית של נתוני הרוחות בין אפריל 2000 עד מרץ 2015, נותרו גם מעט נתונים חסרים. הניתוח הסטטיסטי לא יכול היה להיתבצע עם נתונים חסרים, אלא התייחס כאילו הנתונים בכל 15 שנות המדידה מהווים את כל הנתונים כלומר את 100% השכיחות של כל הנתונים. על כן, התוצאות שהתקבלו בהתפלגות זמן שנתי וגם בהתפלגות העונתית יוחסו לסך הנתונים שהיו זמינים לניתוח. על מנת לתקן התוצאות עבור הנתונים החסרים היה צורך לחשב מקדם תיקון של השכיחות השונות, שהיווה היחס בין סך הנתונים שנמדדו לעומת כל הנתונים שיכלו להיות מדודים באותן השנים. ערך המקדם הזה ודרך חישובו מוצג בטבלה מס' 2-3 להלן, יחד עם המקדמים עבור כל יתר הנתונים שעובדו (רוח, גלים, זרמים באשדוד ובמכמורת).

טבלה מס' 2-3 - מידע על נתונים חסרים ומקדמי התיקון

נתונים לחישוב אחוז מידע חסר במדגמים הקיימים		נמות נתונים אפשריים לתקופת הבדיקה			נמות נתונים שנתיים זמינים			תיקון ערכים שכיחות של המדגמים עקב חוסר נתונים (קיץ וחורף מחושבים על בסיס שנתי)			
								מדידות	מדידות	מדידות	%
אתר	סוג הפרמטר	הידרוגרפיות	מס' תוספת יומי 29/2	מס' שנים	סך שעות שנתיות	סך שעות בקיץ-7 ח'	סך שעות בחורף-5 ח'	סך מדידות שנתיות	מדידות קיצי	מדידות חורפיות	%
מול חופי צפון אשדוד	רוח	199704-201603	19	5	166560	97584	68976	163285	95392	67893	98.034
	זרם בעומק 4 מ'	200404-201503	12	2	105168	61632	43536	93450	55269	38181	88.858
	זרם בעומק 11 מ'	200404-201503	12	2	105168	61632	43536	95346	55810	39536	90.661
	זרם בעומק 22 מ'	200404-201503	12	2	105168	61632	43536	95127	55670	39457	90.452
	גלים במים עמוקים	199204-201603	24	6	210384	123264	87120	204880	119615	85265	97.384
	גלים על קו עומק 60 מ'	199204-201603	24	6	210384	123264	87120	204880	119615	85265	97.384
	גלים על קו עומק 40 מ'	199204-201603	24	6	210384	123264	87120	204880	119615	85265	97.384
	גלים על קו עומק 30 מ'	199204-201603	24	6	210384	123264	87120	204880	119615	85265	97.384
מול חופי מכמורת	רוח	200004-201503	15	3	131472	77040	54432	129419	75720	53699	98.438
	זרם בעומק 4 מ'	200404-201503	15	3	131472	77040	54432	77047	45678	31369	58.603
	זרם בעומק 11 מ'	199404-201503	22	5	192840	111992	79848	164273	95231	69042	85.186
	זרם בעומק 22 מ'	200404-201503	15	3	131472	77040	54432	93448	54300	39148	71.078
	גלים במים עמוקים	199204-201503	24	6	210384	123264	87120	205948	119805	86143	97.891
	גלים על קו עומק 40 מ'	199204-201503	24	6	210384	123264	87120	205948	119805	86143	97.891

טבלה מס' 3-3

אומדן שכיחות שנתית משותפת של עוצמת הרוח הממוצעת השנתית ושל כיוון הרוח השנתית בחוף אשדוד  
 מבוסס על מדידות רוח ממוצעות כלל 10 דקות של השרות המטאורולוגי בנימל אשדוד בתקופה אפריל 1997 - אוגוסט 2012 ובנימל אשקלון בתקופה ספטמבר 2012 - מרץ 2016

מרחק כיווני אינחות (מעלות)	כיוון רוח לפי שיושנת רוחות																סכום שכיחויות (%)	סכום שכיחויות מתוקן (%)	
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
-11.25	11.25	33.75	56.25	78.75	101.25	123.75	146.25	168.75	191.25	213.75	236.25	258.75	281.25	303.75	326.25	348.75	0.045	0.044	
11.25	33.75	56.25	78.75	101.25	123.75	146.25	168.75	191.25	213.75	236.25	258.75	281.25	303.75	326.25	348.75	371.25	0.045	0.044	
0.0-0.2	0.008	0.006	0.006	0.008	0.003	0.006	0.003	0.003	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.045	0.044	
0.3-1.5	0.003	0.081	0.160	0.235	0.353	0.451	0.462	0.417	0.336	0.325	0.353	0.311	0.280	0.216	0.143	0.053	4.178	4.095	
1.6-3.3	0.204	0.742	1.061	1.456	4.379	4.407	4.430	4.889	2.453	1.330	1.562	1.711	2.148	2.038	1.988	1.067	35.846	35.141	
3.4-5.4	0.826	1.042	0.619	0.664	3.032	2.772	2.974	2.719	3.172	1.198	2.176	2.722	3.956	4.620	4.998	3.419	40.858	40.054	
5.5-7.9	0.792	0.386	0.123	0.076	0.174	0.146	0.266	0.451	0.619	0.644	1.333	1.582	1.616	1.708	2.036	2.596	14.546	14.260	
8.0-10.7	0.193	0.092	0.020	0.003	0.020	0.014	0.039	0.168	0.129	0.277	0.552	0.498	0.353	0.246	0.165	0.465	3.234	3.170	
10.8-13.8	0.025	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.039	0.160	0.255	0.232	0.106	0.048	0.025	0.039	0.972	0.952	
13.9-17.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.008	0.056	0.098	0.064	0.034	0.006	0.003	0.000	0.272	0.266	
17.2-20.7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0.041	
20.8-24.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.003	
סכום שכיחויות (%)	2.052	2.363	1.988	2.442	7.960	7.748	8.173	8.652	6.759	4.012	6.353	7.120	8.492	8.882	9.358	7.638	100.000		
סכום שכיחויות מתוקן (%)	2.012	2.317	1.949	2.394	7.804	7.595	8.013	8.482	6.626	3.934	6.228	6.980	8.325	8.707	9.174	7.488	98.034		

הערות:

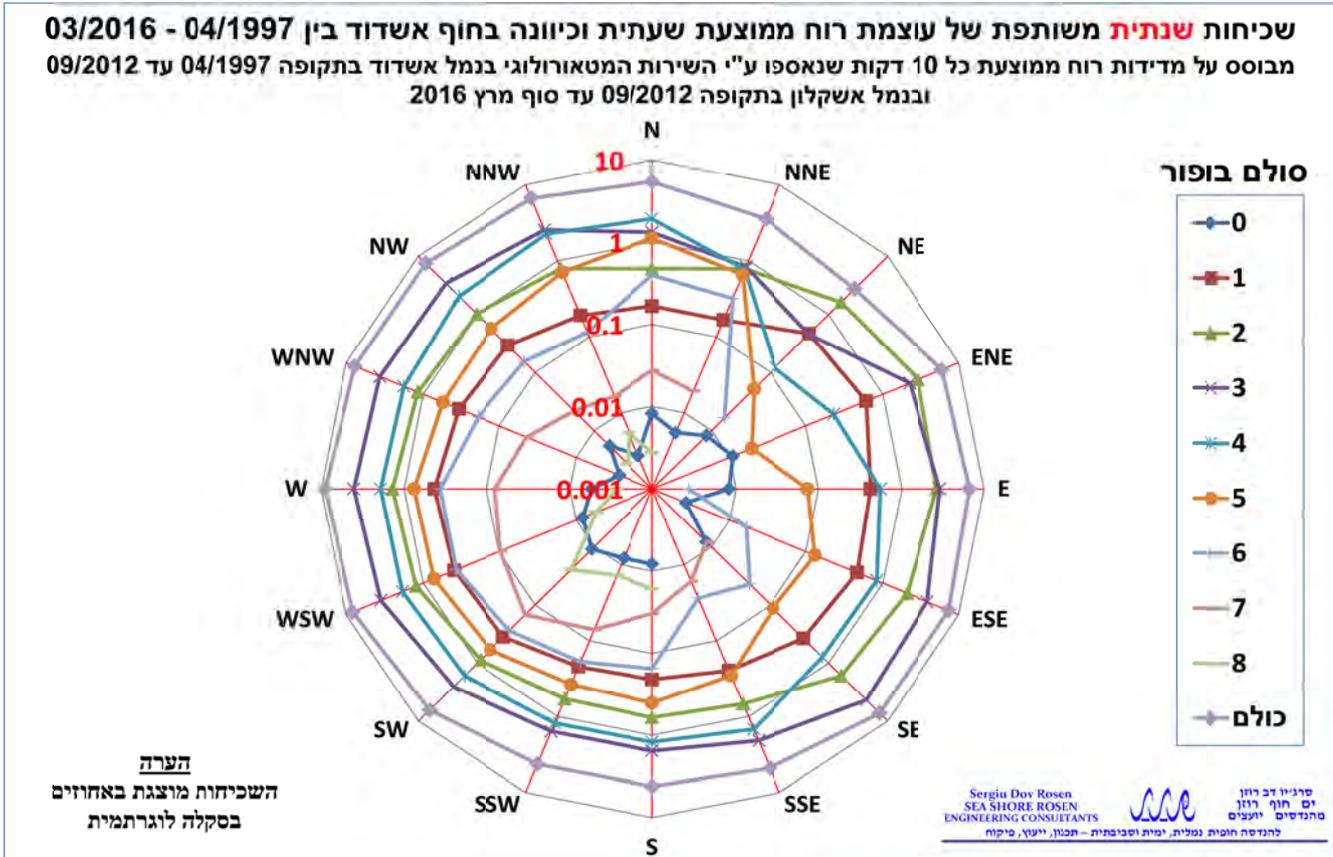
1. הישעושת בנתונים מנימל אשקלון להגדלת בסיס הנתונים של רוחות באשדוד בתקופה החל מספטמבר 2012 נבנו מרכז שפסקין מחדרת הרוח בנימל אשדוד באותה חתרה והוכח כי קיימת תאמת גברה מאד כי עוצמת הרוחות בחוף אשדוד לאלה בנימל אשקלון, כאשר התאמת בין כיוון הרוחות באשדוד ובאשקלון שונה במספר מעלות בלבד במרבית החמן.

2. אישון כי המידע נמדד בחוף הים על פי מודע שנמדד במקומות אחרים בעולם וגם מחדרת, מהירות הרוח ביס הפיתוח יכולה להיות גברה מהמהירות הנמדדת בשפת הים עד כ-40%.

מקום חקון עבור מדידות הסדות = 0.98034 = 3



איור מס' 3.2



איור מס' 3.3

## 3.2 עיבוד מידע הגלים ואפיון הגלים באזור אשדוד

### 3.2.1 עיבוד נתוני הגלים הגולמיים

כפי שתואר בסעיף 1.2.2 לשם אפיון הגלים באזור אשדוד השתמשנו במדידות הגלים שבוצעו באשדוד מאז אפריל 1992 ועד מרץ 2016 עבור חניי ע"י קאמרי. כל הנתונים שנמדדו בעונת החורף בין דצמבר עד סוף אפריל בשנה העוקבת, בתקופה דצמבר 2009 עד מרץ 2015 התקבלו מקאמרי. לא ביקשנו נתונים נוספים מחנ"י, היות ובתחילה לא היה ברור שנהיה זקוקים לנתונים של חודשי הקיץ. מאוחר יותר, כשהתקבלו הנתונים שביקשנו והתברר שדרושים גם נתונים ליתר החודשים, הוחלט לא להתעכב זמן נוסף ולא להמתין לנתונים נוספים. לכן, נתונים חסרים בחודשים מאי עד נובמבר בתקופה הנ"ל נוספו ממידע שנאסף ע"י המחבר מאתר חנ"י. כמו כן, עבור התקופה 1992 עד מרץ 2008 שעבורה כבר היו בידנו נתונים מאשדוד במסגרת מחקרים ישנים שביצע המחבר לחנ"י השתמשנו בהם. בעיה שהיה צריך לטפל בה כדי ליצור בנק נתוני גלים אחיד שעת, היתה שבחלק מהזמן, המדידות מאשדוד בוצעו במקבצים של מחצית שעה, ובחלק אחר מדי שעה. כאשר המקבצים נמדדו כל חצי שעה הם גם לא החלו תמיד בשעות קבועות. כל מקבץ מדידות כיסה כ-20 דקות מתקופת המדידה (חצי שעתית ושעתית). עבור הנתונים שנמדדו עד מרץ 2008 הערכים נשלפו מקבצים של המדידות הספקטרליות הגולמיות שכללו ערכי הפרמטרים העקריים של גלים: גובה הגל המשמעותי  $H_s$ , זמן מחזור שיא הספקטרום של אנרגיית הגלים  $T_p$ , הכיוון העיקרי של הגלים (כיוון בו נעים הגלים בעלי עיקר האנרגיה של הספקטרום, וההתפלגות הספקטרלית של הגלים וכן מספר פרמטרים נוספים, שלא רלוונטיים כאן. עבור התקופה החל מאפריל 2008 שנלקחו מאתר חנ"י או שקיבלנו מחנ"י באמצעות קאמרי, הנתונים שהתקבלו כללו טבלאות של הפרמטרים המיצגים הנ"ל, ללא המידע על הפרוס הספקטרלי. כדי ליצור נתונים שעתיים מיצגים, נעשה שימוש בשיטה דלהן: כל שני מקבצים של נתונים חצי שעתיים שנמדדו בסמוך לשעה עגולה מסוימת שוייכו לאותה שעה. על סמך ערכי גובהי ה-  $H_s$  של שני המקבצים חושב ערך מיצג שעתית ע"י חישוב שורש ממוצע הריבועים של שני ערכי הגבהים הסיגניפיקנטיים. זמן המחזור שיא נלקח כזמן המחזור שהיה שייך לגובה הסיגניפיקנטי הגדול מבין השניים, וכיוון הגלים העיקרי נלקח ככיוון זמן המחזור שיא שנבחר כערך שעתית. כמו כן, חורים בסדרת הנתונים הושלמו כפי שיוסבר להלן על בסיס מדידות הגלים מחדרה ומחיפה. לגבי המדידות מחיפה היה צריך להכין נתונים שעתיים כפי שהוסבר לגבי הנתונים מאשדוד. נתוני הגלים מאשדוד ומחיפה נמדדו על קו עומק 24- מ' בקרוב ולעומת זאת הנתונים מחדרה נמדדו על קו עומק 26.5- מ' בקרוב. נתוני הגלים מחדרה כללו מדידות שנאספו מדי שעה בשעה כאשר כל מקבץ מכסה כ-20 דקות החל מתחילת שעה עגולה.

על מנת שניתן יהיה לאמוד את משטר הגלים באשדוד בכל קו עומק רצוני, נדרש ראשית כל להעביר את נתוני הגלים למים עמוקים (כ-500 מ' עומק מים), שם מקובל להניח כי גובה הגלים לא מושפע יותר ע"י עומק המים. לשם כך היה צריך לבצע על כל נתוני הגלים טרנספורמציה הנקראית רפרקצית גלים הפוכה (back wave refraction). מכיוון שבעומקים שבו נמדדים הגלים בישראל ובכיוון המים העמוקים קווי העומק בקרוב טוב מאוד הנם מקבילים וישרים וכמעט מקבילים לקו החוף, ניתן היה לבחור חבילת תוכנה היודעת לבצע את הטרנספורמציה הדרושה על בסיס תיאוריית הגלים הליניארית תוך שימוש במידע על פרופיל החוף בניצב מהחוף עד למים עמוקים. תוכנה זאת פותחה באוניברסיטת דלפט בהולנד ושמה SWAN ONE (<http://www.kennisbank-waterbouw.nl/Software/#Swan>).

לאחר שנתוני הגלים מאשדוד הומרו לערכים של פרמטרים במים עמוקים (זמן המחזור שיא לא השתנה, אלא רק הגובה והכיוון של הגלים), היה צורך לבצע רפרקציה גם עבור נתוני הגלים מהאתרים האחרים כדי שאפשר יהיה למלא את בסיס הנתונים במקטעי הזמן בהם חיו חסרים נתונים בגלל סיבות שונות.

במצב זה נבחנו כל זוגות נתוני הגלים במים עמוקים באמצעות תוכנת ACCESS של מערכת התוכנה MICROSOFT OFFICE 2010. על פי הקורלציה בין נתוני הגלים במועדים הזהים, ניתן היה לקבוע את ערך השינוי בגובה הגל והכיוון של הנתונים מחדרה או חיפה תוך שמירה של ערך זמן המחזור המדוד, למילוי חורי מידע בנתוני אשדוד. בשיטה זאת גם השתמשנו למילוי חורים בנתוני הגלים במים עמוקים באשדוד. יצוין שלדעת המחבר שיטה זאת עדיפה ומהימנה יותר מהשיטה שהציגו Perlin and Kit (1999), אשר חילקה את נתוני הגלים באשדוד וחיפה לקבוצות גובה, זמן מחזור וכיוון וחישה עבור כל קבוצה מקדם תיקון סטטיסטי (וקטורי עבור הכיוון), והניחה שהשינוי בערכי מאפייני הגלים בין אשדוד וחיפה ליניארי. הנחה זאת, שגם המחבר השתמש בה עד סוף שנות התשעים של המאה הקודמת, התבררה כשגויה חלקית. זאת מאחר והיתה מבוססת על ההנחה שהגלים המגיעים לאזור מדף היבשת שלנו מגיעים מתאי סערה הנמצאים רק ממערב לישראל. זמן לא רב לאחר שחיא"ל החל להריץ מודל חיזוי גלים בים התיכון בתחילת שנו ה-2000, התברר כי חלק ניכר מהסערות מגיעות מהים האגאי, וגורמות למצבים בהם גובה הגלים השתנה בין אשדוד עד הרצליה בקרוב באופן ליניארי, אך משם צפונה לאורך החוף כיווני וגובהי הגלים היו כמעט זהים. לכן השימוש בהנחה של שינוי ליניארי של תכונות הגלים בין אשדוד וחיפה לא נכון מרבית הזמן, ועדיפה קורלציה יותר פרטנית בין מדידות בשני מקומות מדידה בזמנים קרובים לזמן בו חסר מידע, על מנת שניתן יהיה לאמוד ערכי הפרמטרים במיקום אחד על בסיס ערכיהם במקום שני.

### 3.2.2 יצירת בנק נתוני גלים אחיד במים עמוקים באזור אשדוד

עם סיום העיבודים, קיבלנו שני בסיסי נתוני גלים שכיסו את תקופת השנים ההידרוגרפיות אפריל 1992 עד סוף מרץ 2016 (24 שנה). בסיס הנתונים שהתקבל במים עמוקים באשדוד שימש לאמדנים של משטר הגלים במים עמוקים ובמים רדודים יותר במיקום קווי העומק של 60-מ', 40-מ'.

### 3.2.3 יצירת בנק נתוני גלים בקווי העומק המיועדים לחוות כלובי דגים (60-מ' ו-40-מ')

כדי לאמוד את אופייני הגלים באזור שבו יוצבו ומוצבים כלובי דגים, הופעל שוב מודל SWAN ONE, הפעם לחישוב שינוי הפרמטרים של הגלים בטרנספורמציה ממים עמוקים לקווי עומק מים של 60-מ' ו-40-מ'. אלה שימשו בהמשך לעיבודים של הגלים מבחינת ערכי קיצון לתקופות חזרה שונות ושל האקלים הרב שנתי במים עמוקים ובעומקי מים של 60-מ' ו-40-מ' מול צפון אשדוד שיוצגו להלן.

### 3.2.4 אומדן של משטר הגלים במצבי קיצון נדירים מול אשדוד במים עמוקים

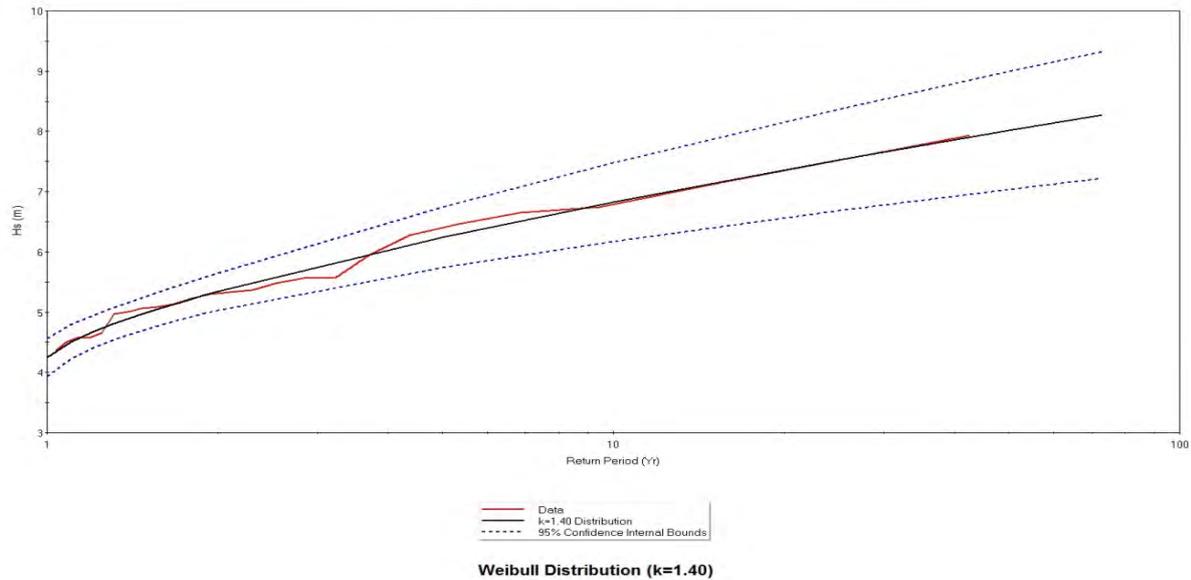
נתוני גובהי הגלים הסינגניפיקנטיים חולקו לפי שנים הידרוגרפיות, ובכל שנה אותרו הערכים הממוצעים הגבוהים ביותר. ערכים אלה שימשו תשומה לבדיקת התאמתם ל-5 פונקציות הסתברות של הערכים הנדירים (ערכי הקיצון) עבור תקופות חזרה שונות. כפי שהוסבר בפרק 2.1.3, פונקציות פרוס אלה היו Frechet-Typpet Type I ופונקציית פרוס Weibull עבור 4 ערכי חזקה. ריכוז התוצאות שהתקבלו מוצגים בטבלה 3-4 להלן, וכלל התוצאות לקבלת אומדן ערכי קיצון לתקופות חזרה ממוצעות שונות של הגל המשמעותי במים עמוקים מול במכמורת מוצגות בנספח 1.2.1.

טבלה מס' 3-4 – ערכי קיצון של גובה גל סיגניפיקנטי על בסיס 5 פרוסים שונים באשדוד במים עמוקים

Case: EXTREME SIGNIFICANT WAVE HEIGHT ANALYSES						
Extremal Significant Wave Height Analysis in Deep Water Offshore Ashdod						
N:	24	NU:	1			
NT:	24	K:	24			
Lambda:	1.00	Mean:	5.54			
Standard deviation:	0.91					
Weibull Distribution						
	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.00	
Correlation:	0.99	0.96	0.99	0.99	0.98	
Sum square of residuals:	0.05	0.13	0.10	0.04	0.07	
Return Period (Yr)	Hs (m)	Hs (m)	Hs (m)	Hs (m)	Hs (m)	
2	5.40	5.20	5.25	5.34	5.43	
5	6.23	5.96	6.12	6.24	6.30	
10	6.78	6.64	6.78	6.83	6.80	
25	7.48	7.65	7.65	7.53	7.35	
50	7.99	8.49	8.31	8.02	7.71	
73	8.27	8.96	8.67	8.27	7.90	
100	8.51	9.37	8.97	8.48	8.05	
WARNING: RETURN PERIODS > 72 Yrs May Not Be Meaningful.						
95% Confidence Interval (Lower Bound - Upper Bound) Units: m						
Weibull Distribution						
Return Period (Yr)	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0	
5	5.8 - 6.7	5.2 - 6.7	5.5 - 6.7	5.7 - 6.7	5.9 - 6.7	
10	6.2 - 7.4	5.5 - 7.8	5.9 - 7.6	6.2 - 7.5	6.3 - 7.3	
25	6.7 - 8.3	5.8 - 9.5	6.4 - 8.9	6.7 - 8.4	6.7 - 8.0	
50	7.1 - 8.9	6.2 - 10.8	6.8 - 9.8	7.0 - 9.0	7.0 - 8.4	
73	7.3 - 9.3	6.3 - 11.6	7.0 - 10.3	7.2 - 9.3	7.2 - 8.6	
100	7.4 - 9.6	6.5 - 12.3	7.2 - 10.7	7.4 - 9.6	7.3 - 8.8	
Percent chance for significant wave height equalling or exceeding return period						
Return Period (Yr)	Period of concern (Yr)					
	2	5	10	25	50	73
2	75	97	100	100	100	100
5	36	67	89	100	100	100
10	19	41	65	93	99	100
25	8	18	34	64	87	95
50	4	10	18	40	64	77
73	3	7	13	29	50	63
100	2	5	10	22	39	52

על בסיס התוצאות בטבלה 3-4 ומאחר שמקדם הקורלציה הגבוהה ביותר וסטיית התקן הקטנה ביותר ( sum square of residuals) התקבלו עבור פרוס Weibull עם חזקה 1.4 ועבור פרוס Fisher-Tippet שלו סטיית התקן מעט יותר גדולה, לכן שנבחר בערכי גובה הגל הסיגניפיקנטי הקיצון במים עמוקים  $H_{s,max}$  עבור תקופות החזרה השונות שהתקבלו משני הפרוסים ונמצע אותם על מנת לאמוד את הערכים של גובה הגל הסיגניפיקנטי המרבי עבור כל אחת מתקופות החזרה. התאמת פרוס Weibull עם חזקה 1.4 זה לנתוני המדידות השנתיות המרביות מוצגת באיור מס' 3.4 ועבור פרוס Fisher-Tippet באיור מס' 3.5.

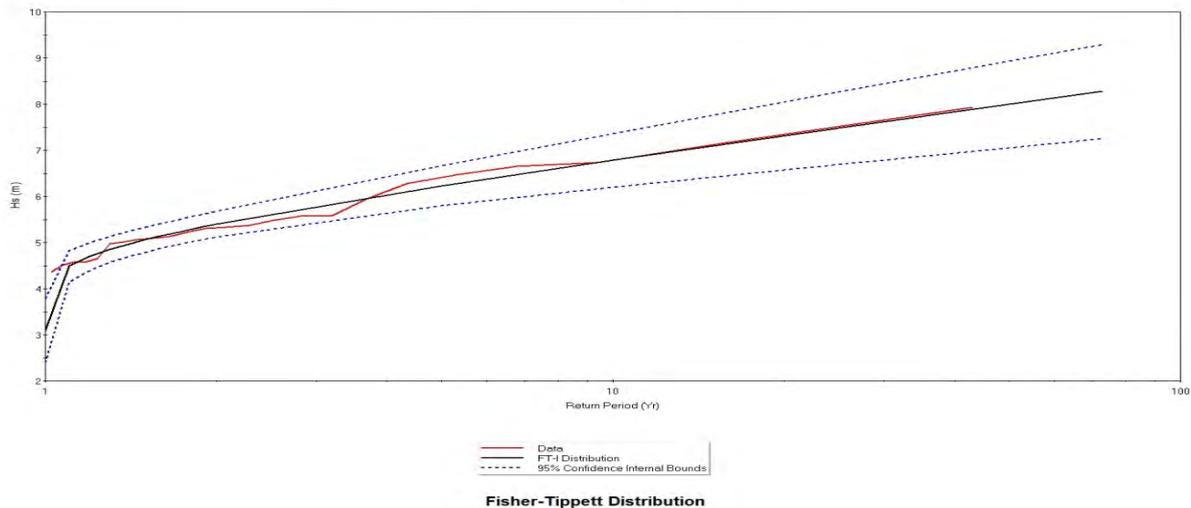
Extremal Significant Wave Height Distributions



Weibull Distribution (k=1.40)

**איור מס' 3.4 - פרוס וויבול, מקדם  $K=1.40$ , רמת אמינות של 95%  
גרף גובה גל סיגניפיקנטי למצבי קיצון במים עמוקים מול אשדוד**

Extremal Significant Wave Height Distributions



Fisher-Tippett Distribution

**איור מס' 3.5 - פרוס Fisher-Tippet, רמת אמינות של 95%  
גרף גובה גל סיגניפיקנטי למצבי קיצון במים עמוקים מול אשדוד**

**3.2.5 אומדן של משטר הגלים הרב שנתי (שנתי, קיצי וחורפי) מול אשדוד במים עמוקים**

בעמודים הבאים מוצגות בטבלאות ובצורה גרפית באיורים מס' 3.6 עד 3.10 את התוצאות שהתקבלו עבור אקלים הגלים הרב שנתי והעונתי במים עמוקים מול צפון אשדוד. התוצאות מציגות טבלאות של שכיחות ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום (טבלה 3-5), של שכיחות ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וכיוון הגלים (טבלה 3-6) ושל זמן מחזור שיא הספקטרום וכיוון הגלים (טבלה מס' 3-7), וכן השכיחויות השוליות של כל אחד מהפרמטרים הנ"ל בחלוקה שנתית, וכן באיורים הנותנים ביטוי גרפי לטבלאות התפלגויות אלה. בנספח 1.2.2 מוצג כל המידע השנתי הנ"ל וכן טבלאות וגרפים לעונת הקיץ ולעונת החורף. כפי שהוסבר מקודם, הערכים המסכמים כדי לפצות עבור נתונים חסרים תוקנו על בסיס מקדם התיקון המתאים המוצג בטבלה מס' 3-2.



טבלה מס' 5-3

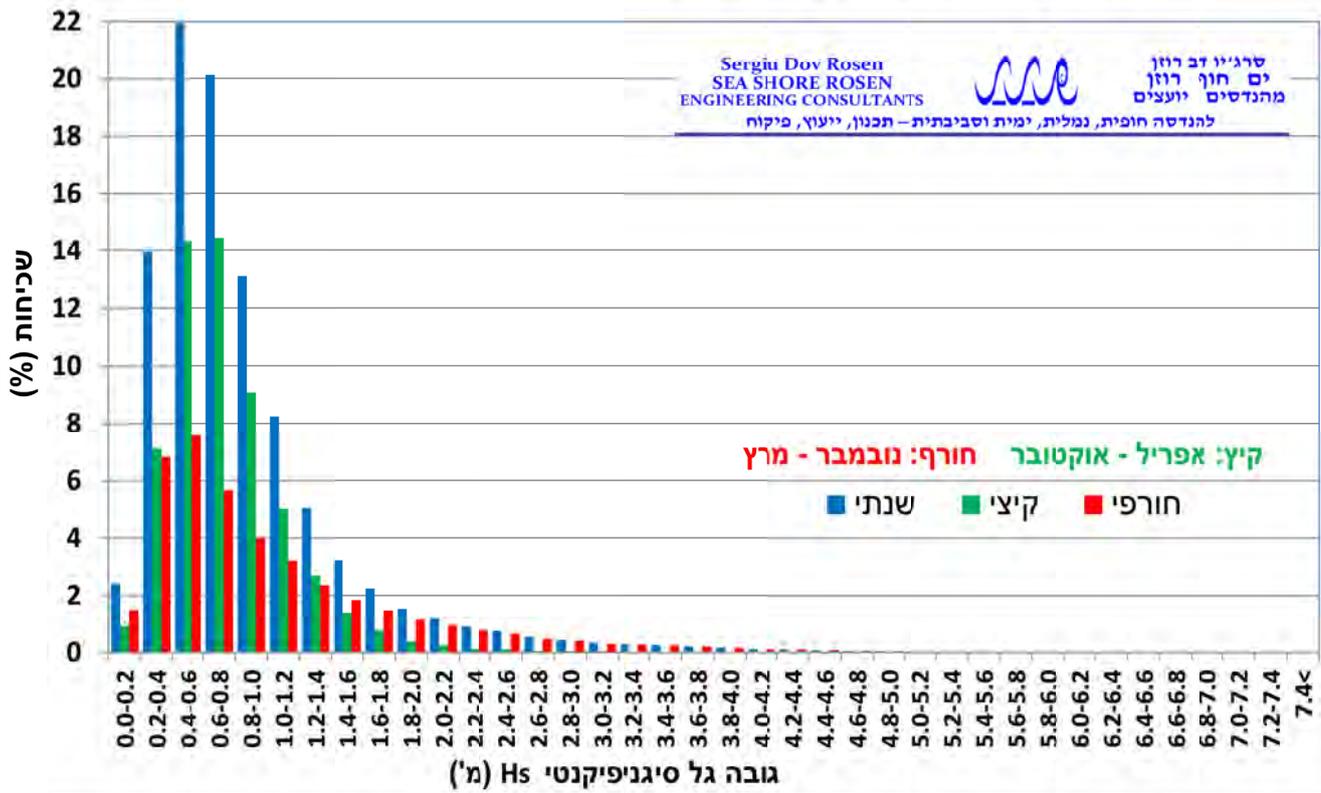
Hs (m) \ T(s)	שכיחות ממוצעת לנשפת של גובה הגל הסינרפינטי וזמן מחזור שיא הפקטוריום במים עמוקים מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה 1992 - מרץ 2016																סכום שכיחות (%)	סכום שכיחות מתוקן (%)													
	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5			11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	
0.0-0.2	0.254	0.197	0.249	0.273	0.272	0.343	0.322	0.175	0.130	0.062	0.075	0.036	0.007	0.014	0	0.026	0.006	0.016	0.006	0.013	0	0.004	0	0	0	0	0.004	0	0	2.481	2.416
0.2-0.4	1.340	0.969	1.595	2.048	1.577	1.914	2.035	0.983	0.709	0.328	0.275	0.237	0.044	0.158	0.005	0.082	0.033	0.043	0.014	0.006	0.015	0.014	0	0.006	0.003	0.004	0	0.001	14.333	13.958	
0.4-0.6	0.685	0.776	1.386	2.273	2.613	3.320	4.083	2.532	2.355	1.019	0.999	0.386	0.046	0.292	0.004	0.128	0.050	0.030	0.022	0.005	0.013	0.009	0	0.007	0.001	0.002	0	0.001	22.537	21.947	
0.6-0.8	0.115	0.344	0.804	1.083	1.361	2.525	3.566	2.686	3.599	2.350	1.103	0.461	0.059	0.265	0.005	0.172	0.072	0.050	0.018	0.005	0.011	0.007	0	0.002	0	0.001	0	0	20.662	20.122	
0.8-1.0	0.037	0.040	0.218	0.463	0.561	1.057	1.676	1.449	2.358	2.443	1.771	0.643	0.053	0.259	0.009	0.191	0.107	0.063	0.029	0.008	0.010	0.005	0	0.001	0	0.001	0	0	13.449	13.097	
1.0-1.2	0.018	0.003	0.036	0.157	0.265	0.466	0.746	0.648	1.163	1.528	1.722	0.997	0.080	0.240	0.005	0.169	0.096	0.067	0.037	0.003	0.012	0.007	0	0.001	0	0	0	0	8.462	8.240	
1.2-1.4	0.002	0.001	0.005	0.034	0.090	0.211	0.388	0.319	0.533	0.767	1.147	0.980	0.083	0.281	0.004	0.127	0.092	0.062	0.041	0.004	0.014	0.003	0	0.001	0	0	0	0	5.186	5.050	
1.4-1.6	0	0	0.001	0.004	0.023	0.075	0.190	0.196	0.284	0.374	0.649	0.827	0.074	0.331	0.006	0.122	0.060	0.049	0.029	0.002	0.012	0.004	0	0.001	0	0	0	0	3.310	3.224	
1.6-1.8	0	0	0	0.001	0.007	0.025	0.104	0.127	0.186	0.250	0.380	0.530	0.050	0.410	0.002	0.132	0.042	0.030	0.016	0.002	0.008	0.002	0	0.001	0	0	0	0	2.300	2.240	
1.8-2.0	0	0	0.001	0	0.002	0.007	0.048	0.077	0.118	0.176	0.220	0.345	0.043	0.319	0.003	0.104	0.039	0.034	0.020	0	0.009	0.004	0	0.003	0	0	0	0	1.572	1.530	
2.0-2.2	0	0	0	0	0	0.005	0.029	0.040	0.092	0.120	0.159	0.241	0.043	0.252	0.006	0.117	0.049	0.037	0.024	0.002	0.012	0.005	0	0.001	0	0	0	0	1.222	1.190	
2.2-2.4	0	0	0	0.001	0	0.001	0.009	0.019	0.054	0.092	0.107	0.162	0.036	0.194	0.009	0.129	0.055	0.028	0.022	0.002	0.007	0.003	0	0.002	0	0	0	0	0.928	0.903	
2.4-2.6	0	0	0	0	0	0.001	0.006	0.009	0.034	0.062	0.089	0.127	0.026	0.168	0.007	0.134	0.061	0.027	0.013	0.002	0.007	0.006	0	0.001	0	0	0	0	0.779	0.758	
2.6-2.8	0	0	0	0	0	0	0.002	0.005	0.014	0.027	0.061	0.093	0.017	0.106	0.005	0.119	0.063	0.027	0.011	0.001	0.003	0.003	0	0.001	0	0	0	0	0.555	0.540	
2.8-3.0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.002	0.005	0.016	0.027	0.063	0.013	0.093	0.007	0.101	0.057	0.038	0.012	0.001	0.004	0.002	0	0.001	0	0	0	0	0.453	0.441	
3.0-3.2	0	0	0	0	0	0	0.002	0.004	0.008	0.026	0.051	0.014	0.042	0.094	0.004	0.079	0.054	0.028	0.007	0.001	0.004	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0.343	0.334	
3.2-3.4	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.005	0.020	0.038	0.009	0.060	0.111	0.063	0.056	0.027	0.009	0.002	0.002	0	0	0.001	0	0	0.001	0	0	0.302	0.294	
3.4-3.6	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.002	0.011	0.029	0.002	0.011	0.029	0.010	0.063	0.053	0.035	0.009	0.004	0.002	0.001	0	0	0	0	0	0	0.272	0.265	
3.6-3.8	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.006	0.017	0.004	0.004	0.004	0.025	0.009	0.056	0.052	0.036	0.012	0.004	0.002	0.001	0	0	0	0	0	0	0.222	0.216	
3.8-4.0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.002	0.012	0.006	0.006	0.006	0.025	0.008	0.044	0.032	0.023	0.012	0.003	0.002	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0.169	0.165	
4.0-4.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.016	0.003	0.028	0.024	0.024	0.013	0.004	0.003	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0.121	0.117	
4.2-4.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.026	0.019	0.015	0.018	0.004	0.005	0.002	0.001	0	0	0	0	0	0.104	0.101	
4.4-4.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.002	0	0.003	0.001	0.014	0.016	0.018	0.014	0.004	0.006	0.006	0.002	0.001	0	0	0	0	0	0.078	0.076	
4.6-4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.003	0.001	0.010	0.009	0.018	0.013	0.002	0.004	0.001	0	0	0	0	0	0	0.058	0.056	
4.8-5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.003	0.001	0.010	0.006	0.010	0.010	0	0.003	0.001	0	0	0	0	0	0	0.037	0.036	
5.0-5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.004	0.007	0.008	0.004	0.002	0.002	0.005	0.001	0	0	0	0	0	0	0.031	0.030	
5.2-5.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.004	0.007	0.008	0.004	0.001	0.004	0.003	0	0	0	0	0	0	0	0.024	0.023	
5.4-5.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.004	0	0.005	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.015	0.015	
5.6-5.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.002	
5.8-6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0	0.001	0.001	0	0.003	0	0	0	0	0	0.008	0.007	
6.0-6.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0	0.001	0	0	0	0	0	0.007	0.007	
6.2-6.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0	0.001	0	0.001	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0.003	0.002	
6.4-6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0.003	0.003	
6.6-6.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0.001	
6.8-7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0.001	
7.0-7.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0.002	0.001	
7.2-7.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	
7.4<	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	
סכום שכיחות (%)	2.451	2.228	4.293	6.336	6.789	9.947	13.204	9.269	11.639	9.629	8.364	6.276	0.715	3.634	0.121	2.247	1.217	0.842	0.440	0.083	0.184	0.095	0.001	0.035	0.007	0.007	0	0.001	100.000	97.384	
סכום שכיחות מתוקן (%)	2.387	2.170	4.180	6.170	6.591	9.687	12.858	9.026	11.335	9.377	8.145	6.112	0.696	3.539	0.117	2.189	1.185	0.820	0.428	0.080	0.179	0.093	0.001								





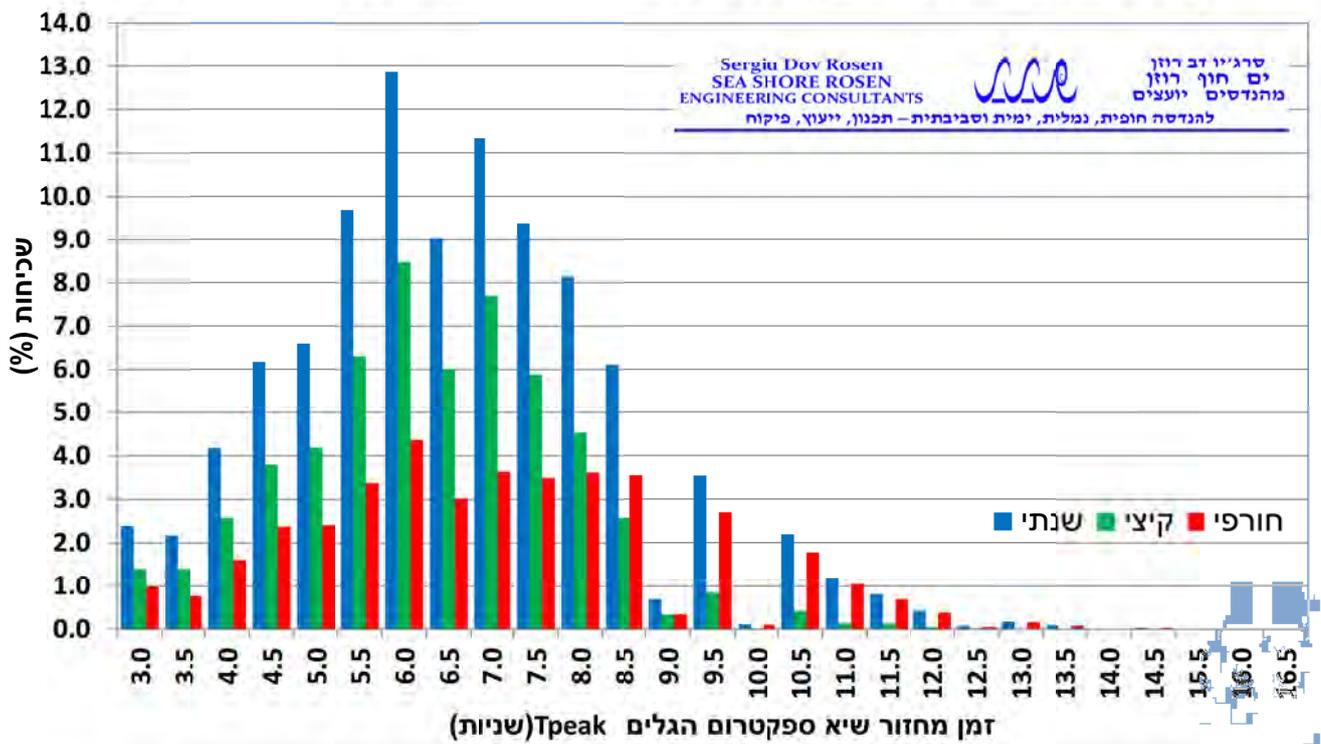


### שכיחות ממוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של גובה הגל הסיגניפיקנטי במים עמוקים מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992 - מרץ 2016

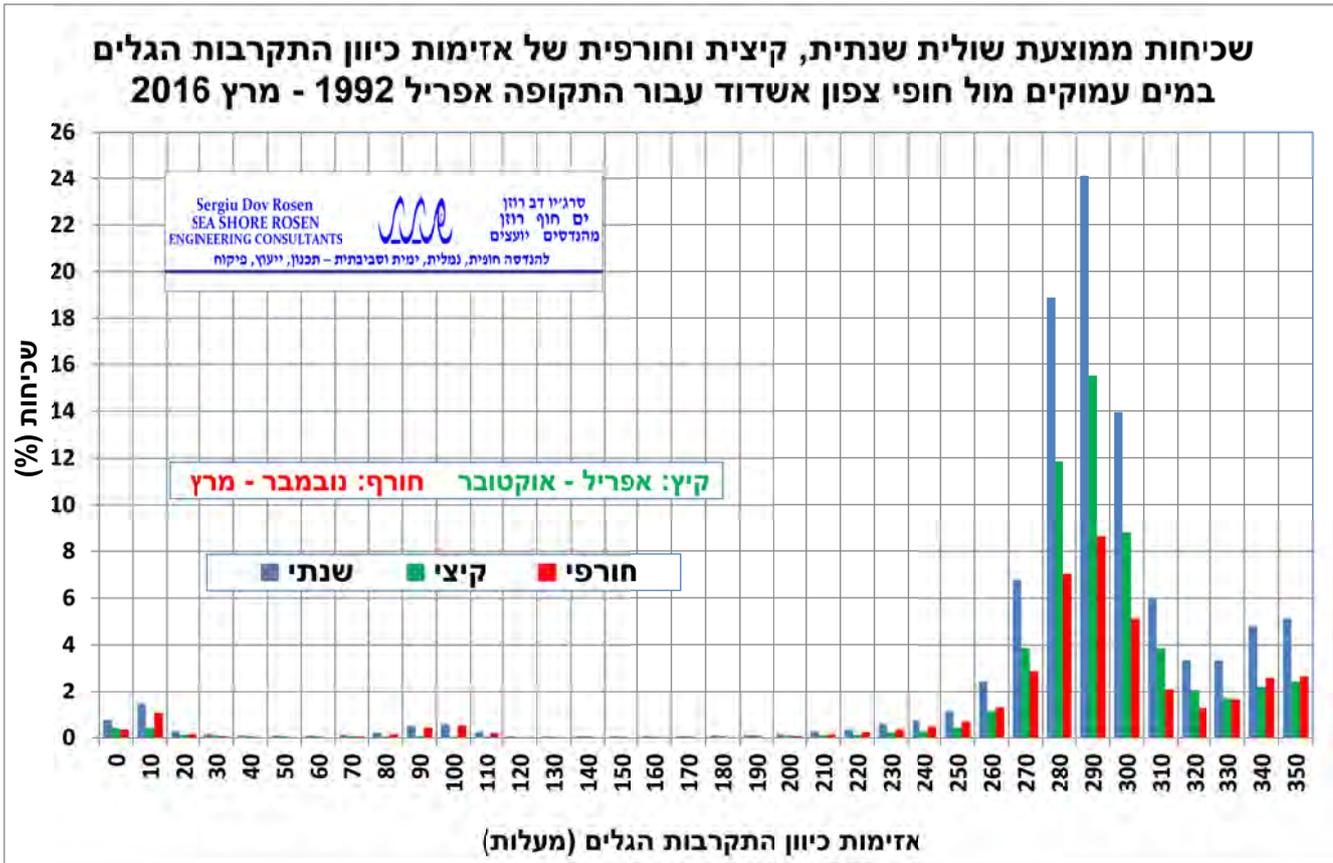


איור מס' 3.6

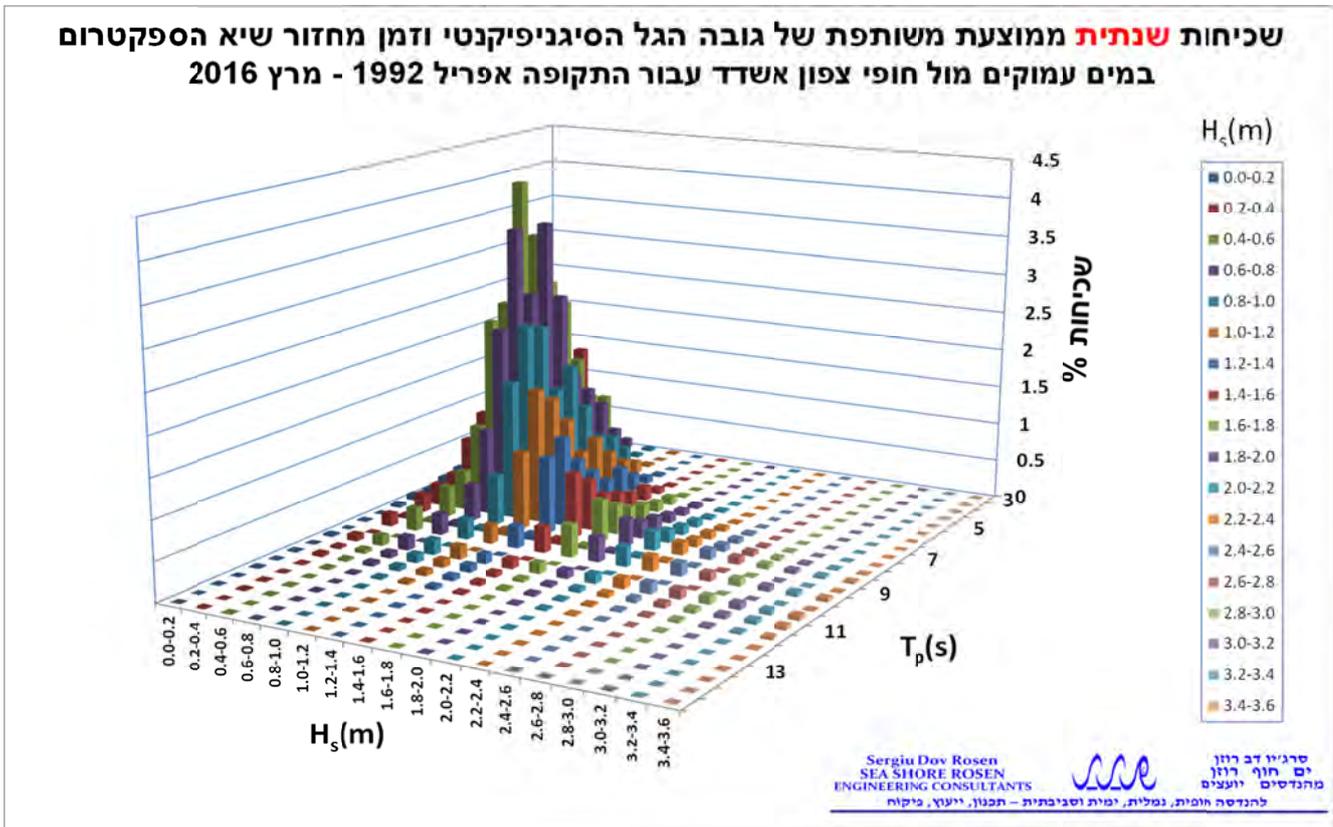
### שכיחות ממוצעת שולית שנתית, קיצית וחורפית של זמן מחזור שיא הספקטרום במים עמוקים מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992 - מרץ 2016

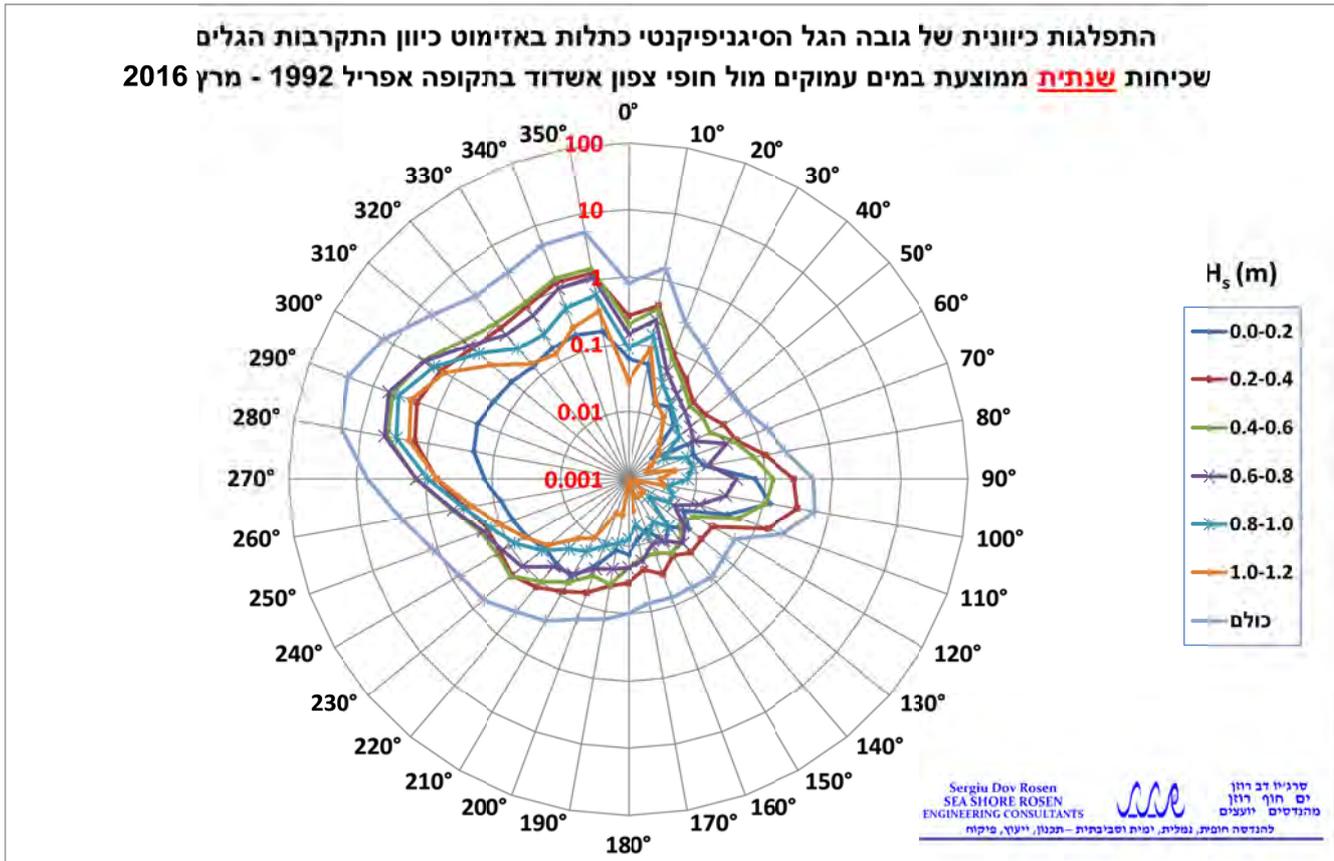


איור מס' 3.7



איור מס' 3.8





איור מס' 3.10

באיור 3.7 ניתן להבחין כי הנתונים מצביעים על כך שבכיכול היו מעט מדידות של זמן מחזור של 9.0 ושל 10.0 שניות ולעומת זאת יותר מדידות בזמני מחזור של 9.5 ו-10.5 שניות. הדבר נובע כנראה מהחלוקה הרצונית למרווחים של כל חצי שניה, לעומת שיטת הניתוח הספקטרלי שחילק את ערכי זמני המחזור במרווחים אחרים לפי דרגות החופש של הניתוח הספקטרלי (Fast Fourier Transform).

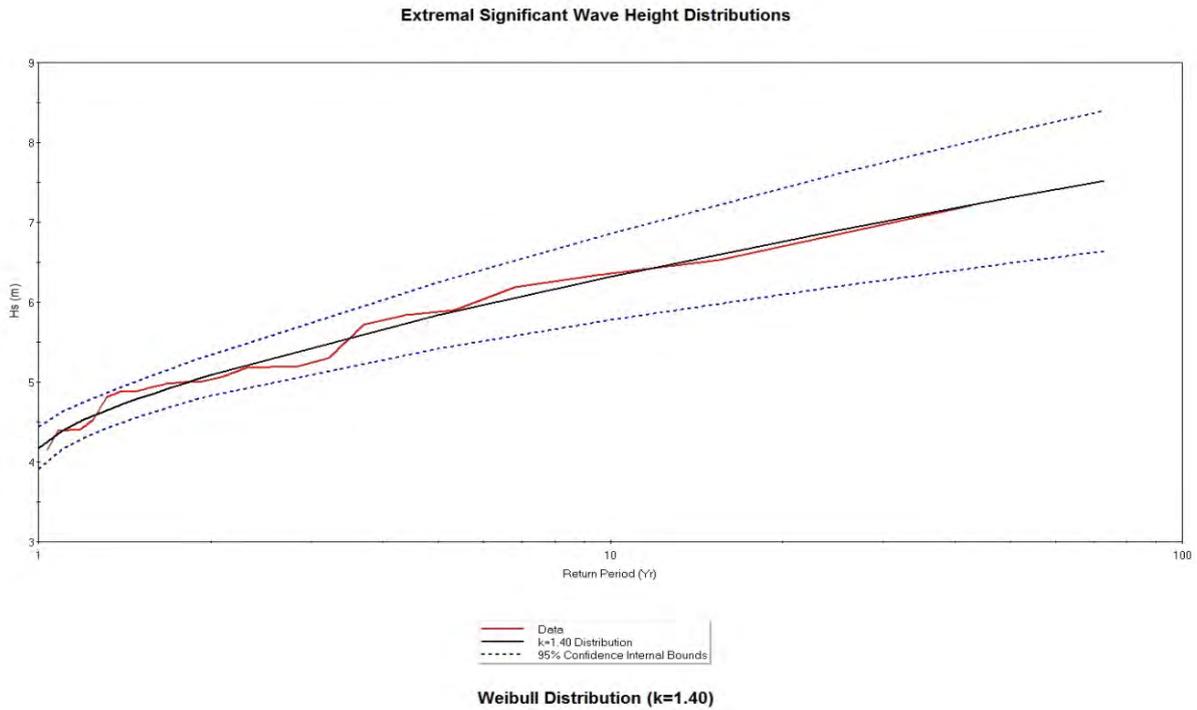
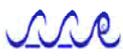
3.2.6 אומדן של משטר הגלים במצבי קיצון נדירים מול אשדוד על קו עומק 60- מ'

נתוני גובהי הגלים הסיגניפיקנטיים שחושבו לקו עומק 60- מ' חולקו לפי שנים הידרוגרפיות, ובכל שנה אותרו הערכים השנתיים הגבוהים ביותר. ערכים אלה שימשו תשומה לבדיקת התאמתם ל-5 פונקציות הסתברות של הערכים הנדירים (ערכי הקיצון) עבור תקופות חזרה שונות. ריכוז התוצאות שהתקבלו מוצגים בטבלה 3-8 להלן, וכלל התוצאות לקבלת אומדן ערכי קיצון לתקופות חזרה ממוצעות שונות של הגל המשמעותי על קו עומק 60- מ' מול צפון אשדוד מוצגות בנספח 1.2.3.

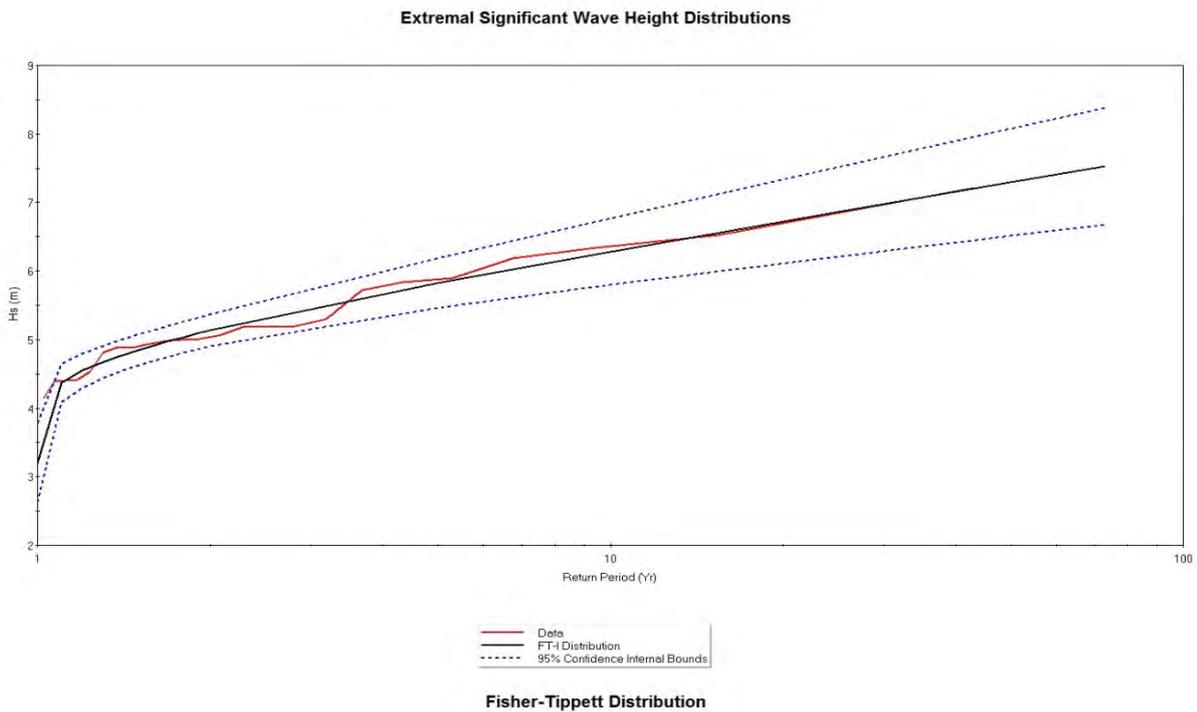
טבלה מס' 3-8 ערכי קיצון של גובה גל סיגניפיקנטי על בסיס 5 פרוסים שונים בקו עומק 60- מ' מול אשדוד

Extremal Significant Wave Height Analysis at 60m Depth Offshore Ashdod						
N:	24	NU:	1			
NT:	24	K:	24			
Lambda:	1.00	Mean:	5.25			
Standard deviation:	0.76					
Weibull Distribution						
	FT-	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.00	
Correlation:	0.99	0.95	0.98	0.99	0.98	
Sum square of residuals:	0.06	0.17	0.12	0.06	0.07	
Return Period (Yr)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	
2	5.13	4.97	5.01	5.09	5.16	
5	5.83	5.59	5.73	5.84	5.89	
10	6.29	6.16	6.28	6.32	6.30	
25	6.87	7.00	7.00	6.90	6.76	
50	7.30	7.69	7.54	7.31	7.07	
73	7.53	8.08	7.84	7.52	7.22	
100	7.73	8.42	8.09	7.70	7.35	
WARNING: RETURN PERIODS > 72 Yrs May Not Be Meaningful.						
95% Confidence Interval (Lower Bound - Upper Bound) Units: m						
Weibull Distribution						
Return Period (Yr)	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0	
5	5.5 - 6.2	5.0 - 6.2	5.2 - 6.2	5.4 - 6.3	5.5 - 6.2	
10	5.8 - 6.8	5.2 - 7.1	5.6 - 7.0	5.8 - 6.9	5.9 - 6.7	
25	6.2 - 7.5	5.5 - 8.5	6.0 - 8.0	6.2 - 7.6	6.2 - 7.3	
50	6.5 - 8.1	5.7 - 9.6	6.3 - 8.8	6.5 - 8.1	6.5 - 7.7	
73	6.7 - 8.4	5.9 - 10.3	6.5 - 9.2	6.6 - 8.4	6.6 - 7.8	
100	6.8 - 8.6	6.0 - 10.8	6.6 - 9.6	6.8 - 8.6	6.7 - 8.0	
Percent chance for significant wave height equalling or exceeding return period						
Return Period (Yr)	Period of concern (Yr)					
	2	5	10	25	50	73
2	75	97	100	100	100	100
5	36	67	89	100	100	100
10	19	41	65	93	99	100
25	8	18	34	64	87	95
50	4	10	18	40	64	77
73	3	7	13	29	50	63
100	2	5	10	22	39	52

על בסיס התוצאות בטבלה 3-8 ומאחר שמקדם הקורלציה הגבוהה ביותר וסטיית התקן הקטנה ביותר (sum square of residuals) התקבלו עבור פרוס Weibull עם חזקה 1.4 ועבור פרוס Fisher-Tippet שלהם מקדם קורלציה וסטיית התקן זהה, לכן נבחר בערכי גובה גל הקיצון על קו עומק 60- מ'  $H_{s,max}$  עבור תקופות החזרה השונות שהתקבלו משני הפרוסים ונמצע אותם על מנת לאמוד את הערכים של גובה הגל הסיגניפיקנטי המרבי עבור כל אחת מתקופות החזרה. התאמת פרוס Weibull עם חזקה 1.4 זה לנתוני המדידות השנתיות המרביות מוצגת באיור מס' 3.11 ועבור פרוס Fisher-Tippet באיור מס' 3.12.



איור מס' 3.11 - פרוס וויבול, מקדם חזקה  $k=1.40$ , רמת אמינות של 95% גרף גובה גל סיגניפיקנטי למצבי קיצון על קו עומק 60 מ' מול אשדוד



איור מס' 3.12 - פרוס Fisher-Tippett, רמת אמינות של 95% גרף גובה גל סיגניפיקנטי למצבי קיצון על קו עומק 60 מ' מול אשדוד

### 3.2.7 אומדן של משטר הגלים הרב שנתי (שנתי, קיצי וחורפי) מול אשדוד על קו עומק 60- מ'

בעמודים הבאים מוצגות בטבלאות ובצורה גרפית באיורים מס' 3.13 עד 3.17 התוצאות שהתקבלו עבור אקלים הגלים הרב שנתי על קו עומק 60- מ' מול חוף צפון אשדוד. התוצאות מציגות טבלאות של שכיחות ממוצעת משותפת של גובה הגל הסינגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום (טבלה 3-9), של שכיחות ממוצעת משותפת של גובה הגל הסינגניפיקנטי וכיוון הגלים (טבלה 3-10) ושל זמן מחזור שיא הספקטרום וכיוון הגלים (טבלה מס' 3-11), וכן השכיחויות השוליות של כל אחד מהפרמטרים הנ"ל בחלוקה שנתי, וכן גרפים הנותנים ביטוי גרפי לטבלאות התפלגויות אלה. בנספח 1.2.4 מוצג כל המידע השנתי הנ"ל וכן טבלאות וגרפים לעונת הקיץ ולעונת החורף.

כפי שהוסבר מקודם, הערכים המסכמים כדי לפצות עבור נתונים חסרים תוקנו על בסיס מקדם התיקון המתאים המוצג בטבלה מס' 3-2.

באיור 3.14 ניתן להבחין כי בדומה למצב עבור גלים במים עמוקים, גם למיקום זה הנתונים מצביעים על כך שכביכול היו מעט מדידות של זמן מחזור של 9.0 ושל 10.0 שניות ולעומת זאת יותר מדידות בזמני מחזור של 9.5 ו-10.5 שניות. הדבר נובע כנראה מהחלוקה הרצונית למרווחים של כל חצי שניה, לעומת שיטת הניתוח הספקטרלי שחילק את ערכי זמני המחזור במרווחים אחרים לפי דרגות החופש של הניתוח הספקטרלי (Fast Fourier Transform).

באיור 3.17 ניתן להבחין כי כאילו אין כלל מדידות עם כיווני גלים בתחום האזימוטים בין 5 ל-15 מעלות המיוצג על ידי התא הכיווני שמרכזו באזימות 10 מעלות. זאת כנראה רק אשליה בגלל סינון קל עקב חישוב רפרקציית הגלים ואולי בגלל שהכיוונים שנמדדו עוגלו לערכים של מעלות שלמות, ומעשית חלק מהגלים עם כיווני אזימות בשני המרווחים השכנים לו היינו מדייקים עד חלק של מעלה, היו נרשמים במרווח כיווני זה. מעשית אין לשני העיוותים כביכול שצוינו לעיל כל השפעה או חשיבות.





טבלה מס' 9-3

שרידות שניתר מפגיעת מטרפת של גובה הנהל ההיגייניקטי וזמן מחזור שיא המפקיעים ליל 40-60 מול חופי אפיון שארד עבור התקופה אפריל 1992 - מרץ 2016

Hs (m) \ Tp (s)	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	סכום שכיחויות (%)	סכום שכיחויות מתוקן (%)	
0.0-0.2	0.245	0.193	0.240	0.263	0.262	0.339	0.323	0.175	0.132	0.061	0.075	0.034	0.007	0.014	0	0.027	0.008	0.017	0.006	0.014	0.002	0.004	0	0.002	0.004	0.001	0	0	0.001	2.445	2.381
0.2-0.4	1.301	0.860	1.564	2.000	1.538	1.894	1.990	0.960	0.688	0.312	0.273	0.235	0.043	0.166	0.004	0.085	0.033	0.046	0.015	0.007	0.016	0.015	0	0.005	0.003	0.004	0	0.001	14.055	13.687	
0.4-0.6	0.675	0.754	1.346	2.243	2.592	3.316	4.120	2.558	2.379	1.017	0.492	0.383	0.049	0.293	0.005	0.134	0.054	0.031	0.021	0.005	0.013	0.010	0	0.006	0	0.002	0	0	22.496	21.907	
0.6-0.8	0.117	0.333	0.762	1.035	1.339	2.525	3.611	2.774	3.655	2.386	1.121	0.463	0.060	0.264	0.005	0.184	0.085	0.056	0.021	0.006	0.010	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0	20.765	20.222	
0.8-1.0	0.037	0.039	0.205	0.431	0.538	1.039	1.687	1.472	2.391	2.486	1.793	0.694	0.055	0.263	0.010	0.191	0.108	0.071	0.033	0.007	0.011	0.009	0	0.001	0	0	0	0	13.569	13.214	
1.0-1.2	0.018	0.003	0.034	0.146	0.250	0.456	0.747	0.656	1.179	1.553	1.746	1.018	0.082	0.255	0.005	0.162	0.102	0.070	0.047	0.002	0.012	0.004	0	0.001	0	0	0	0	8.545	8.322	
1.2-1.4	0.002	0	0.004	0.033	0.082	0.209	0.387	0.320	0.541	0.779	1.166	1.002	0.091	0.289	0.003	0.131	0.088	0.064	0.038	0.004	0.019	0.003	0	0.002	0	0	0	0	5.255	5.118	
1.4-1.6	0	0	0.001	0.004	0.022	0.075	0.188	0.198	0.282	0.377	0.655	0.811	0.072	0.344	0.006	0.139	0.057	0.043	0.021	0.003	0.009	0.004	0	0	0	0	0	0	3.309	3.222	
1.6-1.8	0	0	0	0.001	0.007	0.024	0.105	0.128	0.186	0.249	0.377	0.528	0.048	0.408	0.002	0.121	0.042	0.032	0.019	0.001	0.011	0.003	0	0.001	0	0	0	0	2.289	2.230	
1.8-2.0	0	0	0.001	0.001	0.002	0.007	0.048	0.078	0.119	0.179	0.223	0.340	0.042	0.313	0.003	0.105	0.044	0.035	0.023	0.001	0.012	0.006	0	0.004	0	0	0	0	1.586	1.544	
2.0-2.2	0	0	0	0	0	0.005	0.029	0.040	0.093	0.119	0.165	0.235	0.042	0.250	0.008	0.124	0.051	0.028	0.025	0.002	0.010	0.003	0	0.002	0	0	0	0	1.279	1.197	
2.2-2.4	0	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0.009	0.019	0.055	0.092	0.162	0.032	0.182	0.009	0.148	0.067	0.030	0.016	0.003	0.007	0.007	0	0.001	0	0	0	0	0.946	0.921	
2.4-2.6	0	0	0	0	0	0.001	0.006	0.009	0.035	0.062	0.091	0.127	0.029	0.173	0.007	0.131	0.071	0.031	0.011	0.001	0.003	0.004	0	0.001	0	0	0	0	0.789	0.768	
2.6-2.8	0	0	0	0	0	0	0.002	0.005	0.014	0.027	0.061	0.097	0.014	0.114	0.005	0.132	0.064	0.032	0.013	0.001	0.004	0.002	0	0.001	0	0	0	0	0.586	0.570	
2.8-3.0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.002	0.005	0.016	0.042	0.064	0.012	0.080	0.006	0.090	0.051	0.037	0.007	0.002	0.004	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0.416	0.405	
3.0-3.2	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.004	0.008	0.025	0.045	0.015	0.063	0.007	0.068	0.068	0.029	0.011	0.001	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0.345	0.336	
3.2-3.4	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.005	0.020	0.039	0.008	0.040	0.010	0.071	0.050	0.031	0.009	0.004	0.002	0.001	0	0	0	0	0	0	0.309	0.301	
3.4-3.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.002	0.009	0.029	0.009	0.060	0.013	0.063	0.064	0.040	0.015	0.004	0.002	0.001	0	0	0	0	0	0	0.291	0.283	
3.6-3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.005	0.013	0.005	0.024	0.009	0.046	0.037	0.026	0.010	0.001	0.003	0.002	0	0.002	0	0	0	0	0.183	0.178	
3.8-4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.002	0.012	0.005	0.023	0.005	0.040	0.026	0.024	0.016	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0.165	0.161	
4.0-4.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.002	0.012	0.002	0.014	0.002	0.027	0.025	0.016	0.021	0.002	0.006	0.002	0.001	0.001	0	0	0	0	0.120	0.117	
4.2-4.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.002	0.012	0.002	0.014	0.002	0.015	0.015	0.019	0.016	0.004	0.007	0.001	0	0	0	0	0	0	0.088	0.086	
4.4-4.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.009	0.002	0.008	0.002	0.011	0.012	0.019	0.012	0.001	0.002	0.002	0	0	0	0	0	0	0.061	0.059	
4.6-4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.002	0.001	0.003	0.001	0.007	0.006	0.012	0.006	0.003	0.005	0.001	0	0	0	0	0	0	0.041	0.040	
4.8-5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.006	0.006	0.008	0.009	0.005	0	0.005	0.003	0	0	0	0	0	0	0.034	0.033	
5.0-5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.001	0.005	0.002	0	0	0	0	0	0	0.021	0.020	
5.2-5.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0	0.001	0.001	0	0.002	0	0	0	0	0.009	0.009	
5.4-5.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.002	0.001	0	0.001	0.001	0	0.002	0	0	0	0	0	0.005	0.005	
5.6-5.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.002	0	0.001	0.001	0.002	0	0.001	0	0	0	0	0	0.007	0.006	
5.8-6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0.005	0.005	
6.0-6.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0.001	0.002	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0.002	0.001	
6.2-6.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0.001	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0.002	0.002	
6.4-6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0.002	0.002
6.6-6.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000
6.8-7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000
7.0-7.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000
7.2-7.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.000
7.4<	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000
סכום שכיחויות (%)	2.394	2.181	4.157	6.155	6.631	9.890	13.251	9.343	11.756	9.732	8.447	6.335	0.722	3.646	0.122	2.260	1.239	0.853	0.443	0.080	0.187	0.094	0.001	0.034	0.007	0.007	0	0.001	100.00	97.384	
סכום שכיחויות מתוקן (%)	2.331	2.124	4.048	5.994	6.457	9.631	12.904	9.098	11.449	9.477	8.226	6.169	0.703	3.551	0.119	2.201	1.206	0.831	0.431	0.078	0.182	0.092	0.001								

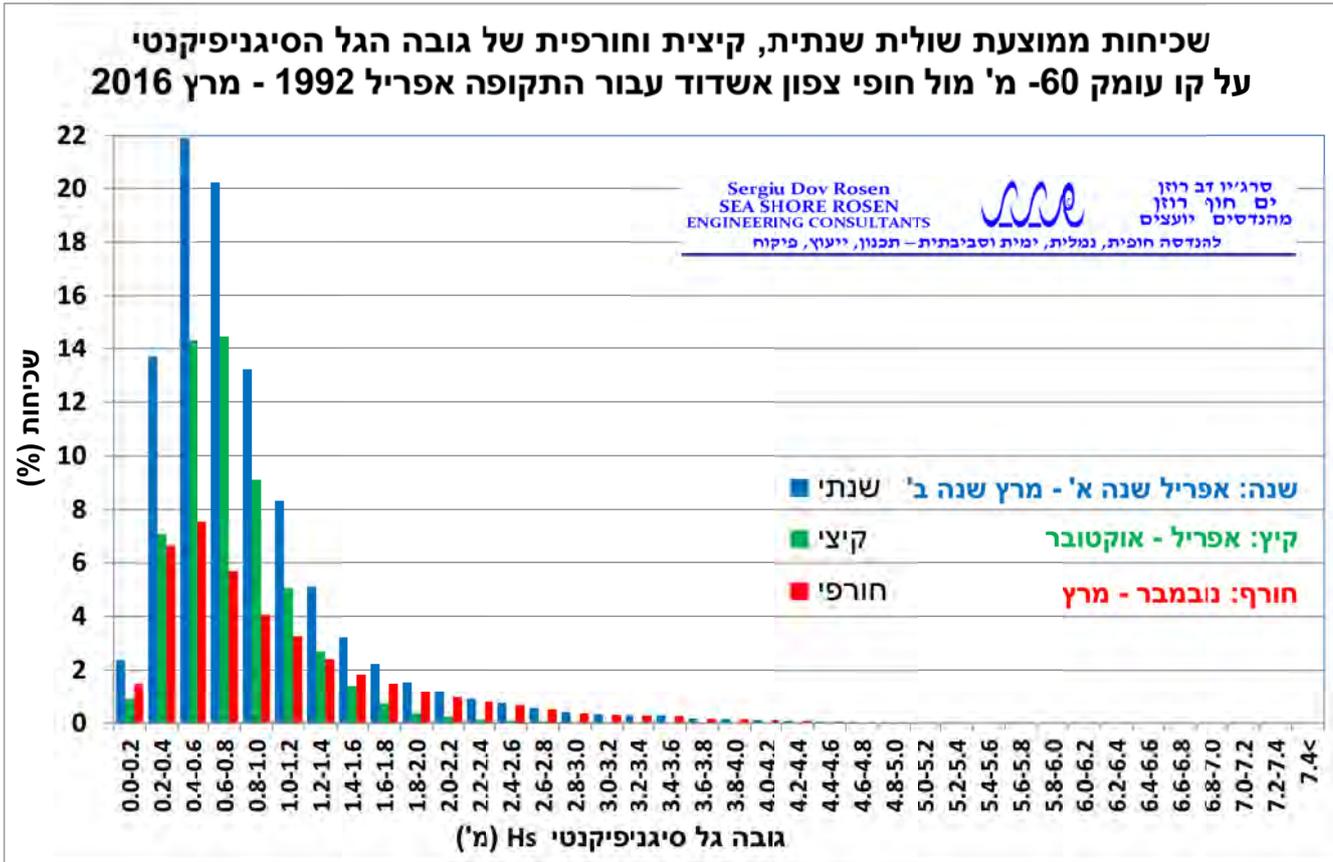




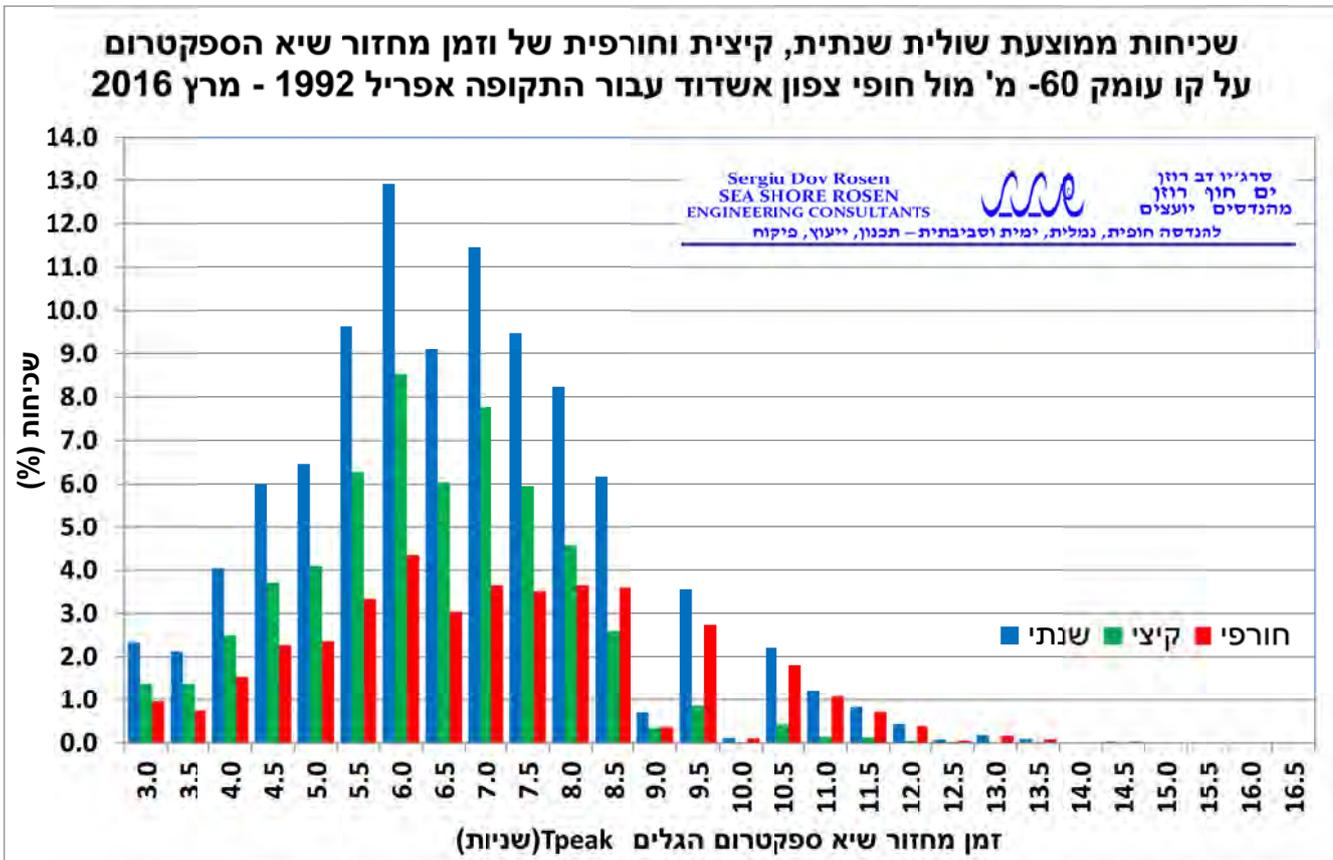
טבלה מס' 3-11

התפלגות ניוטית של קוץ מחזורי ושיעור הגלים כבלות באזורים חיוני התקנת הגלים  
 שרירות שרירות ממוצעת על ידי טיפול 60-90 מילי דופי גופי אפיון באזורי התקנת אפיון 1992 - מרץ 2016

קוץ (m)   Az (deg)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	סכום שרירות	סכום שרירות (מתוקן) (%)						
3.0-3.5	0.016	0	0.010	0.015	0.012	0.012	0.012	0.029	0.075	0.237	0.208	0.193	0.097	0.008	0.011	0.015	0.009	0.012	0.010	0.020	0.040	0.071	0.086	0.073	0.053	0.065	0.129	0.222	0.218	0.195	0.152	0.155	0.172	0.186	0.212	2.394	2.331							
3.5-4.0	0.012	0	0.010	0.015	0.014	0.006	0.008	0.024	0.012	0.025	0.032	0.013	0.006	0.008	0.007	0.009	0.008	0.009	0.012	0.023	0.031	0.050	0.104	0.070	0.056	0.066	0.113	0.159	0.197	0.187	0.151	0.151	0.186	0.241	2.381	2.124								
4.0-4.5	0.030	0	0.026	0.019	0.015	0.020	0.025	0.056	0.026	0.070	0.074	0.022	0.010	0.019	0.014	0.017	0.019	0.033	0.044	0.037	0.059	0.060	0.116	0.090	0.112	0.114	0.151	0.256	0.313	0.368	0.344	0.322	0.304	0.356	0.541	4.577	4.048							
4.5-5.0	0.034	0	0.027	0.022	0.017	0.011	0.012	0.014	0.024	0.024	0.024	0.039	0.009	0.012	0.019	0.014	0.014	0.016	0.022	0.029	0.023	0.038	0.061	0.095	0.118	0.106	0.164	0.190	0.307	0.528	0.655	0.538	0.514	0.548	0.818	0.922	6.555	5.994						
5.0-5.5	0.026	0	0.022	0.027	0.011	0.011	0.008	0.011	0.014	0.053	0.064	0.028	0.010	0.004	0.007	0.006	0.005	0.004	0.006	0.010	0.022	0.030	0.056	0.059	0.087	0.117	0.187	0.287	0.488	0.807	0.791	0.529	0.505	0.536	0.784	0.975	6.631	6.457						
5.5-6.0	0.095	0	0.020	0.016	0.009	0.010	0.009	0.007	0.021	0.052	0.078	0.039	0.004	0.006	0.005	0.002	0.007	0.004	0.006	0.010	0.013	0.029	0.054	0.059	0.090	0.172	0.287	0.488	0.807	1.122	1.617	1.509	0.937	0.576	0.382	0.939	1.039	9.631	9.631					
6.0-6.5	0.036	0	0.018	0.018	0.009	0.007	0.006	0.005	0.021	0.076	0.085	0.028	0.006	0.003	0.005	0.002	0.007	0.004	0.005	0.010	0.014	0.025	0.036	0.087	0.177	0.335	0.664	2.370	3.325	2.252	0.916	0.464	0.308	0.791	0.732	13.251	12.904							
6.5-7.0	0.020	0	0.012	0.012	0.009	0.006	0.002	0.006	0.014	0.048	0.041	0.016	0.004	0.001	0.004	0.004	0.002	0.004	0.003	0.004	0.005	0.012	0.013	0.022	0.052	0.089	0.265	0.757	2.054	2.778	1.510	0.517	0.207	0.246	0.322	0.277	9.343	9.098						
7.0-7.5	0.014	0	0.008	0.012	0.006	0.005	0.005	0.003	0.012	0.029	0.036	0.018	0.001	0.003	0.004	0.006	0	0.004	0.003	0.002	0.003	0.010	0.014	0.021	0.048	0.103	0.289	0.989	2.866	3.833	1.896	0.594	0.243	0.214	0.284	0.214	11.756	11.449						
7.5-8.0	0.009	0	0.007	0.009	0.002	0.003	0.003	0.002	0.004	0.021	0.026	0.016	0.003	0.001	0.002	0.003	0.002	0	0.001	0.003	0.002	0.003	0.005	0.013	0.020	0.055	0.206	0.756	2.426	3.613	1.605	0.418	0.137	0.103	0.148	0.105	9.732	9.477						
8.0-8.5	0.009	0	0.002	0.004	0.002	0.002	0.003	0.001	0.002	0.011	0.014	0.007	0.001	0.003	0.002	0.004	0.003	0.001	0.002	0.002	0.003	0.005	0.024	0.008	0.019	0.062	0.157	0.627	2.523	2.861	1.431	0.803	0.081	0.057	0.078	0.080	8.447	8.226						
8.5-9.0	0.004	0	0.002	0.002	0.001	0.001	0	0.001	0.003	0.008	0.016	0.004	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0.001	0.002	0.003	0.005	0.016	0.041	0.142	0.533	1.915	2.100	1.050	0.298	0.059	0.041	0.028	0.032	6.335	6.169								
9.0-9.5	0.005	0	0	0	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0.001	0.001	0	0.001	0.002	0.002	0.004	0.021	0.081	0.411	1.105	1.202	0.522	0.147	0.053	0.020	0.019	0.011	3.646	3.551						
9.5-10.0	0.001	0	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.013	0.018	0.003	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	3.551	3.551				
10.0-10.5	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.119	0.119					
10.5-11.0	0.003	0	0.001	0	0	0	0.002	0	0.001	0.004	0.008	0.003	0	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	2.260	2.201				
11.0-11.5	0	0	0.001	0	0	0.001	0	0	0	0.001	0.002	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.003	0.020	0.137	0.391	0.463	0.161	0.036	0.009	0.005	0.003	0.006	0.006	0.006	0.006	1.239	1.206					
11.5-12.0	0.001	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0.002	0.005	0.001	0	0.002	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0.001	0.001	0.004	0.027	0.087	0.304	0.299	0.092	0.016	0.006	0.002	0.001	0.004	0.004	0.004	0.004	0.831	0.831					
12.0-12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0.172	0.182	0.035	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.443	0.443					
12.5-13.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.003	0.002	0	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.078	0.078			
13.0-13.5	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0.001	0.002	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.187	0.182			
13.5-14.0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.002	0	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
14.0-14.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001			
14.5-15.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001			
15.0-15.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001			
15.5-16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001			
16.0-16.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001			
16.5+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001			
סכום שרירות (%)	0.214	0	0.167	0.174	0.109	0.092	0.099	0.149	0.228	0.355	0.621	0.259	0.063	0.067	0.081	0.074	0.076	0.075	0.101	0.132	0.167	0.274	0.319	0.631	0.783	1.198	2.534	7.069	19.800	35.380	14.625	6.555	3.516	3.510	5.965	5.387	100.000	97.384	97.384					
סכום שרירות מתוקן (%)	0.206	0.000	0.163	0.170	0.106	0.089	0.095	0.145	0.222	0.321	0.604	0.252	0.061	0.066	0.079	0.072	0.074	0.073	0.098	0.129	0.163																							

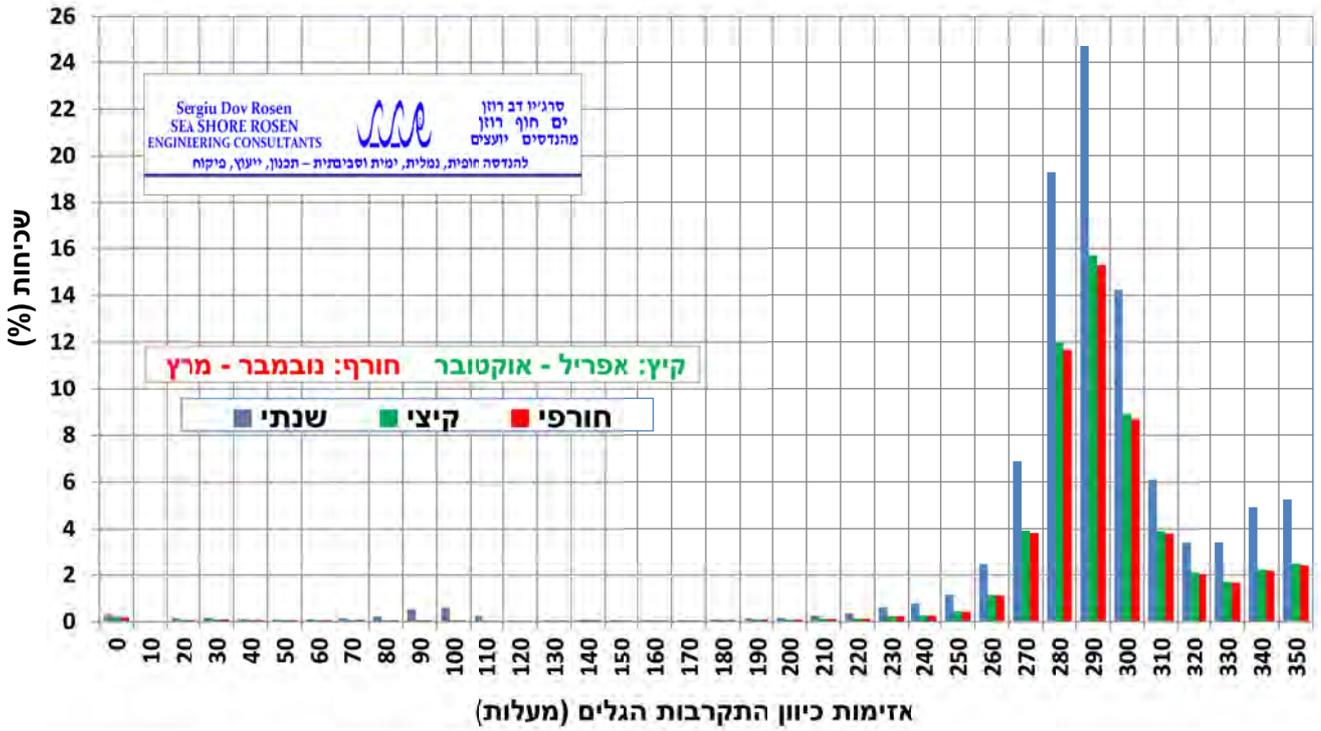


איור מס' 3.13



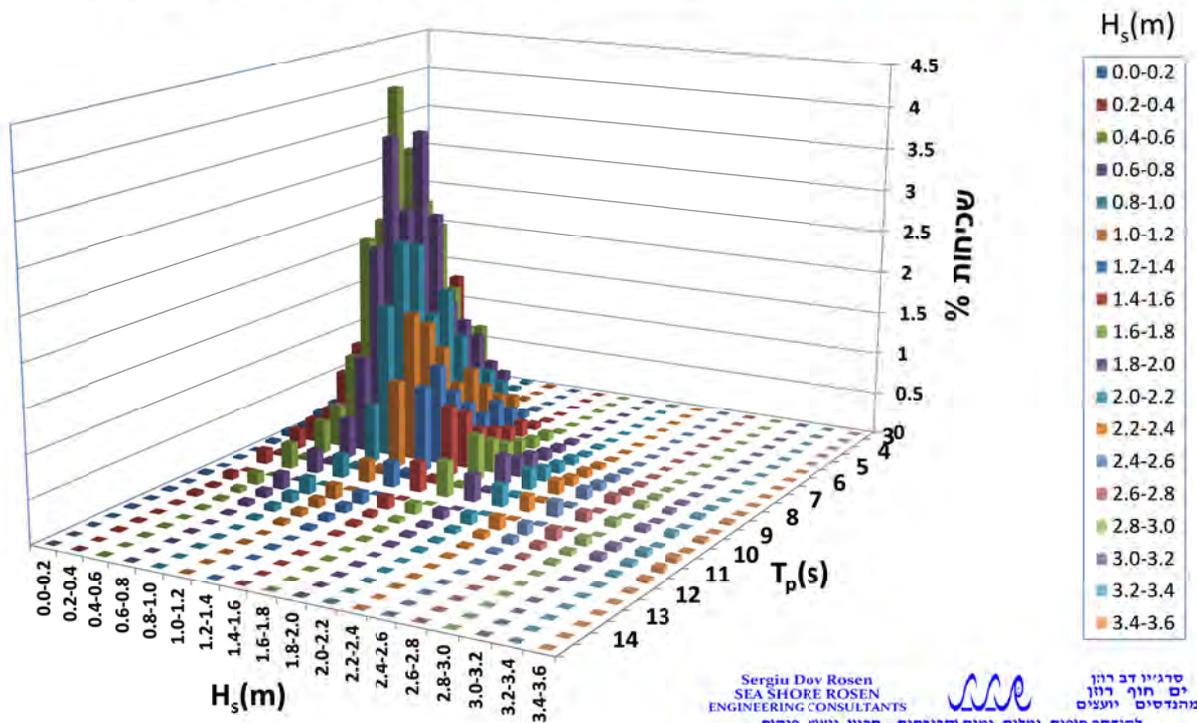
איור מס' 3.14

**שכיחות ממוצעת שולית שנתי, קיצית וחורפית של אזימות כיוון התקרבות הגלים על קו עומק 60- מ' מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992 - מרץ 2016**

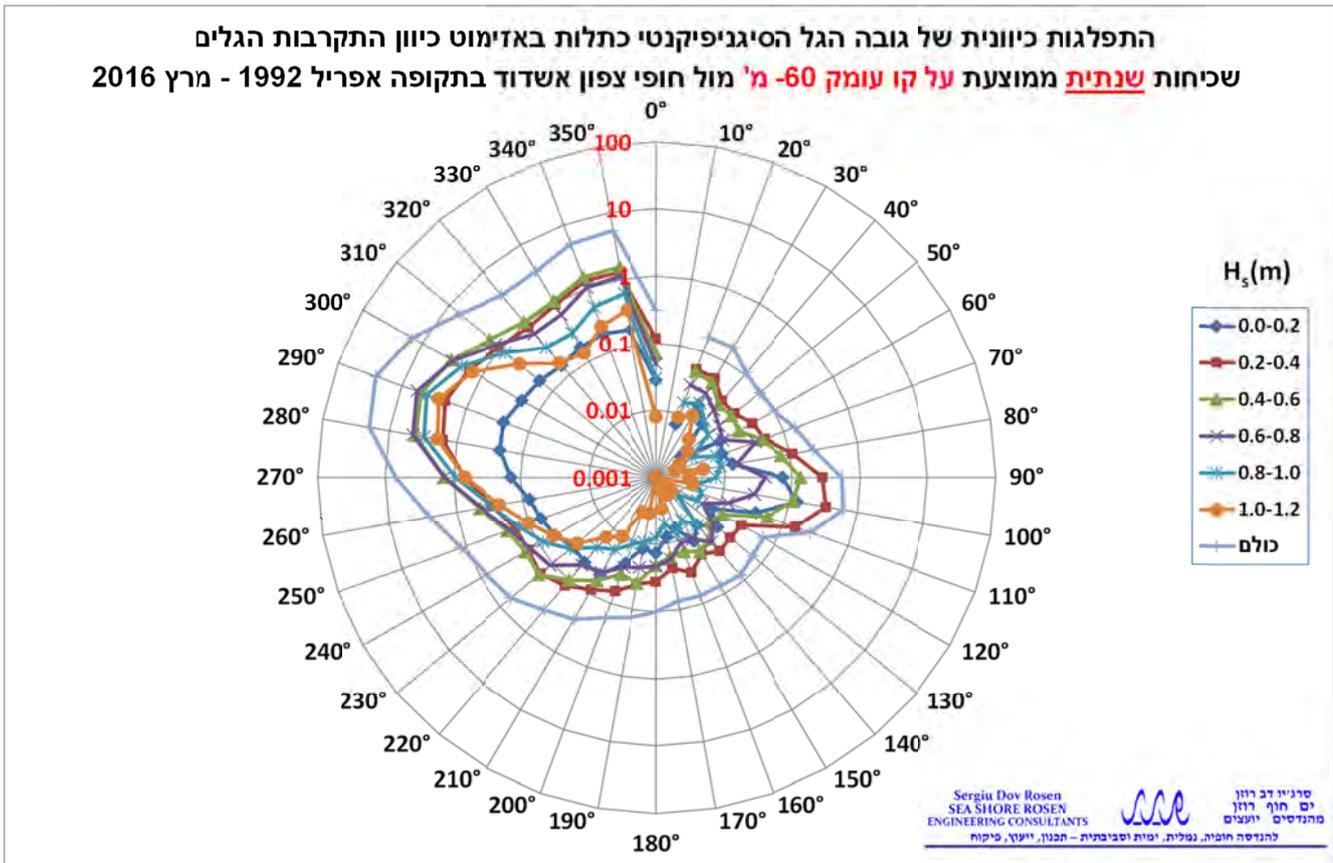


איור מס' 3.15

**שכיחות שנתית ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום על קו עומק 60- מ' מול חופי צפון אשדוד עבור התקופה אפריל 1992 - מרץ 2016**



איור מס' 3.16



איור מס' 3.17

3.2.8 אומדן של משטר הגלים במצבי קיצון נדירים מול אשדוד על קו עומק 40- מ'

נתוני גובהי הגלים הסיגניפיקנטיים שחושבו לקו עומק 40- מ' חולקו לפי שנים הידרוגרפיות, ובכל שנה אותרו הערכים השנתיים הגבוהים ביותר. ערכים אלה שימשו תשומה לבדיקת התאמתם ל-5 פונקציות הסתברות של הערכים הנדירים (ערכי הקיצון) עבור תקופות חזרה שונות. ריכוז התוצאות שהתקבלו מוצג בטבלה 3-12 להלן, וכלל התוצאות לקבלת אומדן ערכי קיצון לתקופות חזרה ממוצעות שונות של הגל המשמעותי על קו עומק 40- מ' מול צפון אשדוד מוצגות בנספח 1.2.5.

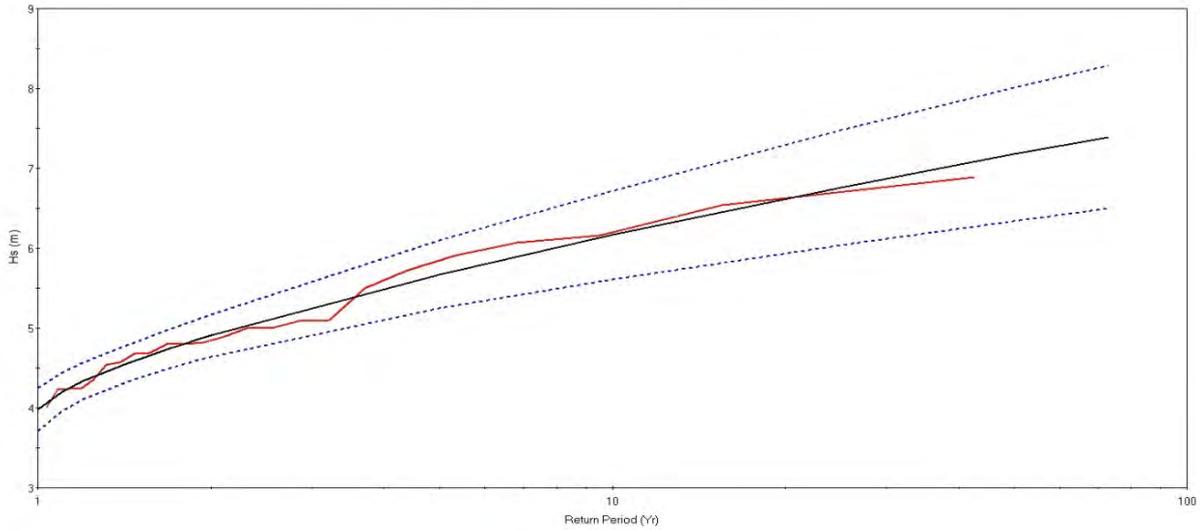
טבלה מס' 3-12 ערכי קיצון של גובה גל סיגניפיקנטי על בסיס 5 פרוסים שונים בקו עומק 40- מ' מול אשדוד

Extremal Significant Wave Height Analysis at 40m Depth Offshore Ashdod						
Case: EXTREME SIGNIFICANT WAVE HEIGHT ANALYSES						
N:	24	NU:	1			
NT:	24	K:	24			
Lambda:	1.00	Mean:	5.08			
Standard deviation:	0.77					
Weibull Distribution						
	FT-	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.00	
Correlation:	0.99	0.94	0.98	0.99	0.99	
Sum square of residuals:	0.05	0.15	0.09	0.04	0.06	
Return Period (Yr)	Hs (m)	Hs (m)	Hs (m)	Hs (m)	Hs (m)	Hs (m)
2	4.96	4.79	4.83	4.91	4.99	
5	5.66	5.42	5.57	5.67	5.73	
10	6.13	5.99	6.12	6.17	6.15	
25	6.72	6.84	6.85	6.76	6.62	
50	7.16	7.54	7.41	7.18	6.93	
73	7.40	7.94	7.71	7.39	7.09	
100	7.59	8.28	7.96	7.57	7.22	
WARNING: RETURN PERIODS > 72 Yrs May Not Be Meaningful.						
95% Confidence Interval (Lower Bound - Upper Bound) Units: m						
Weibull Distribution						
Return Period (Yr)	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.00	
5	5.3 - 6.0	4.8 - 6.1	5.1 - 6.1	5.2 - 6.1	5.4 - 6.1	
10	5.6 - 6.6	5.0 - 7.0	5.4 - 6.8	5.6 - 6.7	5.7 - 6.6	
25	6.1 - 7.4	5.3 - 8.4	5.8 - 7.9	6.0 - 7.5	6.1 - 7.2	
50	6.4 - 8.0	5.6 - 9.5	6.1 - 8.7	6.3 - 8.0	6.3 - 7.5	
73	6.5 - 8.3	5.7 - 10.2	6.3 - 9.1	6.5 - 8.3	6.5 - 7.7	
100	6.7 - 8.5	5.8 - 10.7	6.5 - 9.5	6.6 - 8.5	6.6 - 7.9	
Percent chance for significant wave height equalling or exceeding return period						
Return Period (Yr)	Period of concern (Yr)					
	2	5	10	25	50	73
2	75	97	100	100	100	100
5	36	67	89	100	100	100
10	19	41	65	93	99	100
25	8	18	34	64	87	95
50	4	10	18	40	64	77
73	3	7	13	29	50	63
100	2	5	10	22	39	52

על בסיס התוצאות בטבלה 3-12 ומאחר שמקדם הקורלציה הגבוהה ביותר וסטיית התקן הקטנה ביותר (square sum of residuals) התקבלו עבור פרוס Weibull עם חזקה 1.4 ועבור פרוס Fisher-Tippet שלהם מקדם קורלציה זהים וסטיית התקן כמעט זהה, לכן נבחר בערכי גובה גל הקיצון על קו עומק 40- מ'  $H_{s,max}$  עבור תקופות החזרה השונות שהתקבלו משני הפרוסים ונמצע אותם על מנת לאמוד את הערכים של גובה הגל הסיגניפיקנטי המרבי עבור כל אחת מתקופות החזרה. התאמת פרוס Weibull עם חזקה 1.4 זה לנתוני המדידות השנתיות המרביות מוצגת באיור מס' 3.18 ועבור פרוס Fisher-Tippet באיור מס' 3.19.



Extremal Significant Wave Height Distributions

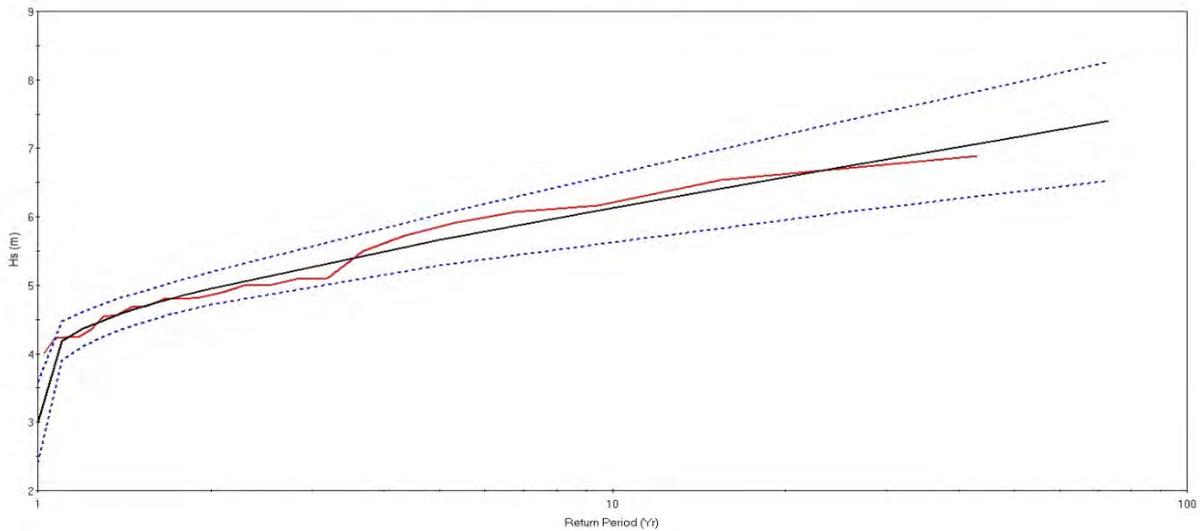


— Data  
— k=1.40 Distribution  
- - - 95% Confidence Interval Bounds

Weibull Distribution (k=1.40)

איור מס' 3.18

Extremal Significant Wave Height Distributions



— Data  
— FT Distribution  
- - - 95% Confidence Interval Bounds

Fisher-Tippett Distribution

איור מס' 3.19



3.2.9 אומדן של משטר הגלים הרב שנתי (שנתי, קיצי וחורפי) מול אשדוד על קו עומק 40- מ'

בעמודים הבאים מוצגות בטבלאות ובצורה גרפית באיורים מס' 3.20 עד 3.24 התוצאות שהתקבלו עבור אקלים הגלים הרב שנתי על קו עומק 40- מ' מול חוף צפון אשדוד. התוצאות מציגות טבלאות של שכיחות ממוצעת משותפת של גובה הגל הסינגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום (טבלה מס' 3-13), של שכיחות ממוצעת משותפת של גובה הגל הסינגניפיקנטי וכיוון הגלים (טבלה מס' 3-14) ושל זמן מחזור שיא הספקטרום וכיוון הגלים (טבלה מס' 3-15), וכן השכיחויות השוליות של כל אחד מהפרמטרים הנ"ל בחלוקה שנתית ועונתית, וכן באיורים הנותנים ביטוי גרפי לטבלאות התפלגויות אלה. בנספח 1.2.6 מוצג כל המידע השנתי הנ"ל וכן טבלאות וגרפים לעונת הקיץ ולעונת החורף.

כפי שהוסבר מקודם, כדי לפצות עבור נתונים חסרים תוקנו הערכים המסכמים על בסיס מקדם התיקון המתאים המוצג בטבלה מס' 2-3.

באיור 3.21 ניתן להבחין כי בדומה למצב עבור גלים במים עמוקים, גם למיקום זה הנתונים מצביעים על כך שכביכול היו מעט מדידות של זמן מחזור של 9.0 ושל 10.0 שניות ולעומת זאת יותר מדידות בזמני מחזור של 9.5 ו-10.5 שניות. הדבר נובע כנראה מהחלוקה הרצונית למרווחים של כל חצי שניה, לעומת שיטת הניתוח הספקטרלי שחילק את ערכי זמני המחזור במרווחים אחרים לפי דרגות החופש של הניתוח הספקטרלי (Fast Fourier Transform).

באיור 3.24 ניתן להבחין כי כאילו אין כלל מדידות עם כיווני גלים בתחום האזימוטים בין 5 ל-15 מעלות המיוצג על ידי התא הכיווני שמרכזו באזימות 10 מעלות. זאת כנראה רק אשליה בגלל סינון קל עקב חישוב רפרקציית הגלים ואולי בגלל שהכיוונים שנמדדו עוגלו לערכים של מעלות שלמות, ומעשית חלק מהגלים עם כיווני אזימות בשני המרווחים השכנים לו היינו מדייקים עד חלק של מעלה, היו נרשמים במרווח כיווני זה. מעשית אין לשני העיוותים כביכול שצוינו לעיל כל השפעה או חשיבות.



טבלה מס' 3-13

שרידות שנתית ממוצעת משרדת של גופה הגל הרציפי בקטרי וזמן מחזורי שיא המפקחים על קי עונת 40- אל מול חופי צפון אשדוד ענר התקופה אפריל 1992 - מרץ 2016

Hs (m) \ Tp (s)	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	כסם שרידות (%)	כסם שרידות (%) מתחת			
0.0-0.2	0.245	0.193	0.240	0.263	0.262	0.339	0.323	0.175	0.132	0.061	0.075	0.043	0.008	0.016	0	0.029	0.009	0.019	0.007	0.014	0.002	0.004	0	0.002	0.004	0.001	0	0	0	2.463	2.398		
0.2-0.4	1.301	0.860	1.563	1.999	1.538	1.893	1.990	0.960	0.687	0.317	0.294	0.245	0.045	0.175	0.004	0.104	0.036	0.050	0.017	0.008	0.018	0.016	0	0.006	0.002	0.004	0	0.001	0	14.130	13.761		
0.4-0.6	0.675	0.754	1.346	2.242	2.592	3.316	4.119	2.558	2.378	1.099	0.512	0.410	0.050	0.314	0.005	0.128	0.055	0.033	0.020	0.005	0.012	0.010	0	0.006	0	0.002	0	0	0	22.640	22.048		
0.6-0.8	0.117	0.332	0.762	1.035	1.339	2.525	3.610	2.723	3.684	2.429	1.249	0.487	0.058	0.282	0.006	0.203	0.097	0.061	0.024	0.007	0.012	0.005	0	0.001	0	0.001	0	0	0	21.048	20.498		
0.8-1.0	0.037	0.039	0.205	0.431	0.538	1.039	1.687	1.472	2.445	2.460	1.783	0.736	0.064	0.269	0.009	0.194	0.109	0.077	0.036	0.007	0.011	0.009	0	0.001	0	0	0	0	0	13.656	13.299		
1.0-1.2	0.018	0.003	0.034	0.146	0.250	0.456	0.747	0.655	1.125	1.521	1.747	1.051	0.084	0.254	0.003	0.130	0.080	0.071	0.051	0.004	0.015	0.004	0	0.001	0	0	0	0	0	8.517	8.294		
1.2-1.4	0.002	0	0.004	0.033	0.082	0.209	0.387	0.320	0.526	0.739	1.130	0.996	0.090	0.323	0.003	0.130	0.080	0.063	0.036	0.003	0.016	0.003	0	0.002	0	0	0	0	0	0	5.175	5.039	
1.4-1.6	0	0	0.001	0.004	0.022	0.075	0.188	0.198	0.279	0.372	0.598	0.783	0.067	0.375	0.006	0.144	0.049	0.035	0.018	0.002	0.007	0.004	0	0	0	0	0	0	0	0	3.225	3.141	
1.6-1.8	0	0	0	0.001	0.007	0.024	0.105	0.129	0.180	0.242	0.390	0.506	0.049	0.395	0.002	0.117	0.046	0.037	0.021	0.001	0.011	0.004	0	0.001	0	0	0	0	0	0	2.226	2.168	
1.8-2.0	0	0	0.001	0.001	0.002	0.007	0.048	0.078	0.115	0.171	0.221	0.305	0.045	0.305	0.006	0.123	0.050	0.033	0.025	0.002	0.014	0.006	0	0.004	0	0	0	0	0	0	1.552	1.517	
2.0-2.2	0	0	0	0	0.005	0.029	0.090	0.113	0.145	0.232	0.302	0.442	0.230	0.308	0.008	0.140	0.061	0.029	0.023	0.003	0.008	0.003	0	0.002	0	0	0	0	0	0	1.203	1.172	
2.2-2.4	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.009	0.018	0.057	0.094	0.112	0.145	0.028	0.202	0.008	0.147	0.065	0.031	0.012	0.003	0.008	0.006	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0.945	0.920	
2.4-2.6	0	0	0	0	0.001	0.006	0.009	0.030	0.058	0.078	0.115	0.027	0.139	0.006	0.137	0.075	0.032	0.012	0.002	0.003	0.004	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.731	0.711	
2.6-2.8	0	0	0	0	0	0.002	0.005	0.013	0.027	0.055	0.084	0.103	0.105	0.007	0.113	0.063	0.039	0.013	0.001	0.004	0.002	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.546	0.531	
2.8-3.0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.005	0.011	0.043	0.060	0.013	0.066	0.004	0.087	0.063	0.030	0.005	0.001	0.004	0	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0.393	0.383	
3.0-3.2	0	0	0	0	0	0.002	0.003	0.007	0.022	0.042	0.011	0.071	0.312	0.070	0.058	0.033	0.012	0.003	0.002	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.349	0.339	
3.2-3.4	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.006	0.016	0.040	0.020	0.007	0.029	0.010	0.064	0.039	0.036	0.036	0.016	0.003	0.003	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0.305	0.297	
3.4-3.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.010	0.057	0.036	0.036	0.036	0.016	0.003	0.003	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0.233	0.233	
3.6-3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.010	0.057	0.036	0.036	0.036	0.016	0.003	0.003	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0.179	0.174	
3.8-4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.003	0.005	0.002	0.016	0.036	0.036	0.036	0.016	0.003	0.003	0.003	0.002	0	0.002	0	0	0	0	0	0	0.139	0.135	
4.0-4.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.002	0.002	0.010	0.036	0.036	0.036	0.016	0.003	0.004	0.004	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0.101	0.098	
4.2-4.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0	0.002	0	0.003	0	0.012	0.013	0.018	0.014	0.009	0.004	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0.066	0.064	
4.4-4.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001	0.009	0.006	0.013	0.009	0.002	0.004	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0.048	0.047	
4.6-4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.006	0.006	0.007	0.003	0.001	0.005	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0.030	0.029	
4.8-5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.002	0.003	0.003	0.007	0.005	0.002	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.026	0.025	
5.0-5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.010	0.010	
5.2-5.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0.002	0.002	0.002	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.006	0.005	
5.4-5.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.002	0	0.002	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.008	0.007	
5.6-5.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.002	0	0.001	0.002	0.001	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.006	0.006	
5.8-6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.001	
6.0-6.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.001	
6.2-6.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.001	
6.4-6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.001	
6.6-6.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.000
6.8-7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.000
7.0-7.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000
7.2-7.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000
7.4<	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000
כסם שרידות (%)	2.394	2.181	4.156	6.154	6.630	9.888	13.249	9.344	11.750	9.727	8.446	6.321	0.718	3.660	0.122																		



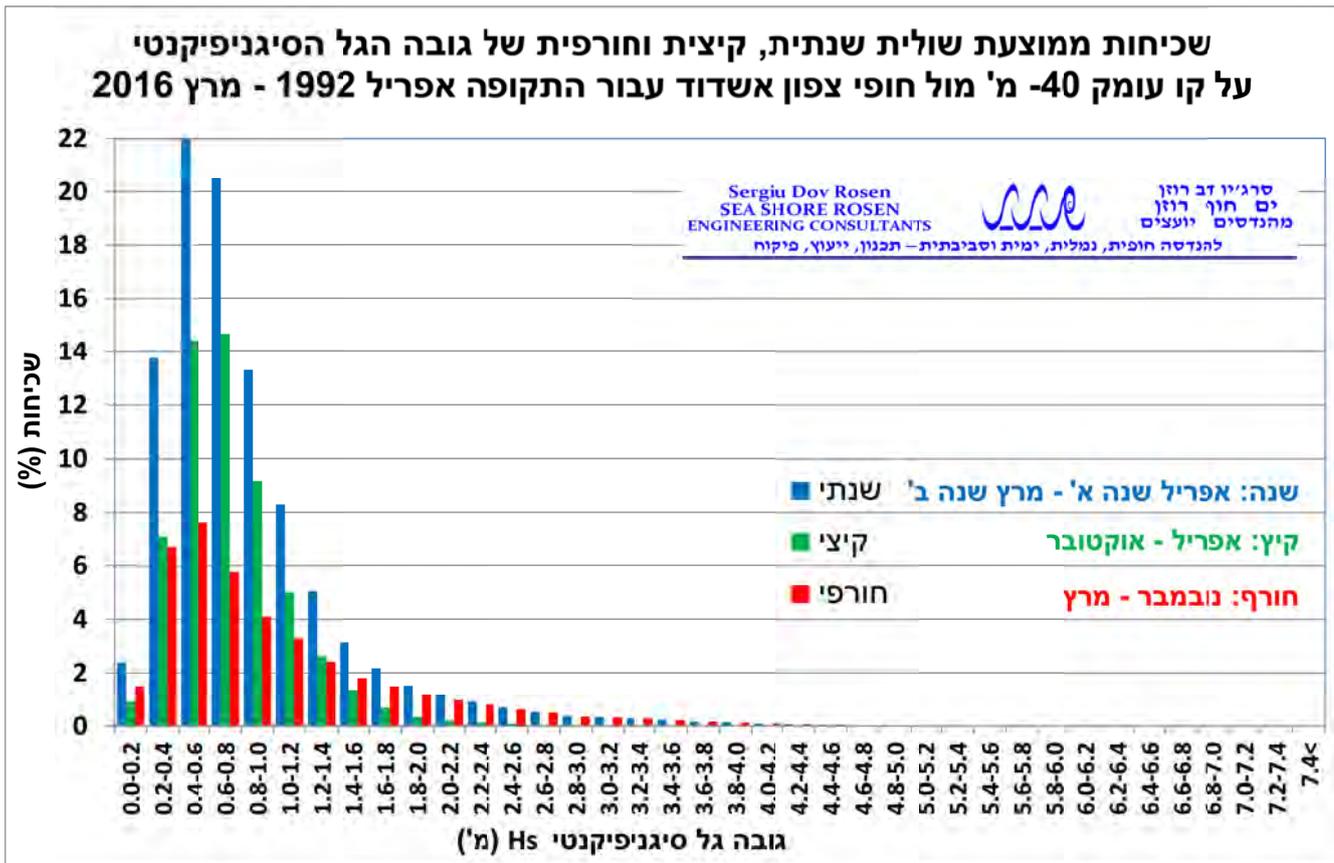


טבלה מס' 15-3

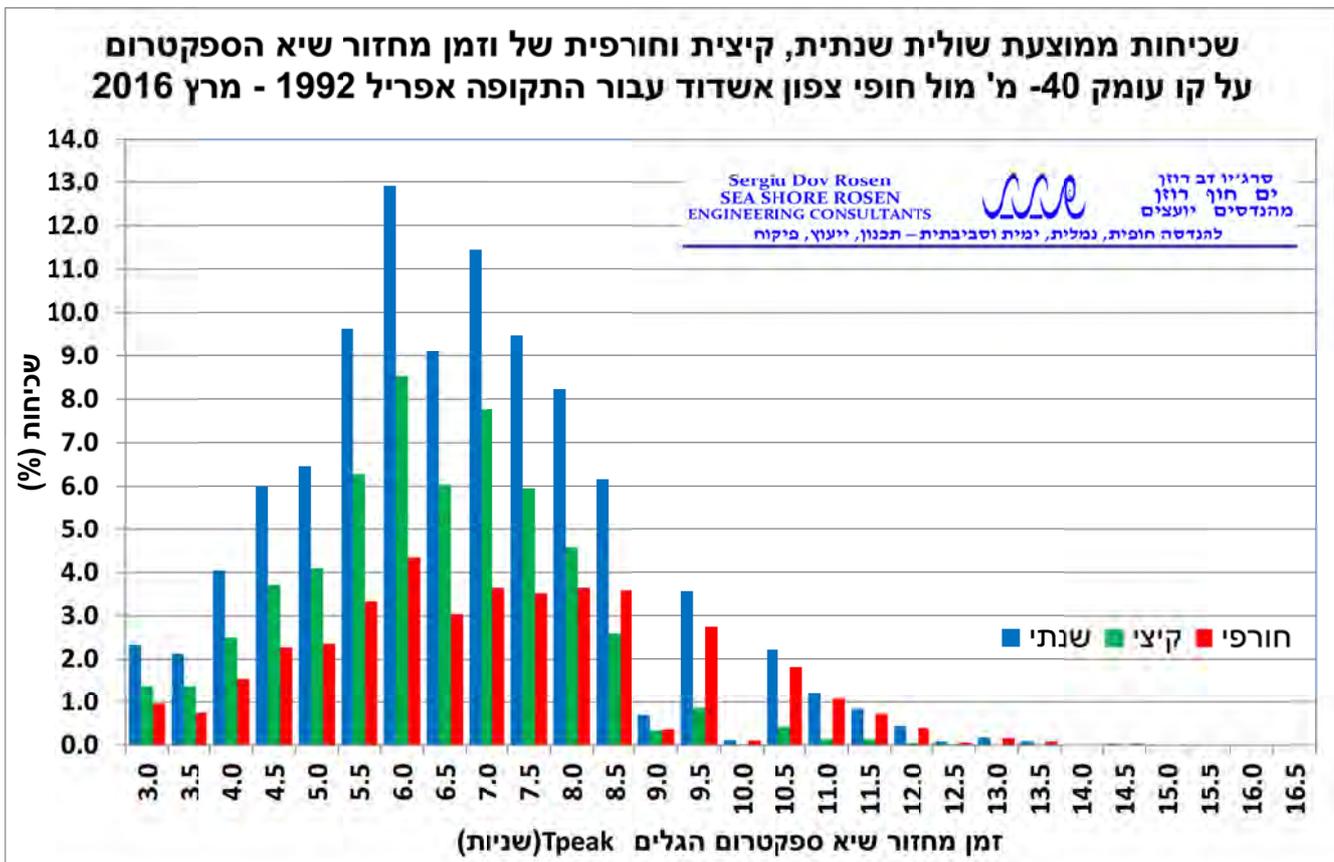
המפלגות כיוניות של זרוע החזית הימנית של המליץ כוללות בארבעת כיווני המיקומים המליץ  
 שרידות שרידות המומלצת על ידי עמדת 40 - מילי חודשי עבור אשדות התקופה אפריל 1992 - מרץ 2016

מס' שרידות	מס' שרידות (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	מס' שרידות (%)	מס' שרידות (מחוק) (%)	
30-35	0.006	0	0.010	0.015	0.012	0.012	0.012	0.012	0.029	0.075	0.228	0.209	0.009	0.007	0.008	0.011	0.015	0.009	0.012	0.010	0.020	0.040	0.071	0.086	0.073	0.053	0.065	0.129	0.222	0.218	0.195	0.152	0.155	0.172	0.186	0.212	2.394	2.331		
35-40	0.072	0	0.010	0.015	0.014	0.006	0.008	0.034	0.012	0.025	0.092	0.013	0.006	0.008	0.007	0.009	0.008	0.009	0.012	0.023	0.031	0.081	0.050	0.104	0.070	0.056	0.066	0.113	0.159	0.197	0.187	0.151	0.151	0.150	0.186	0.241	2.181	2.124		
40-45	0.030	0	0.026	0.019	0.015	0.020	0.026	0.036	0.026	0.070	0.074	0.022	0.010	0.015	0.019	0.014	0.017	0.019	0.033	0.044	0.037	0.059	0.060	0.116	0.090	0.112	0.114	0.151	0.256	0.313	0.368	0.344	0.322	0.304	0.266	0.241	4.156	4.048		
45-50	0.034	0	0.027	0.022	0.017	0.011	0.012	0.014	0.011	0.024	0.084	0.088	0.039	0.012	0.019	0.014	0.016	0.016	0.022	0.029	0.023	0.038	0.061	0.095	0.118	0.106	0.164	0.190	0.307	0.528	0.635	0.583	0.514	0.548	0.618	0.922	6.154	5.993		
50-55	0.026	0	0.022	0.027	0.011	0.011	0.008	0.011	0.014	0.053	0.064	0.028	0.010	0.004	0.007	0.006	0.003	0.006	0.006	0.010	0.022	0.030	0.056	0.059	0.087	0.117	0.187	0.261	0.483	0.807	0.791	0.629	0.505	0.536	0.794	0.975	6.630	6.456		
55-60	0.095	0	0.020	0.016	0.009	0.010	0.009	0.007	0.007	0.021	0.052	0.078	0.039	0.004	0.005	0.002	0.006	0.004	0.006	0.010	0.022	0.029	0.024	0.059	0.090	0.172	0.287	0.488	1.122	1.617	1.908	0.937	0.576	0.582	0.939	1.039	9.888	9.630		
60-65	0.036	0	0.018	0.018	0.009	0.007	0.006	0.005	0.005	0.021	0.076	0.085	0.028	0.006	0.003	0.002	0.007	0.004	0.005	0.006	0.010	0.014	0.025	0.036	0.087	0.177	0.335	0.864	2.389	3.325	2.252	0.916	0.464	0.508	0.791	0.731	13.249	12.903		
65-70	0.020	0	0.012	0.012	0.009	0.006	0.002	0.006	0.014	0.048	0.041	0.016	0.004	0.001	0.004	0.004	0.002	0.004	0.003	0.004	0.005	0.012	0.013	0.022	0.052	0.089	0.265	0.758	2.053	2.778	1.509	0.518	0.207	0.246	0.332	0.277	9.344	9.099		
70-75	0.014	0	0.008	0.012	0.006	0.003	0.005	0.003	0.002	0.012	0.029	0.036	0.018	0.001	0.003	0.004	0.006	0	0.004	0.003	0.002	0.003	0.003	0.010	0.014	0.021	0.048	0.104	0.288	0.566	2.865	3.831	1.896	0.585	0.244	0.215	0.283	0.212	11.750	11.443
75-80	0.009	0	0.007	0.009	0.002	0.003	0.003	0.002	0.004	0.021	0.026	0.016	0.003	0.001	0.002	0.003	0.002	0	0.001	0.001	0.003	0.003	0.006	0.005	0.013	0.020	0.056	0.206	0.756	2.425	3.612	1.604	0.417	0.137	0.102	0.148	0.105	9.727	9.473	
80-85	0.003	0	0.002	0.004	0.002	0.002	0.003	0.001	0.002	0.011	0.014	0.007	0.001	0.003	0.002	0.004	0.003	0.004	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.006	0.005	0.007	0.016	0.066	0.159	0.629	2.522	2.859	1.429	0.403	0.082	0.059	0.079	0.063	8.446	8.225
85-90	0.002	0	0.002	0.002	0.001	0.001	0	0.001	0.003	0.008	0.016	0.004	0.001	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0.001	0.002	0.001	0.004	0.004	0.017	0.035	0.130	0.574	1.909	2.100	1.043	0.293	0.064	0.038	0.031	0.029	6.321	6.155		
90-95	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.001	0.013	0.049	0.148	0.229	0.149	0.076	0.026	0.007	0.006	0.006	0.002	0.718	0.700
95-100	0.004	0	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.013	0.018	0.003	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0.002	0.001	0.003	0.005	0.014	0.071	0.332	1.205	1.201	0.523	0.383	0.040	0.022	0.017	0.013	3.660	3.584		
100-105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.004	0.029	0.044	0.023	0.012	0.008	0.002	0	0	0	0.122	0.119		
105-110	0.002	0	0.001	0	0	0	0.002	0	0.001	0.004	0.008	0.003	0	0	0.001	0	0	0	0.001	0	0.001	0.001	0.003	0.003	0.007	0.039	0.252	0.761	0.777	0.278	0.079	0.024	0.013	0.005	0.013	2.272	2.212			
110-115	0	0	0.001	0	0	0.001	0	0	0	0.001	0.002	0.002	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.019	0.100	0.400	0.493	0.162	0.036	0.009	0.003	0.005	0.005	1.238	1.206		
115-120	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0.002	0.005	0.001	0.002	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0.003	0.014	0.088	0.314	0.305	0.093	0.016	0.005	0.002	0.002	0.008	0.861	0.838		
120-125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.002	0.030	0.175	0.190	0.035	0.002	0.002	0.001	0.001	0.003	0.445	0.434			
125-130	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0.003	0.002	0	0.002	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.015	0.032	0.019	0.003	0.002	0	0.001	0.001	0.003	0.084	0.081		
130-135	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.004	0.008	0.070	0.081	0.015	0.002	0	0.001	0.002	0.003	0.187	0.182		
135-140	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.004	0.033	0.042	0.009	0.003	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0.095	0.092		
140-145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001			
145-150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.054	0.033		
150-155	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0.006	0.006		
155-160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.007	0.007		
160-165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000		
165+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.000		
מס' שרידות (%)	0.302	0	0.167	0.174	0.109	0.092	0.089	0.149	0.228	0.335	0.621	0.259	0.063	0.067	0.081	0.074	0.076	0.075	0.101	0.132	0.157	0.271	0.379	0.626	0.777	1.185	2.470	6.886	19.962	25.475	14.625	6.269	3.907	3.909	5.051	5.396	100.000	97.394		
מס' שרידות (מחוק) (%)	0.294	0.000	0.163	0.170	0.106	0.089	0.086	0.145	0.222	0.351	0.604	0.252	0.061	0.066	0.079	0.072	0.074	0.073	0.098	0.129	0.161	0.264	0.389	0.610	0.751	1.154	2.405	6.706	19.439	24.808	14.243	6.105	3.415	3.417	4.919	5.255				

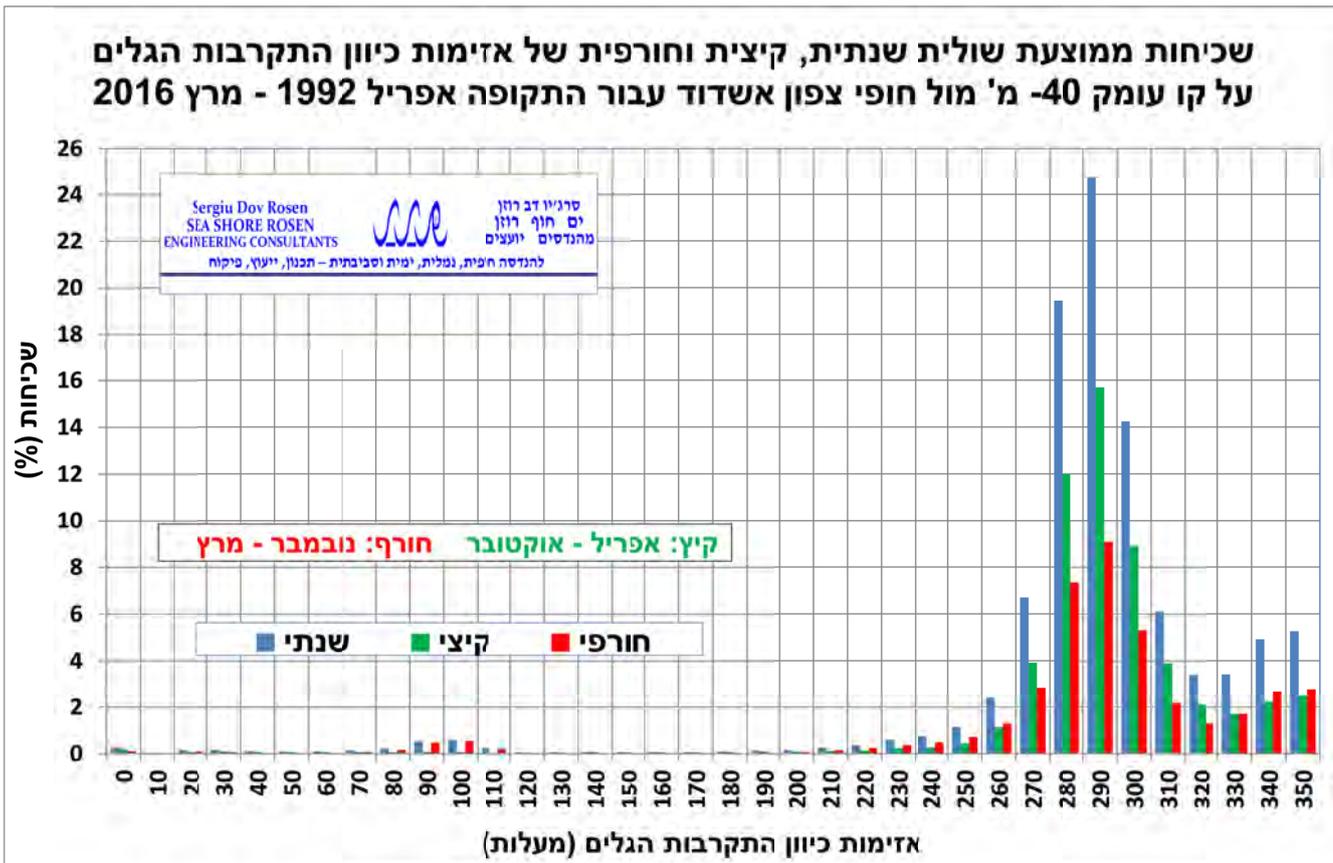
מקדם תקינה עבור מרחוק הסחת = 0.9738



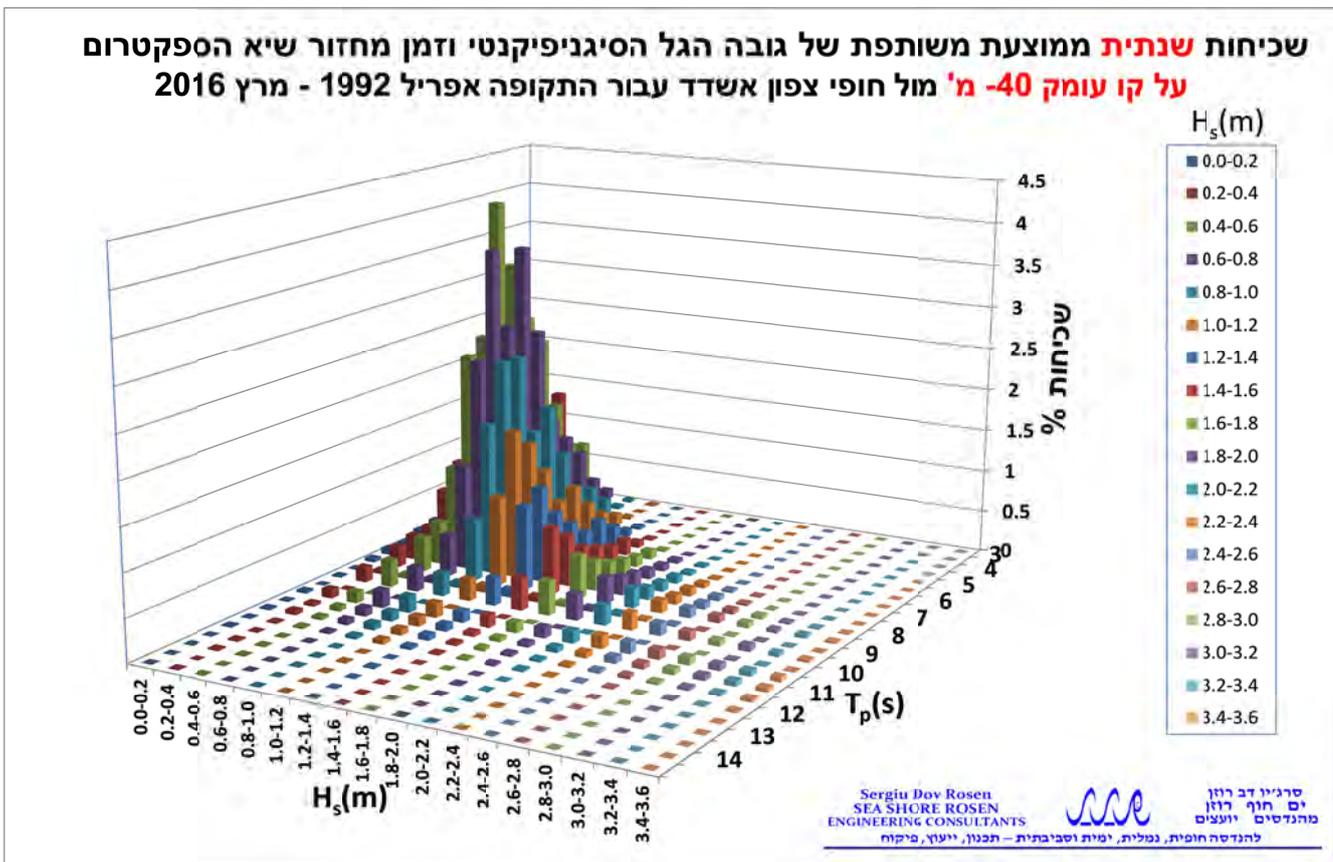
איור מס' 3.20



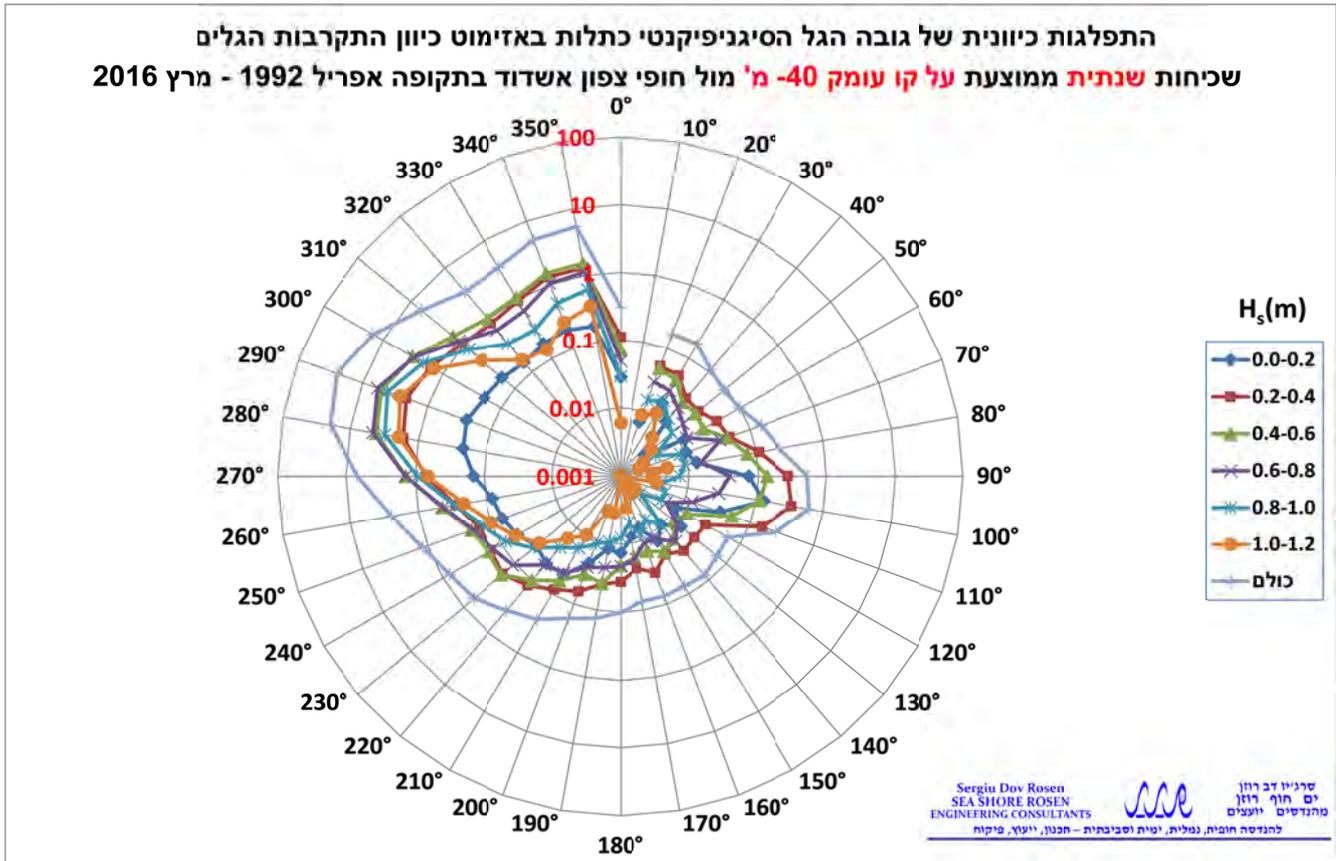
איור מס' 3.21



איור מס' 3.22



איור מס' 3.23



איור מס' 3.24

### 3.3 אפיון הזרמים באזור אשדוד

#### 3.3.1 עיבוד נתוני הזרמים לבנק נתוני זרמים שעתיים בשלושה עומקים מתחת לפני הים על קו עומק 27- מ'

לצורך אפיון מהזרמים באזור אשדוד בתחום עומקי המים שמיועדים להצבה של כלובי דגים, לא נמצאו נתוני זרמים שבוצעו לאורך מספר שנים על מנת לאפיין בניתוח סטטיסטי את הזרמים שם. על כן, נאלצנו להסתפק בנתונים שנאספו בצורה מסודרת באשדוד מול שובר הגלים הראשי, על קווי עומק ששל 26.5- מ' ועד 28- מ' (המיקום השתנה מעט במהלך השנים). המידע מאשדוד היה זמין לתקופה מאז אפריל 2004 ועד מרץ 2015, והתקבל באמצעות מד זרמים ADCP, בכל עמודת המים במרווחים של 1 מטר. לאפיון הפרופיל הסטטיסטי של פרוס הזרמים בעמודת המים הוחלט לכן לנתח את מדידות הזרמים בעומקים של 4- מ', 11- מ' ו-22 מ' מפני המים. אמנם היו גם מדידות במפלסים עמוקים יותר וגם גבוהים יותר, אך בהם אחוז המדידות הטובות היה נמוך יותר, בגלל ההפרעות של הקרבה לקרקעית ולפני הים. יחד עם זאת, מאחר והיו גם חורים במדידות, הוחלט להשתמש במקטעים החסרים במדידות היא"ל מחדרה, כאשר הכיוון של הזרם המדוד תוקן לפי היחס בין אזימות קו החוף במקום המדידה לעומת אזימות קו החוף בחדרה לעומת אלה באשדוד. דבר זה אפשר לקבל מדגם כמעט מלא (חוץ ממספר קטעים בהם לא היו מדידות בכל התחנות בו זמנית).

נוצרו 3 בנקי נתוני זרמים שעתיים (מהירות וכיוון ממוצע שעתי) ששימשו בהמשך לאפיון סטטיסטי של הזרימה על קו עומק 27 מ' בקרוב. הסיבה שאנו מציינים בקרוב נובעת מכך שמיקום המכשירים היה קבוע, אך מפלס פני הים השתנה במקצת במשך הזמן בתלות במועדי הים, הגלים והרוח. אומדן הזרימה במיקום קו עומק זה עדיין איננו נותן תשובה מוחלטת על הזרימה בקווי עומק 40- מ' ועד 60- מ'. לשם כך, לצורך אומדן הזרמים הפועלים על כלוב \ חוות כלובים המוצבים שם היה צריך להשתמש במידע מהרצות המודלים שתוארו בפרק 1.2.3 ומהפרסומים המוזכרים שם. השיקולים לכך יוצגו בהמשך בשלב בחירת נתוני מצבי התכן.

#### 3.3.2 אומדן של משטר הזרמים במצבי קיצון נדירים מול אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 4- מ' מפני הים

נתוני הזרמים בעומק 4- מ' מתחת לפני הים, על קו עומק 27- מ', חולקו לפי שנים הידרוגרפיות, ובכל שנה אותרו הערכים השנתיים הגבוהים ביותר. ערכים אלה שימשו תשומה לבדיקת התאמתם ל-5 פונקציות הסתברות של הערכים הנדירים (ערכי הקיצון) עבור תקופות חזרה שונות. ריכוז התוצאות שהתקבלו מוצגים בטבלה מס' 3-16 להלן, וכלל התוצאות לקבלת אומדן ערכי קיצון לתקופות חזרה ממוצעות שונות של מהירות זרם מרבי בעומק 4- מ' מתחת לפני הים על קו עומק 27- מ' מול אשדוד מוצגות בנספח 1.3.1.

על בסיס התוצאות בטבלה מס' 3-16 ומאחר שמקדם הקורלציה הגבוה ביותר וסטיית התקן הקטנה ביותר (sum of square of residuals) התקבלו עבור פרוס Fisher-Tippet ומיד אחריו עבור פרוס Weibull עם חזקה 1.40, נבחר בערכי הקיצון של המהירות של הזרם  $V_{c,max}$  בעומק של 4 מ' מתחת לפני הים על קו עומק 27- מ' בערכים שהתקבלו משני הפרוסים ונמצע אותם על מנת לאמוד את הערכים של גובה הגל הסיגניפיקנטי המרבי עבור כל אחת מתקופות החזרה. התאמת פרוס Fisher-Tippet לנתוני המדידות השנתיות המרביות מוצגת באיור מס' 3.25 ועבור פרוס Weibull עם חזקה 1.4 זה באיור מס' 3.26.





טבלה מס' 3-16

Case: EXTREMAL CURRENT STATISTICS

Hourly Averaged Current Speed Analysis Offshore Ashdod, 4m below sea surface on 27m depth contour

N:	11	NU:	1
NT:	11	K:	11
Lambda:	1.00	Mean:	92.65
Standard deviation:	25.06		

	Weibull Distribution			
	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0
Correlation:	0.99	0.95	0.98	0.99
Sum square of residuals:	0.02	0.10	0.07	0.03

Return Period (Yr)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)
2	88.96	82.90	84.49	87.01	89.62
5	112.60	104.86	109.23	112.49	114.18
10	128.25	124.79	127.94	128.92	128.18
25	148.03	154.33	152.68	148.60	143.76
50	162.71	178.69	171.39	162.42	154.10
73	170.67	192.63	181.61	169.66	159.37
100	177.27	204.54	190.10	175.55	163.57

WARNING: RETURN PERIODS > 33 Yrs May Not Be Meaningful.

95% Confidence Interval (Lower Bound - Upper Bound)

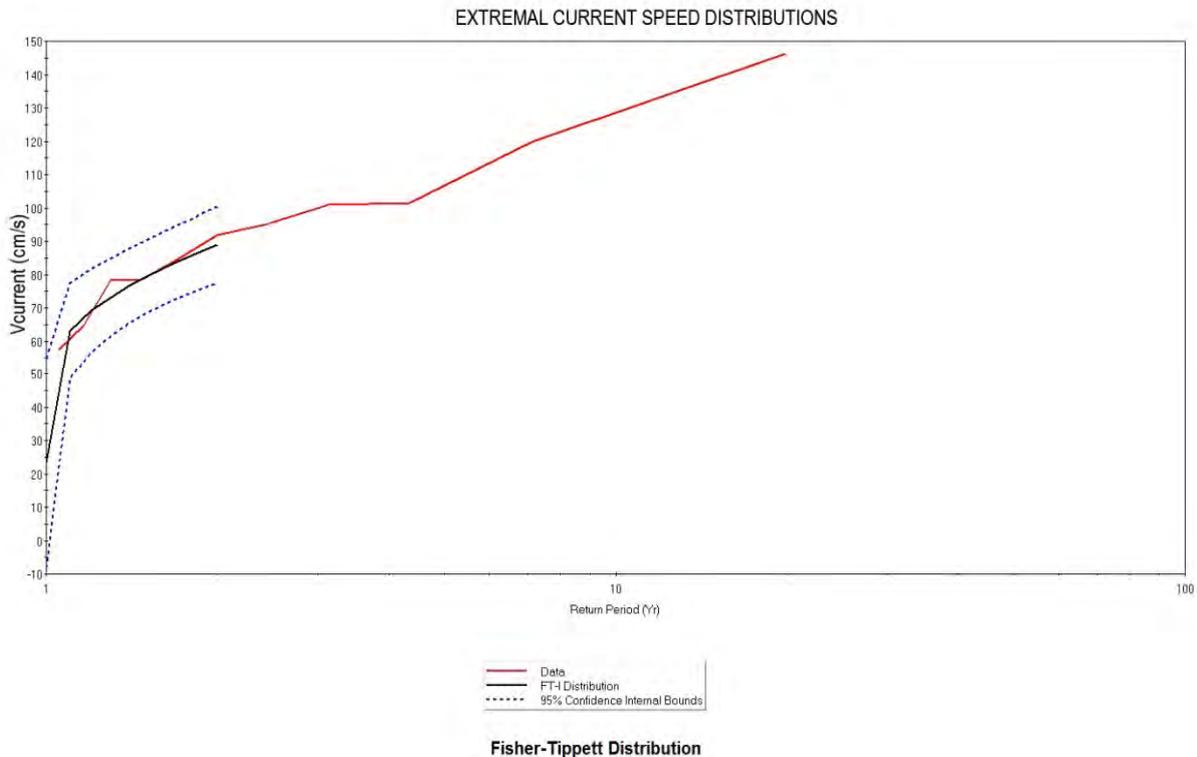
Units: cm/s

Weibull Distribution

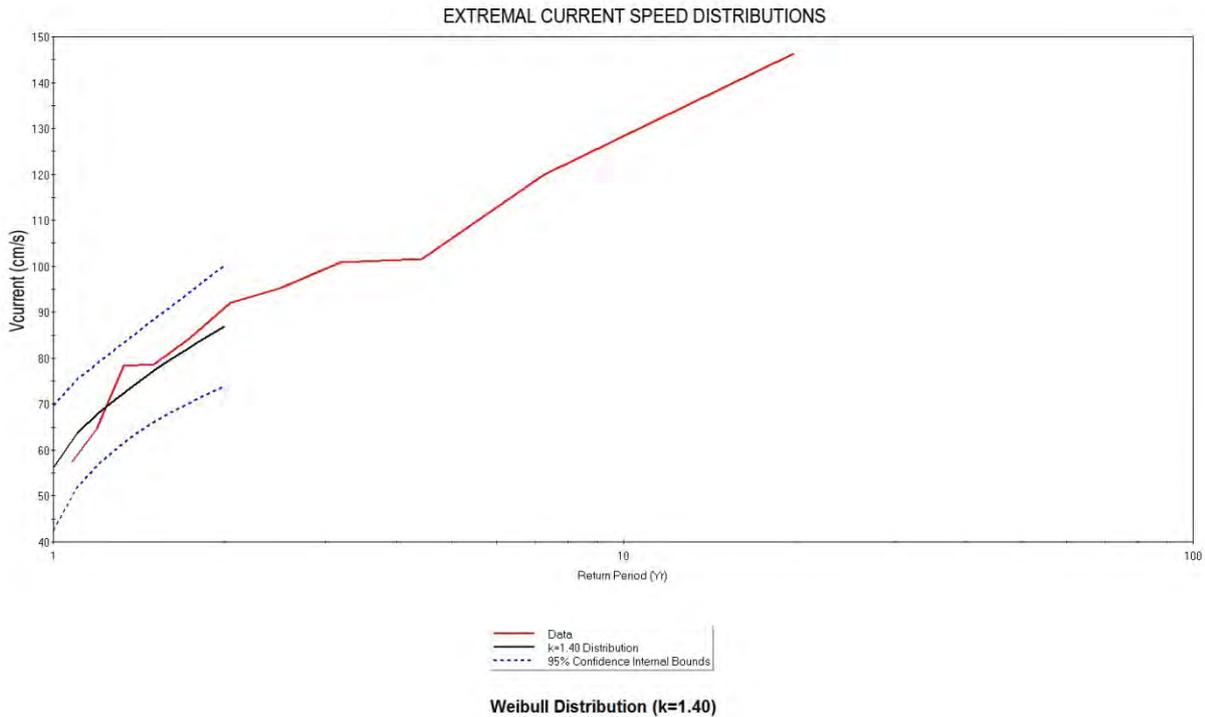
Return Period (Yr)	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0
5	93.3 - 131.9	69.2 - 140.5	81.6 - 136.9	89.6 - 135.4	94.7 - 133.6
10	102.0 - 154.5	69.0 - 180.6	87.6 - 168.3	98.5 - 159.3	104.2 - 152.1
25	112.3 - 183.7	68.1 - 240.5	95.0 - 210.4	108.9 - 188.3	114.5 - 173.0
50	119.8 - 205.6	67.3 - 290.1	100.5 - 242.3	116.0 - 208.8	121.3 - 186.9
73	123.9 - 217.5	66.7 - 318.5	103.4 - 259.8	119.7 - 219.6	124.7 - 194.1
100	127.2 - 227.3	66.3 - 342.8	105.8 - 274.4	122.7 - 228.4	127.4 - 199.7

Percent chance for Hourly Averaged Current Speed equalling or exceeding return period

Return Period (Yr)	Period of concern (Yr)					
	2	5	10	25	50	73
2	75	97	100	100	100	100
5	36	67	89	100	100	100
10	19	41	65	93	99	100
25	8	18	34	64	87	95
50	4	10	18	40	64	77
73	3	7	13	29	50	63
100	2	5	10	22	39	52



איור מס' 3.25 פרוס Fisher-Tippet, רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 4 מ' מתחת לפי הים מול אשדוד



**איור מס' 3.26 - פרוס וויבול, מקדם חזקה  $k=1.40$ , רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 4 מ' מתחת לפי הים מול אשדוד**

**3.3.3 אומדן של משטר הזרמים הרב שנתי מול אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 4- מ' מפני הים**

בעמודים הבאים מוצגת בטבלה ובצורה גרפית באיורים מס' 3.27 עד 3.29 התוצאות של השכיחות השולית של המהירות והכיוון של הזרמים בחלוקה שנתית ועונתית ושל השכיחות המשותפת השנתית שלהם, שהתקבלו עבור התקופה אפריל 2004-מרץ 2015 בעומק 4- מ' מפני הים, על קו עומק 27- מ' מול אשדוד. התוצאות מציגות בטבלה מס' 3-17 את ערכי השכיחות השנתית הממוצעת המשותפת של מהירות הזרם השעתי הממוצע והכיוון הממוצע השעתי של הזרם, וכן השכיחות השולית של המהירות ושל הכיוון בחלוקה שנתית. בנספח 1.3.2 מוצג כל המידע השנתי הנ"ל וכן טבלאות וגרפים לעונת הקיץ ולעונת החורף. בטבלה מס' 3-2 מוצג חישוב ערכו של מקדם התיקון של ערכי השכיחות, לפיצוי על מדידות חסרות.

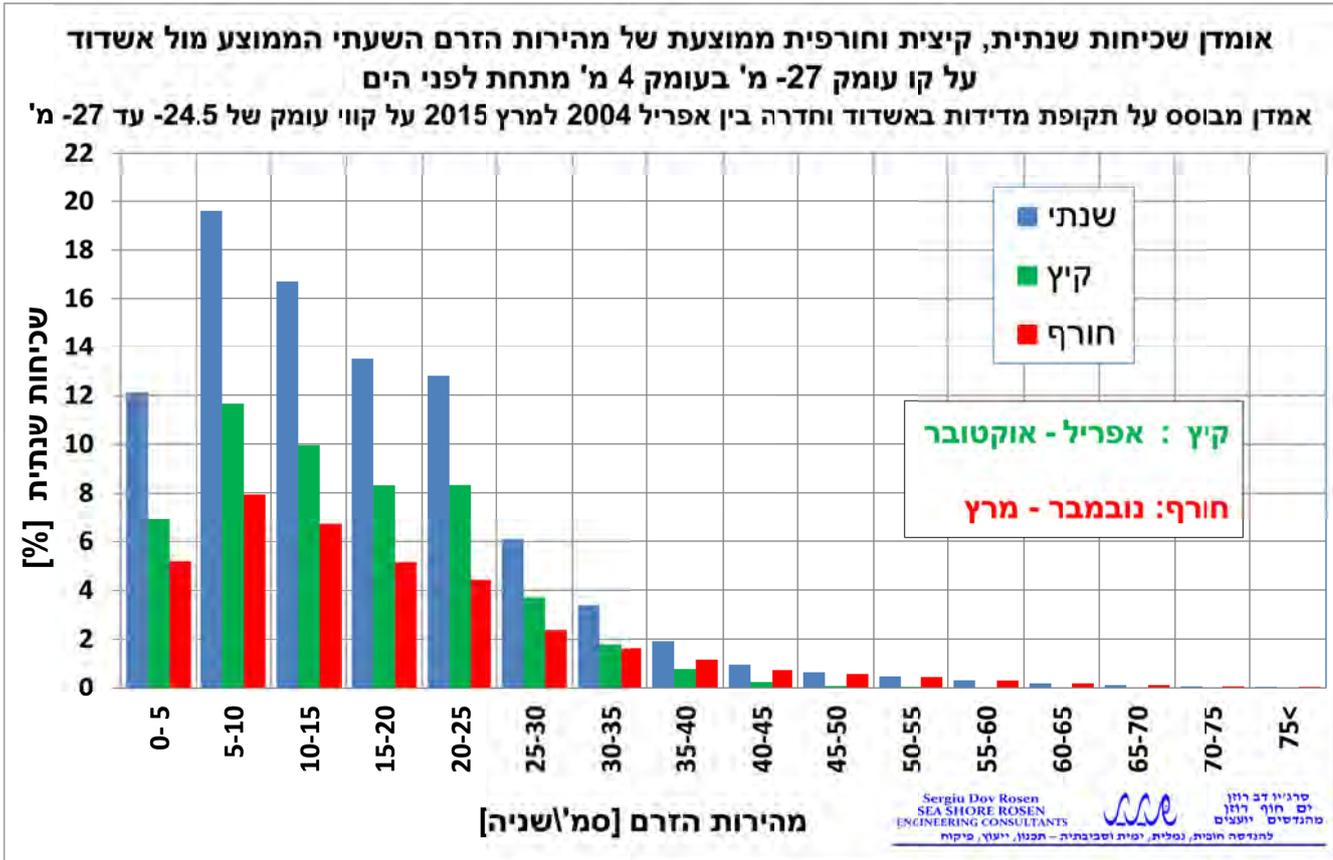
טבלה מס' 3-17

אמדן שכיחות משותפת ממוצעת שנתית של המהירות וכיוון הזרם השעתי הממוצע מול צפון אשדוד על קו שומק 27-מ', בעומק 4 מ' מחמת לפני הים האמדן מבוסס על תקופת מדידות באשדוד וחזרה בין אפריל 2004 למרץ 2015 על קווי שומקה של 24.5- עד 27-מ'

מרחק כיוון אירומת (מטרות)	-11.25		11.25		33.75		56.25		78.75		101.25		123.75		146.25		168.75		191.25		213.75		236.25		258.75		281.25		303.75		326.25		סכום שכיחויות (%)	סכום שכיחויות מתוקן (%)		
	11.25	33.75	56.25	78.75	101.25	123.75	146.25	168.75	191.25	213.75	236.25	258.75	281.25	303.75	326.25	348.75	371.25	393.75	416.25	438.75	461.25	483.75	506.25	528.75	551.25	573.75	596.25	618.75	641.25	663.75						
V(m/s) \ Average Direction Az (deg)	0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5	360	382.5	405	427.5	450	472.5	495	517.5	540	562.5	585	607.5	630	652.5	675	697.5	720			
0-5	1.10	1.17	1.13	0.86	0.78	0.61	0.66	0.69	0.88	1.02	0.98	0.76	0.69	0.66	0.78	0.87	13.64	12.119																		
5-10	2.83	3.74	2.09	0.97	0.65	0.41	0.53	0.67	1.51	2.34	2.01	0.85	0.52	0.49	0.90	1.55	22.05	19.593																		
10-15	3.89	4.97	1.73	0.40	0.14	0.07	0.11	0.27	1.01	2.66	1.96	0.38	0.07	0.07	0.17	0.90	18.78	16.690																		
15-20	4.04	5.13	1.06	0.10	0.01	0.01	0.01	0.06	0.60	1.97	1.66	0.15	0.01	0.01	0.01	0.34	15.18	13.490																		
20-25	3.02	8.16	0.55	0.02	0.01	0	0	0.01	0.24	1.27	0.90	0.08	0	0	0.01	0.12	14.39	12.786																		
25-30	1.74	3.41	0.28	0.01	0	0	0	0	0.10	0.72	0.55	0.02	0	0	0	0.03	6.85	6.091																		
30-35	0.81	2.19	0.14	0	0	0	0	0	0.02	0.36	0.29	0.00	0	0	0	0.01	3.82	3.399																		
35-40	0.38	1.35	0.08	0	0	0	0	0	0.00	0.19	0.15	0.01	0	0	0	0.00	2.15	1.911																		
40-45	0.16	0.75	0.04	0	0	0	0	0	0.00	0.08	0.04	0	0	0	0	0	1.07	0.953																		
45-50	0.11	0.54	0.02	0	0	0	0	0	0	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0.71	0.634																		
50-55	0.07	0.42	0.01	0	0	0	0	0	0	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0.52	0.465																		
55-60	0.07	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0.35	0.309																		
60-65	0.03	0.17	0.00	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0.21	0.187																		
65-70	0.02	0.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.13	0.117																		
70-75	0.01	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.07	0.062																		
75<	0.02	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0.045																		
סכום שכיחויות (%)	18.31	32.47	7.13	2.35	1.58	1.11	1.30	1.70	4.37	10.67	8.56	2.25	1.29	1.22	1.86	3.82	100.00																			
סכום שכיחויות מתוקן (%)	16.267	28.851	6.339	2.087	1.406	0.983	1.159	1.508	3.879	9.477	7.606	2.003	1.144	1.085	1.657	3.399	88.858																			

מקדם תיקון עבור מדידות חסרות = 0.8886

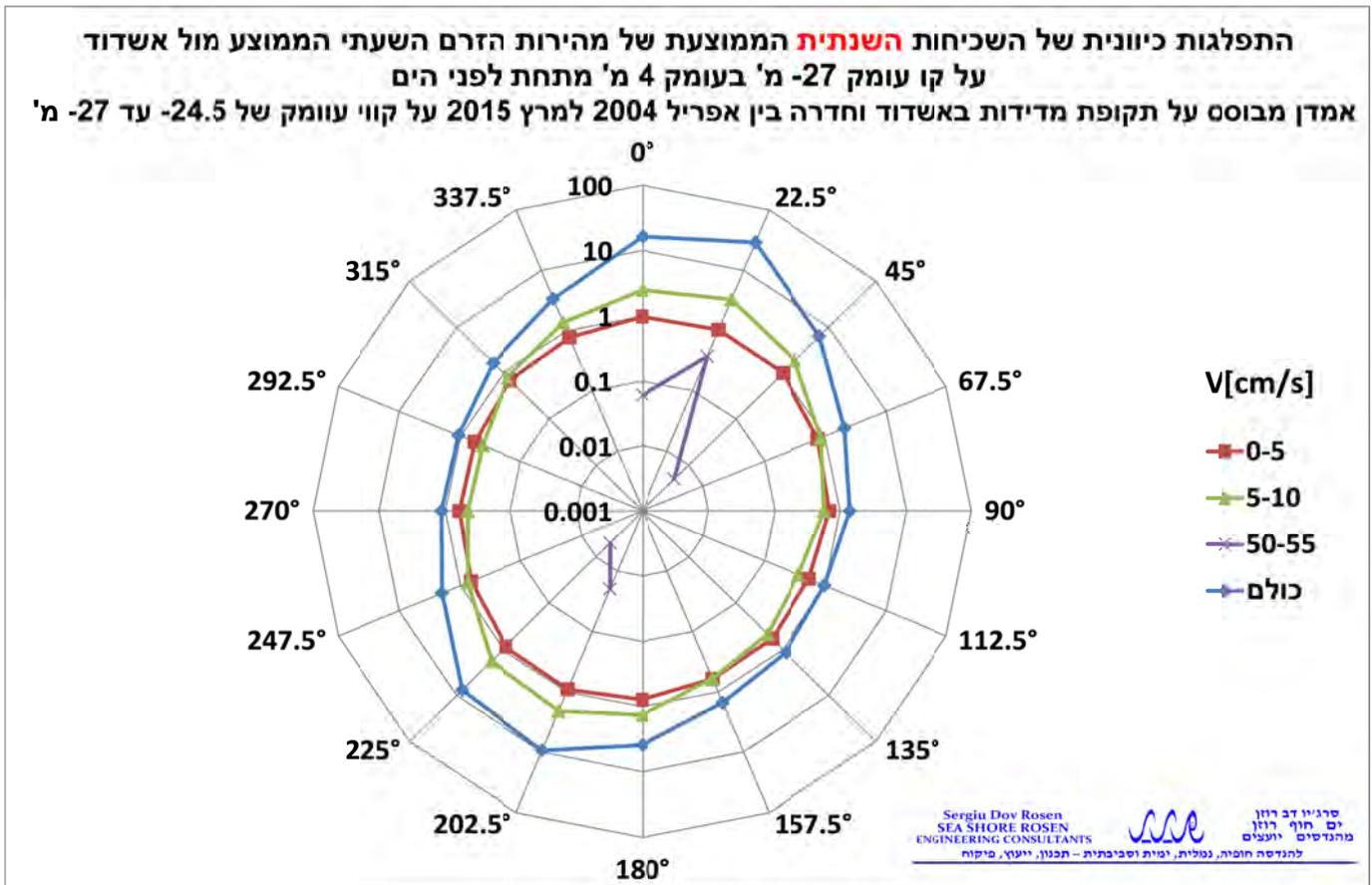
Sergio Dov Rosen  
SEAShore ROSEN  
ENGINEERING CONSULTANTS  
תרגום  
יוזף רוזן  
מתמטיקה וקניין  
לתיאור תוכן המידע - תאריך: 15.05.2015



איור מס' 3-27



איור מס' 3-28



איור מס' 3-29

3.3.4 אומדן של משטר הזרמים במצבי קיצון נדירים מול אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 11- מ' מפני הים

נתוני הזרמים בעומק 11- מ' מתחת לפני הים, על קו עומק 27- מ', חולקו לפי שנים הידרוגרפיות, ובכל שנה אותרו הערכים השנתיים הגבוהים ביותר. ערכים אלה שימשו תשומה לבדיקת התאמתם ל-5 פונקציות הסתברות של הערכים הנדירים (ערכי הקיצון) עבור תקופות חזרה שונות. ריכוז התוצאות שהתקבלו מוצגים בטבלה 3-18 להלן, וכלל התוצאות לקבלת אומדן ערכי קיצון לתקופות חזרה ממוצעות שונות של מהירות זרם מרבי בעומק 11- מ' מתחת לפני הים על קו עומק 27- מ' מול אשדוד מוצגות בנספח 1.3.3.

על בסיס התוצאות בטבלה 3-18 מסתבר כי התקבלו שלושה פרוסים בעלי מקדמי הקורלציה הגבוהים ביותר (זהים) ובעלי אותן סטיית תקן והם: פרוס Fisher-Tippet I, ופרוסי Weibull עם חזקה 1.0 ועם חזקה 1.4. לכן במקרה זה ניתן לבחור בערכים של המהירות של הזרם  $V_{c,max}$  עבור תקופות החזרה השונות שהתקבלו מכל אחד משלושת הפרוסים או למצע את הערכים לכל תקופת חזרה שבטבלה 3-18. התאמת פרוס Fisher-Tippet I ושני פרוסי Weibull הנ"ל לנתוני המדידות השנתיות המרביות מוצגות באיורים מס' 3.30 עד 3.32 בהתאמה.

טבלה מס' 18-3 ערכי קיצון של מהירות הזרם בעומק 11- מ' על קו עומק 27- מ' לפי 5 פרוסים שונים מול אשדוד

Case: EXTREMAL CURRENT STATISTICS

Hourly Averaged Current Speed Analysis Offshore Ashdod, 11m below sea surface on 27m depth contour

N:	11	NU:	1
NT:	11	K:	11
Lambda:	1.00	Mean:	90.81
Standard deviation:	21.65		

Weibull Distribution

	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0
Correlation:	0.99	0.98	0.99	0.99	0.98
Sum square of residuals:	0.03	0.07	0.03	0.03	0.04

Return Period (Yr)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)
2	87.63	82.19	83.67	85.93	88.22
5	107.98	101.59	105.30	107.96	109.23
10	121.45	119.20	121.66	122.16	121.21
25	138.48	145.30	143.29	139.17	134.55
50	151.11	166.82	159.65	151.11	143.40
73	157.96	179.13	168.58	157.38	147.90
100	163.65	189.65	176.01	162.47	151.50

WARNING: RETURN PERIODS > 33 Yrs May Not Be Meaningful.

95% Confidence Interval (Lower Bound - Upper Bound)

Units: cm/s

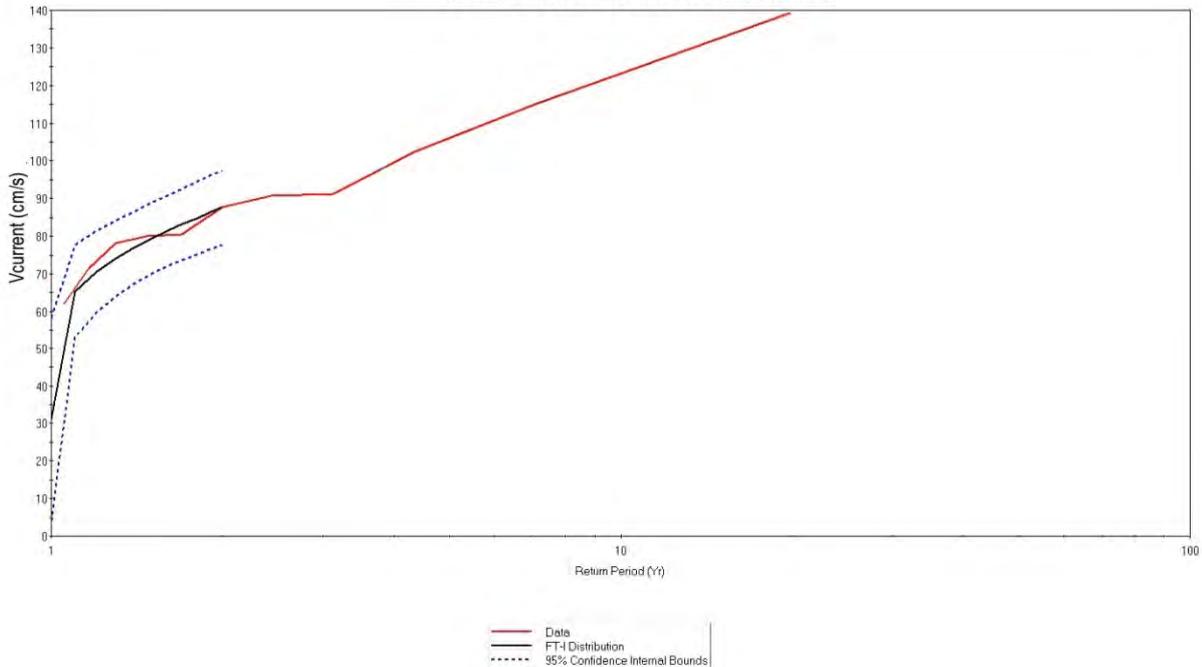
Weibull Distribution

Return Period (Yr)	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0
5	91.3 - 124.6	70.8 - 132.4	81.4 - 129.2	88.2 - 127.7	92.4 - 126.0
10	98.8 - 144.1	71.0 - 167.4	86.8 - 156.5	95.9 - 148.4	100.5 - 141.9
25	107.7 - 169.3	70.9 - 219.7	93.5 - 193.1	104.9 - 173.5	109.3 - 159.8
50	114.1 - 188.1	70.6 - 263.1	98.4 - 220.9	111.0 - 191.2	115.0 - 171.8
73	117.5 - 198.4	70.4 - 287.9	101.0 - 236.1	114.3 - 200.5	117.9 - 177.9
100	120.4 - 206.9	70.2 - 309.1	103.2 - 248.8	116.9 - 208.1	120.3 - 182.7

Percent chance for Hourly Averaged Current Speed equalling or exceeding return period

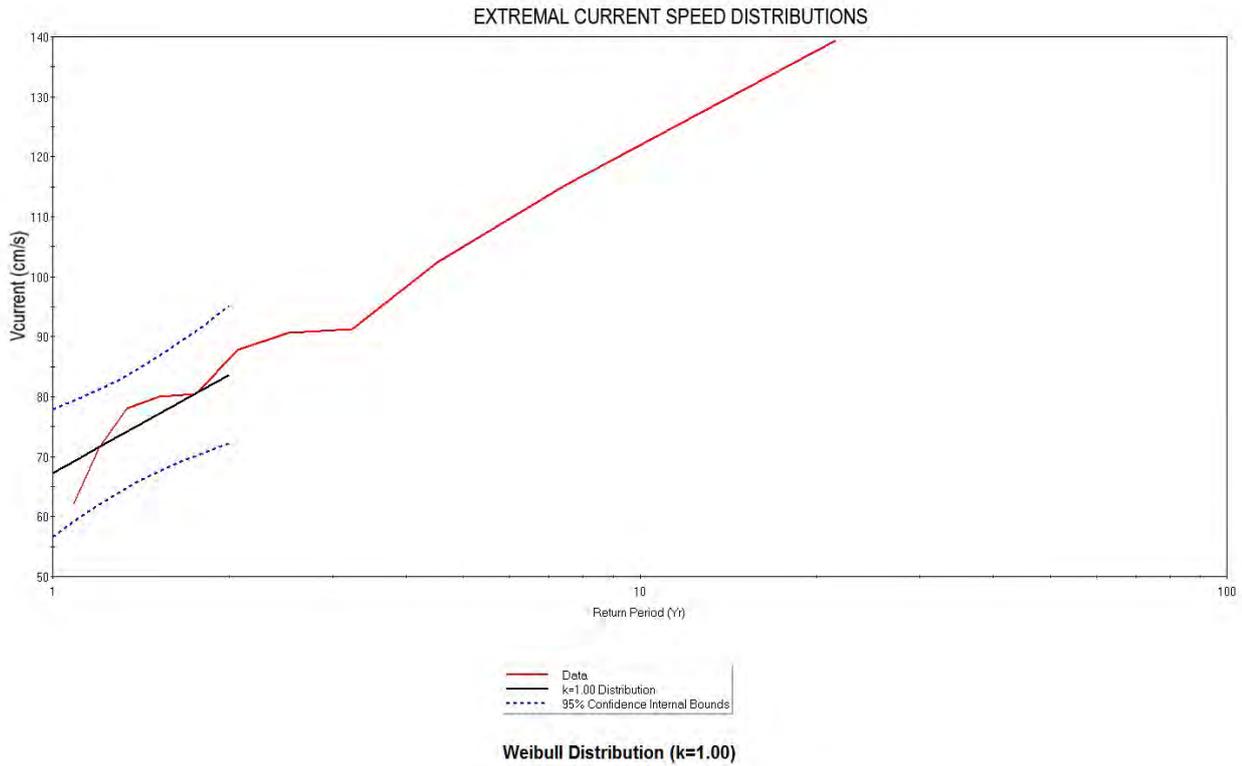
Return Period (Yr)	Period of concern (Yr)					
	2	5	10	25	50	73
2	75	97	100	100	100	100
5	36	67	89	100	100	100
10	19	41	65	93	99	100
25	8	18	34	64	87	95
50	4	10	18	40	64	77
73	3	7	13	29	50	63
100	2	5	10	22	39	52

EXTREMAL CURRENT SPEED DISTRIBUTIONS

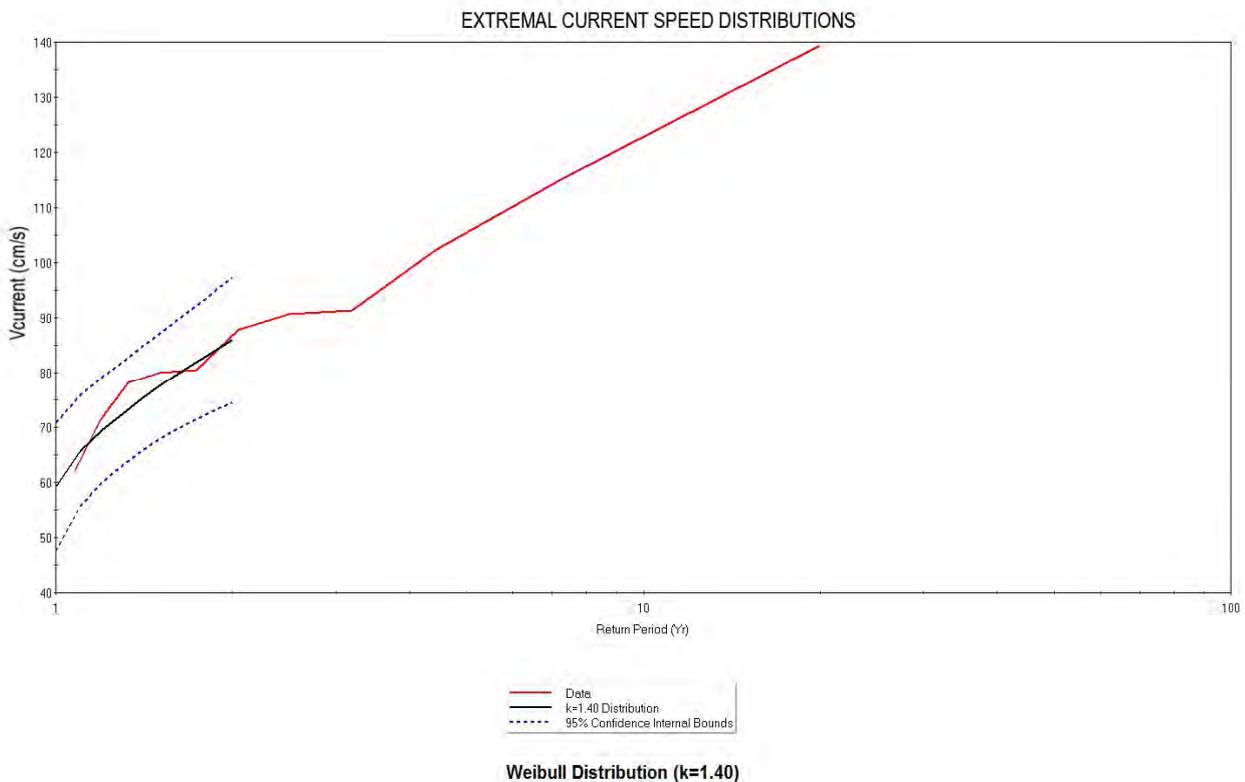


Fisher-Tippett Distribution

איור מס' 3.30 - פרוס Fisher-Tippet, רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 11 מ' מתחת לפי היס מול אשדוד



איור מס' 3.31 פרוס וויבול, מקדם חזקה  $k=1.00$ , רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 11 מ' מתחת לפי היס מול אשדוד



איור מס' 3.32 פרוס וויבול, מקדם חזקה  $k=1.40$ , רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 11 מ' מתחת לפי היס מול אשדוד

3.3.5 אומדן של משטר הזרמים הרב שנתי מול אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 11- מ' מפני הים

בעמודים הבאים מוצגת בטבלה ובצורה גרפית באיורים מס' 3.33 עד 3.35 התוצאות של השכיחות השולית של המהירות והכיוון של הזרמים בחלוקה שנתית ועונתית ושל השכיחות המשותפת השנתית שלהם, שהתקבלו עבור התקופה אפריל 2004-מרץ 2015 בעומק 11- מ' מפני הים, על קו עומק 27- מ' מול אשדוד. התוצאות מציגות בטבלה מס' 3-19 את ערכי השכיחות השנתית הממוצעת המשותפת של מהירות הזרם השעתי הממוצע ושל הכיוון הממוצע השעתי של הזרם, וכן השכיחות השוליות של המהירות ושל הכיוון בחלוקה שנתית. בנספח 1.3.4 מוצג כל המידע השנתי הנ"ל וכן טבלאות וגרפים לעונת הקיץ ולעונת החורף. בטבלה מס' 2-3 מוצג חישוב ערכו של מקדם התיקון של ערכי השכיחות, לפי צוי על מדידות חסרות.

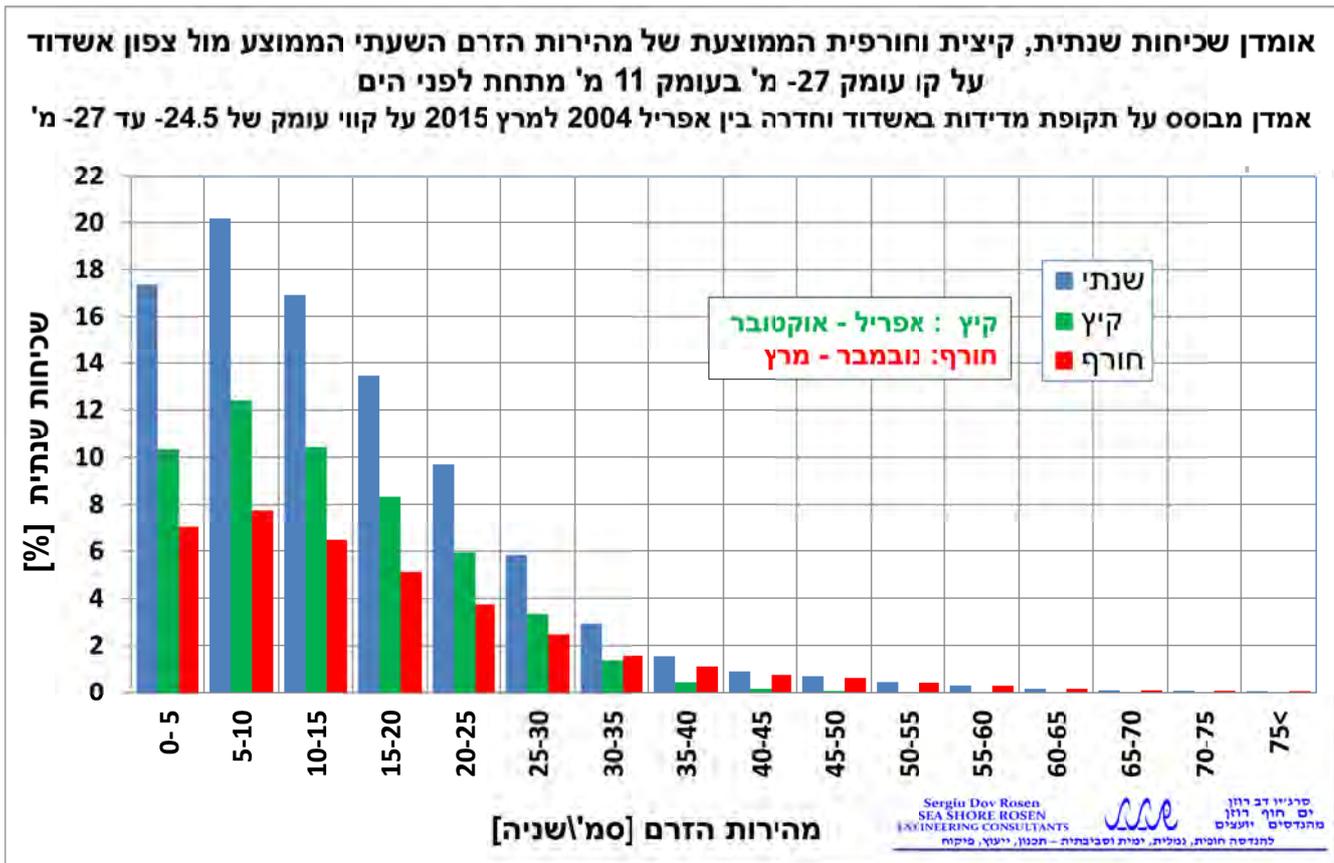


טבלה מס' 3-19

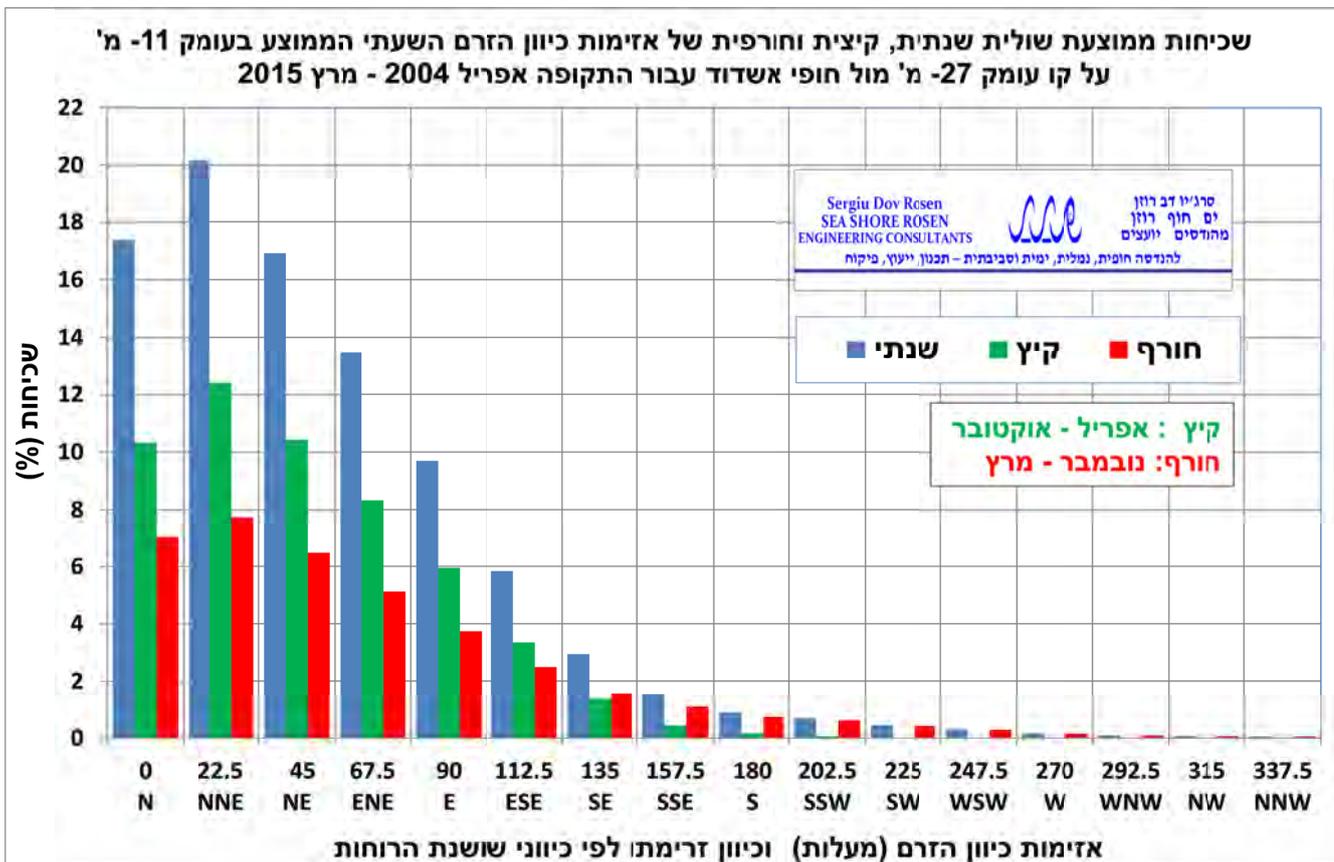
אמדן שכיחות משותפת ממוצעת שנתית של המהירות וכיוון הזרם השעתי הממוצע מול צפון אשדוד על קו עומק 27 מ', בעומק 11 מ' מתחת לפני הים האמין מבוסס על תקופת מדידות באשדוד וחדרה בין אפריל 2004 למרץ 2015 על קווי עומק של 24.5 עד 27 מ'

מרחק כיווני אומות (עולות)	מרחק כיווני אומות (עולות)																		סכום שכיחות (%)	סכום שכיחות מתוקן (%)
	-11.25	11.25	33.75	56.25	78.75	101.25	123.75	146.25	168.75	191.25	213.75	236.25	258.75	281.25	303.75	326.25	348.75			
V[cm/s] Average Direction Az (deg)	0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5	19.16	17.374		
0-5	1.84	2.27	2.00	1.34	1.01	0.90	0.99	1.15	1.59	1.48	1.13	0.75	0.61	0.49	0.69	0.92	19.16	17.374		
5-10	3.01	7.05	2.54	0.60	0.24	0.15	0.24	0.47	1.69	2.90	1.79	0.43	0.15	0.13	0.21	0.64	22.24	20.166		
10-15	2.99	8.96	1.11	0.09	0.02	0.01	0.01	0.05	0.75	2.67	1.71	0.08	0.01	0.01	0.01	0.17	18.65	16.912		
15-20	2.51	8.34	0.38	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.24	1.99	1.28	0.03	0	0	0.01	0.03	14.83	13.446		
20-25	1.62	6.72	0.13	0.00	0	0	0	0	0.08	1.22	0.90	0.01	0	0	0	0.01	10.69	9.689		
25-30	0.92	4.30	0.03	0	0	0	0	0	0.02	0.65	0.52	0.00	0	0	0	0	6.43	5.833		
30-35	0.42	2.25	0.02	0	0	0	0	0	0	0.29	0.27	0	0	0	0	0	3.24	2.940		
35-40	0.24	1.22	0	0	0	0	0	0	0	0.10	0.15	0	0	0	0	0	1.70	1.543		
40-45	0.14	0.76	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0.07	0	0	0	0	0	0.99	0.901		
45-50	0.12	0.61	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0	0	0	0	0	0.76	0.693		
50-55	0.10	0.38	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.01	0	0	0	0	0	0.50	0.449		
55-60	0.08	0.26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0.302		
60-65	0.03	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0.165		
65-70	0.01	0.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.11	0.102		
70-75	0.02	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0.076		
75<	0.03	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.07	0.061		
סכום שכיחות (%)	14.09	43.46	6.20	2.04	1.28	1.06	1.24	1.68	4.36	11.34	7.85	1.29	0.77	0.63	0.92	1.76	100.00			
סכום שכיחות מתוקן (%)	12.776	39.403	5.625	1.853	1.158	0.962	1.127	1.526	3.952	10.281	7.121	1.170	0.696	0.571	0.833	1.599		90.661		

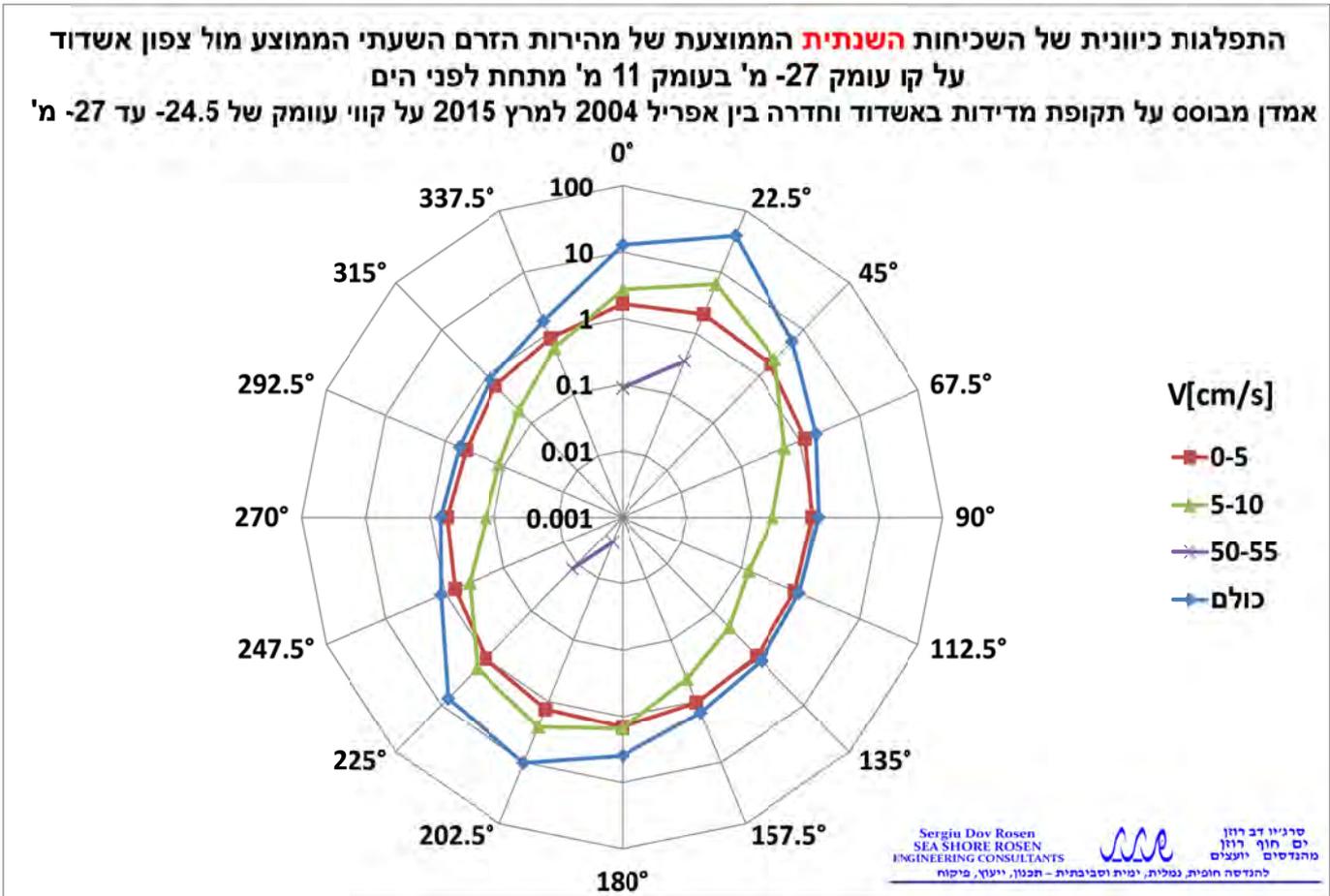
מקדם תיקון עבור מדידות חסרות = 0.9066



איור מס' 3.33



איור מס' 3.34



איור מס' 3.35

3.3.6 אומדן של משטר הזרמים במצבי קיצון נדירים מול אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 22- מ' מפני הים

נתוני הזרמים בעומק 22- מ' מתחת לפני הים, על קו עומק 27- מ', חולקו לפי שנים הידרוגרפיות, ובכל שנה אותרו הערכים השנתיים הגבוהים ביותר. ערכים אלה שימשו תשומה לבדיקת התאמתם ל-5 פונקציות הסתברות של הערכים הנדירים (ערכי הקיצון) עבור תקופות חזרה שונות. ריכוז התוצאות שהתקבלו מוצגים בטבלה מס' 3-20 להלן, וכלל התוצאות לקבלת אומדן ערכי קיצון לתקופות חזרה ממוצעות שונות של מהירות זרם מרבי בעומק 22- מ' מתחת לפני הים על קו עומק 27- מ' מול אשדוד מוצגות בנספח 1.3.5.

על בסיס התוצאות בטבלה 3-20 ומאחר שמקדם הקורלציה הגבוהה ביותר וסטיית התקן הקטנה ביותר (square sum of residuals) התקבלו זהים עבור פרוס Fisher Tippet I ועבור פרוס Weibull עם חזקה 2.0, נבחר את ממוצעי ערכי הקיצון של שני פרוסים אלה עבור מהירויות של הזרם  $V_{c,max}$  עבור תקופות החזרה השונות. התאמת פרוס Fisher Tippet I לנתוני המדידות השנתיות המרביות מוצגת באיור מס' 3.36 ועבור פרוס Weibull עם חזקה 2.0 באיור 3.37.

טבלה מס' 20-3 ערכי קיצון של מהירות הזרם בעומק 22- מ' על קו עומק 27- מ' לפי 5 פרוסים שונים מול אשדוד

Case: EXTREMAL CURRENT STATISTICS

Hourly Averaged Current Speed Analysis Offshore Ashdod, 22m below sea surface on 27m depth contour

N:	11	NU:	1
NT:	11	K:	11
Lambda:	1.00	Mean:	76.37
Standard deviation:	17.10		

	FT-I	Weibull Distribution			
		k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0
Correlation:	0.99	0.94	0.97	0.99	0.99
Sum square of residuals:	0.01	0.09	0.06	0.02	0.01

Return Period (Yr)	Vc(cm/s)	Vc(cm/s)	Vc(cm/s)	Vc(cm/s)	Vc(cm/s)
2	73.85	69.82	70.84	72.51	74.29
5	89.99	84.58	87.62	89.93	91.15
10	100.68	97.96	100.31	101.16	100.77
25	114.18	117.82	117.09	114.61	111.47
50	124.20	134.19	129.78	124.06	118.58
73	129.63	143.55	136.71	129.01	122.19
100	134.14	151.55	142.48	133.03	125.07

WARNING: RETURN PERIODS > 33 Yrs May Not Be Meaningful.

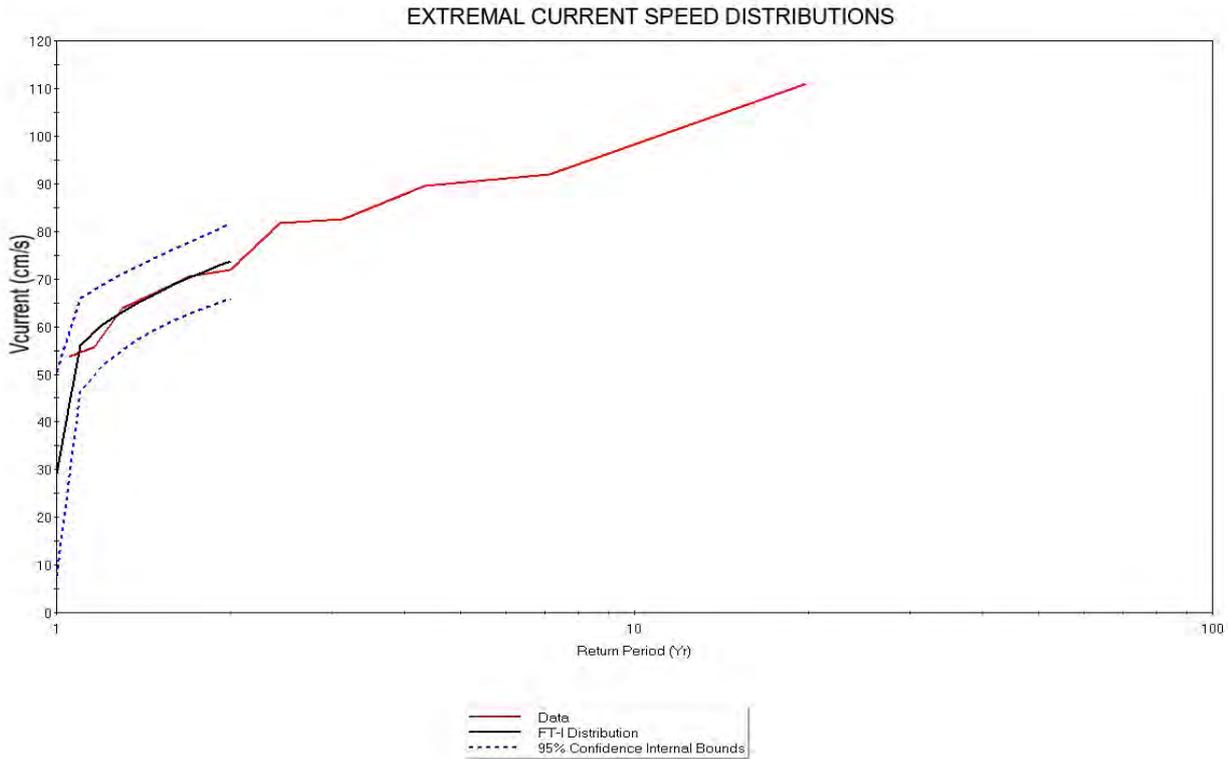
95% Confidence Interval (Lower Bound - Upper Bound)

Units: cm/s

Return Period (Yr)	FT-I	Weibull Distribution			
		k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0
5	76.8 - 103.2	60.3 - 108.9	68.8 - 106.5	74.3 - 105.6	77.9 - 104.4
10	82.8 - 118.6	59.9 - 136.0	72.8 - 127.8	80.4 - 121.9	84.4 - 117.1
25	89.8 - 138.5	59.0 - 176.6	77.7 - 156.4	87.5 - 141.7	91.5 - 131.4
50	95.0 - 153.4	58.2 - 210.2	81.4 - 178.2	92.4 - 155.7	96.2 - 141.0
73	97.7 - 161.6	57.7 - 229.5	83.4 - 190.1	94.9 - 163.1	98.5 - 145.9
100	100.0 - 168.3	57.2 - 245.9	85.0 - 200.0	97.0 - 169.1	100.4 - 149.8

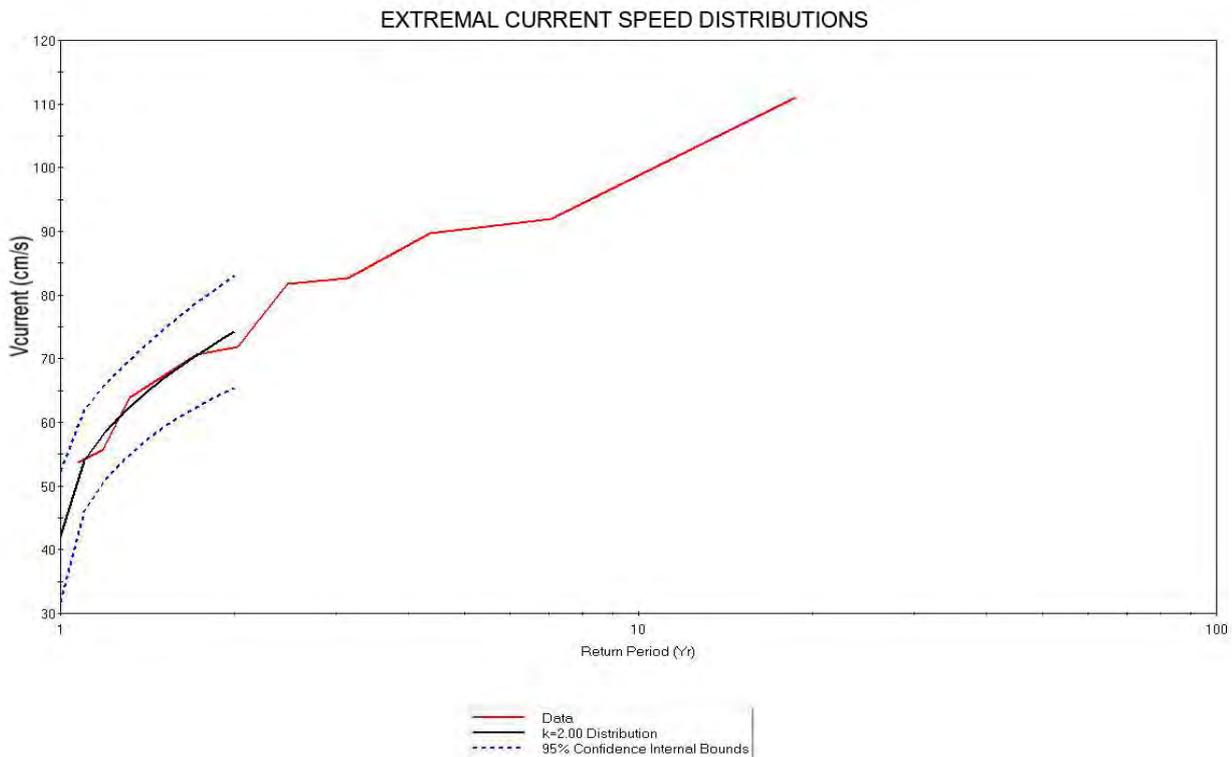
Percent chance for Hourly Averaged Current Speed equalling or exceeding return period

Return Period (Yr)	Period of concern (Yr)					
	2	5	10	25	50	73
2	75	97	100	100	100	100
5	36	67	89	100	100	100
10	19	41	65	93	99	100
25	8	18	34	64	87	95
50	4	10	18	40	64	77
73	3	7	13	29	50	63
100	2	5	10	22	39	52



Fisher-Tippett Distribution

איור מס' 3.36 רוס Fisher-Tippet, רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 22 מ' מתחת לפי היס מול אשדוד



Weibull Distribution (k=2.00)

איור מס' 3.37 פרוס וויבול, מקדם חזקה  $k=2.00$ , רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 22 מ' מתחת לפי היס מול אשדוד

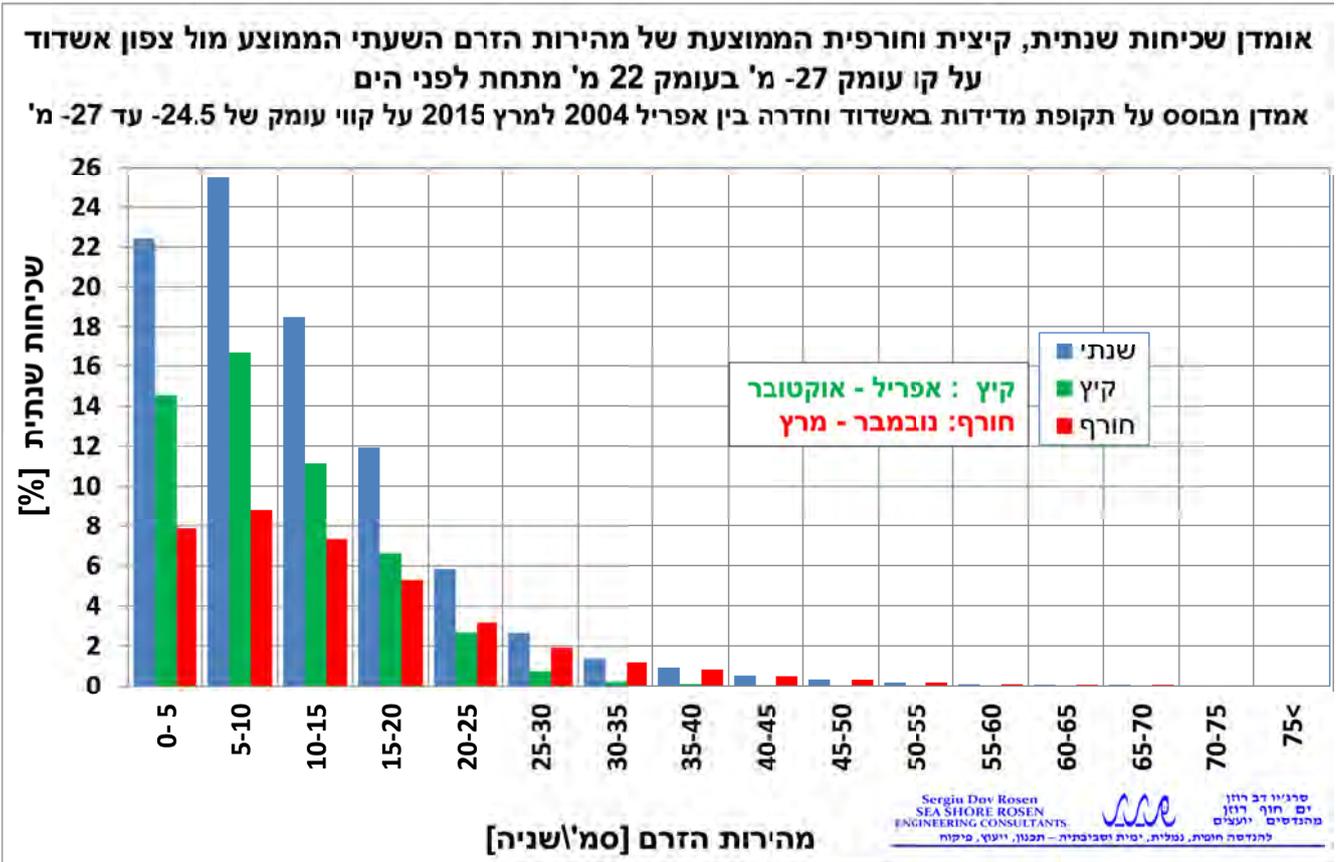
3.3.7 אומדן של משטר הזרמים הרב שנתי מול אשדוד על קו עומק 27- מ' בעומק 22- מ' מפני הים

בעמודים הבאים מוצגת בטבלה ובצורה גרפית באיורים מס' 3.38 עד 3.40 התוצאות של השכיחות השולית של המהירות והכיוון של הזרמים בחלוקה שנתית ועונתית ושל השכיחות המשותפת השנתית שלהם, שהתקבלו עבור התקופה אפריל 2004-מרץ 2015 בעומק 11- מ' מפני הים, על קו עומק 27- מ' מול אשדוד. התוצאות מציגות בטבלה מס' 3-21 את ערכי השכיחות השנתית הממוצעת המשותפת של מהירות הזרם השעתי הממוצע ושל הכיוון הממוצע השעתי של הזרם, וכן השכיחות השולית של המהירות ושל הכיוון בחלוקה שנתית. בנספח 1.3.6 מוצג כל המידע השנתי הנ"ל וכן טבלאות וגרפים לעונת הקיץ ולעונת החורף. בטבלה מס' 3-2 מוצג חישוב ערכו של מקדם התיקון של ערכי השכיחות, לפי צוי על מדידות חסרות.

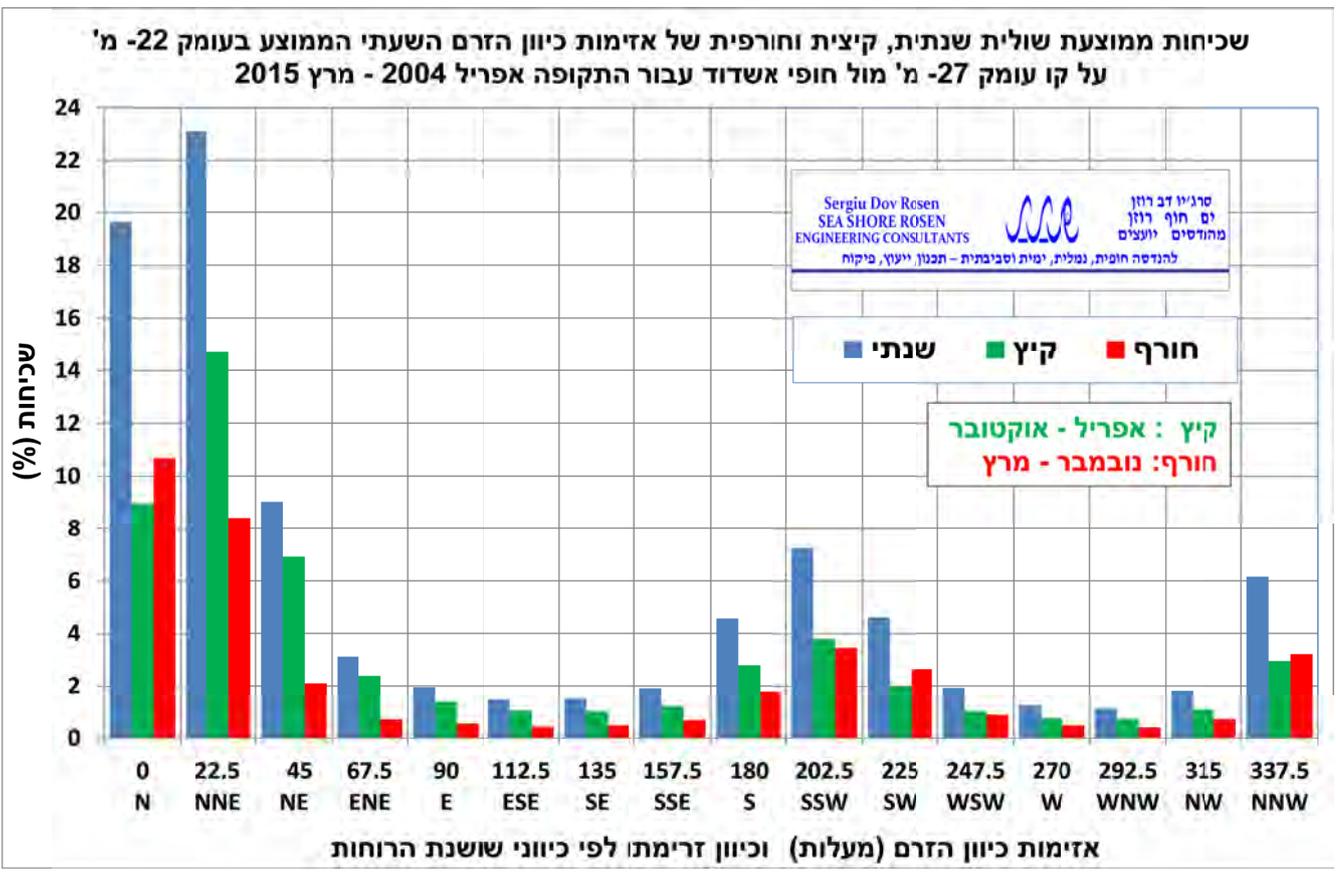
טבלה מס' 21-3

אמדן שכיחות משותפת ממוצעת שנתית של המהירות וכיוון הזרם השעתי הממוצע מול צפון אשדוד על קו עומק מ' 40, בעומק מ' 22 מתחת לפני הים האמדן מבוסס על תקופת מדידות באשדוד וחדרה בין אפריל 2004 למרץ 2015 על קווי עומק של 24.5 עד 27 מ'.

מרחק כיווני ארמונות (מעלות)	מרחק כיווני ארמונות (מעלות)																סכום שכיחויות (%)	סכום מתוקן (%)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	-11.25	11.25	33.75	56.25	78.75	101.25	123.75	146.25	168.75	191.25	213.75	236.25	258.75	281.25	303.75	326.25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
V[cm/s] \ Average Direction Az (deg)	0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5	360	382.5	405	427.5	450	472.5	495	517.5	540	562.5	585	607.5	630	652.5	675	697.5	720	742.5	765	787.5	810	832.5	855	877.5	900	922.5	945	967.5	990	1012.5	1035	1057.5	1080	1102.5	1125	1147.5	1170	1192.5	1215	1237.5	1260	1282.5	1305	1327.5	1350	1372.5	1395	1417.5	1440	1462.5	1485	1507.5	1530	1552.5	1575	1597.5	1620	1642.5	1665	1687.5	1710	1732.5	1755	1777.5	1800	1822.5	1845	1867.5	1890	1912.5	1935	1957.5	1980	2002.5	2025	2047.5	2070	2092.5	2115	2137.5	2160	2182.5	2205	2227.5	2250	2272.5	2295	2317.5	2340	2362.5	2385	2407.5	2430	2452.5	2475	2497.5	2520	2542.5	2565	2587.5	2610	2632.5	2655	2677.5	2700	2722.5	2745	2767.5	2790	2812.5	2835	2857.5	2880	2902.5	2925	2947.5	2970	2992.5	3015	3037.5	3060	3082.5	3105	3127.5	3150	3172.5	3195	3217.5	3240	3262.5	3285	3307.5	3330	3352.5	3375	3397.5	3420	3442.5	3465	3487.5	3510	3532.5	3555	3577.5	3600	3622.5	3645	3667.5	3690	3712.5	3735	3757.5	3780	3802.5	3825	3847.5	3870	3892.5	3915	3937.5	3960	3982.5	4005	4027.5	4050	4072.5	4095	4117.5	4140	4162.5	4185	4207.5	4230	4252.5	4275	4297.5	4320	4342.5	4365	4387.5	4410	4432.5	4455	4477.5	4500	4522.5	4545	4567.5	4590	4612.5	4635	4657.5	4680	4702.5	4725	4747.5	4770	4792.5	4815	4837.5	4860	4882.5	4905	4927.5	4950	4972.5	4995	5017.5	5040	5062.5	5085	5107.5	5130	5152.5	5175	5197.5	5220	5242.5	5265	5287.5	5310	5332.5	5355	5377.5	5400	5422.5	5445	5467.5	5490	5512.5	5535	5557.5	5580	5602.5	5625	5647.5	5670	5692.5	5715	5737.5	5760	5782.5	5805	5827.5	5850	5872.5	5895	5917.5	5940	5962.5	5985	6007.5	6030	6052.5	6075	6097.5	6120	6142.5	6165	6187.5	6210	6232.5	6255	6277.5	6300	6322.5	6345	6367.5	6390	6412.5	6435	6457.5	6480	6502.5	6525	6547.5	6570	6592.5	6615	6637.5	6660	6682.5	6705	6727.5	6750	6772.5	6795	6817.5	6840	6862.5	6885	6907.5	6930	6952.5	6975	6997.5	7020	7042.5	7065	7087.5	7110	7132.5	7155	7177.5	7200	7222.5	7245	7267.5	7290	7312.5	7335	7357.5	7380	7402.5	7425	7447.5	7470	7492.5	7515	7537.5	7560	7582.5	7605	7627.5	7650	7672.5	7695	7717.5	7740	7762.5	7785	7807.5	7830	7852.5	7875	7897.5	7920	7942.5	7965	7987.5	8010	8032.5	8055	8077.5	8100	8122.5	8145	8167.5	8190	8212.5	8235	8257.5	8280	8302.5	8325	8347.5	8370	8392.5	8415	8437.5	8460	8482.5	8505	8527.5	8550	8572.5	8595	8617.5	8640	8662.5	8685	8707.5	8730	8752.5	8775	8797.5	8820	8842.5	8865	8887.5	8910	8932.5	8955	8977.5	9000	9022.5	9045	9067.5	9090	9112.5	9135	9157.5	9180	9202.5	9225	9247.5	9270	9292.5	9315	9337.5	9360	9382.5	9405	9427.5	9450	9472.5	9495	9517.5	9540	9562.5	9585	9607.5	9630	9652.5	9675	9697.5	9720	9742.5	9765	9787.5	9810	9832.5	9855	9877.5	9900	9922.5	9945	9967.5	9990	10012.5	10035	10057.5	10080	10102.5	10125	10147.5	10170	10192.5	10215	10237.5	10260	10282.5	10305	10327.5	10350	10372.5	10395	10417.5	10440	10462.5	10485	10507.5	10530	10552.5	10575	10600	10625	10650	10675	10700	10725	10750	10775	10800	10825	10850	10875	10900	10925	10950	10975	11000	11025	11050	11075	11100	11125	11150	11175	11200	11225	11250	11275	11300	11325	11350	11375	11400	11425	11450	11475	11500	11525	11550	11575	11600	11625	11650	11675	11700	11725	11750	11775	11800	11825	11850	11875	11900	11925	11950	11975	12000	12025	12050	12075	12100	12125	12150	12175	12200	12225	12250	12275	12300	12325	12350	12375	12400	12425	12450	12475	12500	12525	12550	12575	12600	12625	12650	12675	12700	12725	12750	12775	12800	12825	12850	12875	12900	12925	12950	12975	13000	13025	13050	13075	13100	13125	13150	13175	13200	13225	13250	13275	13300	13325	13350	13375	13400	13425	13450	13475	13500	13525	13550	13575	13600	13625	13650	13675	13700	13725	13750	13775	13800	13825	13850	13875	13900	13925	13950	13975	14000	14025	14050	14075	14100	14125	14150	14175	14200	14225	14250	14275	14300	14325	14350	14375	14400	14425	14450	14475	14500	14525	14550	14575	14600	14625	14650	14675	14700	14725	14750	14775	14800	14825	14850	14875	14900	14925	14950	14975	15000	15025	15050	15075	15100	15125	15150	15175	15200	15225	15250	15275	15300	15325	15350	15375	15400	15425	15450	15475	15500	15525	15550	15575	15600	15625	15650	15675	15700	15725	15750	15775	15800	15825	15850	15875	15900	15925	15950	15975	16000	16025	16050	16075	16100	16125	16150	16175	16200	16225	16250	16275	16300	16325	16350	16375	16400	16425	16450	16475	16500	16525	16550	16575	16600	16625	16650	16675	16700	16725	16750	16775	16800	16825	16850	16875	16900	16925	16950	16975	17000	17025	17050	17075	17100	17125	17150	17175	17200	17225	17250	17275	17300	17325	17350	17375	17400	17425	17450	17475	17500	17525	17550	17575	17600	17625	17650	17675	17700	17725	17750	17775	17800	17825	17850	17875	17900	17925	17950	17975	18000	18025	18050	18075	18100	18125	18150	18175	18200	18225	18250	18275	18300	18325	18350	18375	18400	18425	18450	18475	18500	18525	18550	18575	18600	18625	18650	18675	18700	18725	18750	18775	18800	18825	18850	18875	18900	18925	18950	18975	19000	19025	19050	19075	19100	19125	19150	19175	19200	19225	19250	19275	19300	19325	19350	19375	19400	19425	19450	19475	19500	19525	19550	19575	19600	19625	19650	19675	19700	19725	19750	19775	19800	19825	19850	19875	19900	19925	19950	19975	20000	20025	20050	20075	20100	20125	20150	20175	20200	20225	20250	20275	20300	20325	20350	20375	20400	20425	20450	20475	20500	20525	20550	20575	20600	20625	20650	20675	20700	20725	20750	20775	20800	20825	20850	20875	20900	20925	20950	20975	21000	21025	21050	21075	21100	21125	21150	21175	21200	21225	21250	21275	21300	21325	21350	21375	21400	21425	21450	21475	21500	21525	21550	21575	21600	21625	21650	21675	21700	21725	21750	21775	21800	21825	21850	21875	21900	21925	21950	21975	22000	22025	22050	22075	22100	22125	22150	22175	22200	22225	22250	22275	22300	22325	22350	22375	22400	22425	22450	22475	22500	22525	22550	22575	22600	22625	22650	22675	22700	22725	22750	22775	22800	22825	22850	22875	22900	22925	22950	22975	23000	23025	23050	23075	23100	23125	23150	23175	23200	23225	23250	23275	23300	23325	23350	23375	23400	23425	23450	23475	23500	23525	23550	23575	23600	23625	23650	23675	23700	23725	23750	23775	23800	23825	23850	23875	23900	23925	23950	23975	24000	24025	24050	24075	24100	24125	24150	24175	24200	24225	24250	24275	24300	24325	24350	24375	24400	24425	24450	24475	24500	24525	24550	24575	24600	24625	24650	24675	24700	24725	24750	24775	24800	24825	24850	24875	24900	24925	24950	24975	25000	25025	25050	25075	25100	25125	25150	25175	25200	25225	25250	25275	25300	25325	25350	25375	25400	25425	25450	25475	25500	25525	

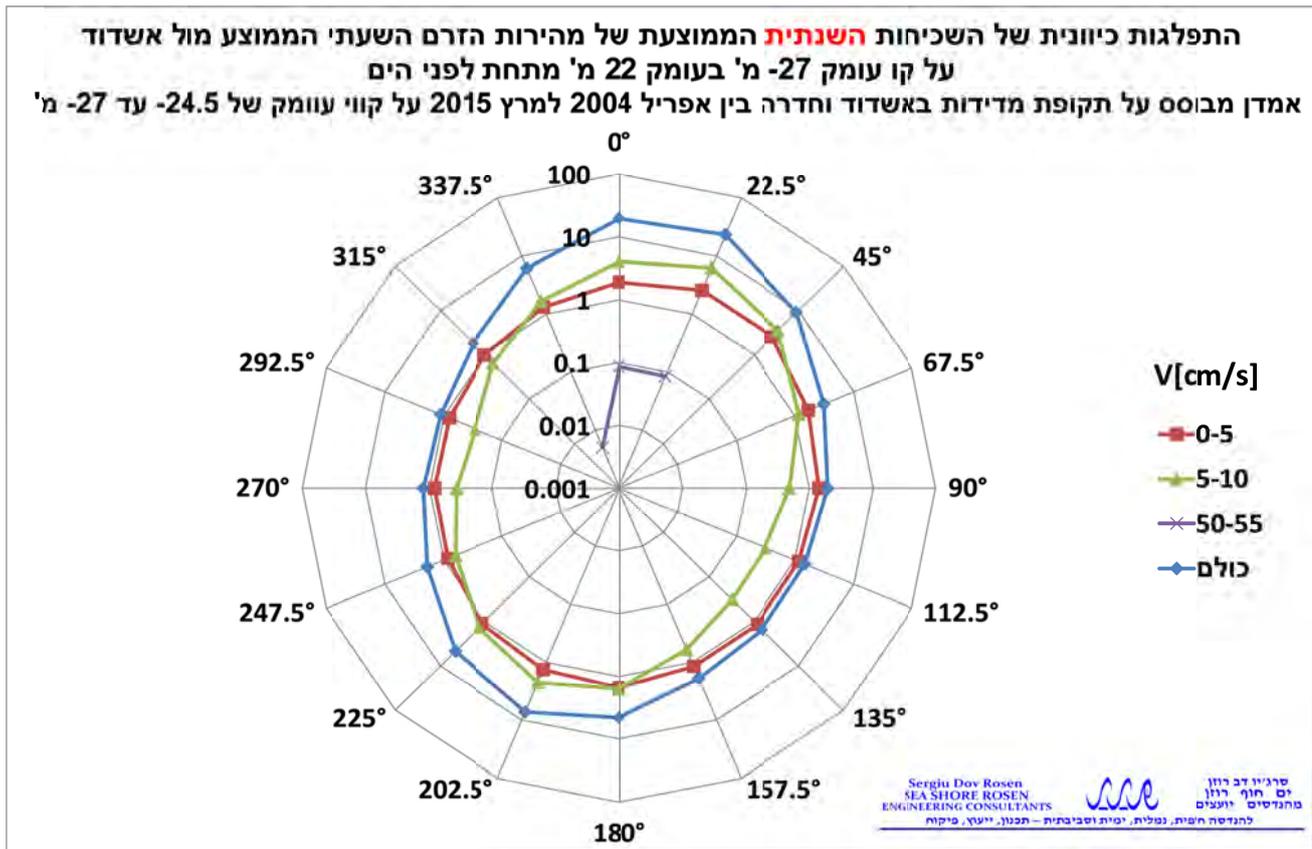


איור מס' 3.38



איור מס' 3.39





איור מס' 3.40

3.3.8 אומדן של הזרמים בקווי עומק 40- מ' ו-60- מ' מול אשדוד במצבי קיצון

כפי שהוסבר בסעיפים הקודמים, מידע סטטיסטי על הזרמים ניתן היה לקבל רק מתחנות מדידה קבועות שאפשרו לקבל את משטר הזרמים הרב שנתי ושל ערכי קיצון עד עומק 22- מ' בקו עומק 27- מ' בקרוב. על פי הפרסומים שהוצגו בסעיף 1.2.3, ובמיוחד על פי מדידות שדווחו ע"י רוזנטראוב, סביר להניח ירידה מתונה של מהירות הזרם בעמודת המים עם העומק, במדף היבשת הרדוד עד בערך קו עומק 60- מ'. בחינה של השתנות כיוון הזרם בעמודת המים על פי המדידות שנתחו מוצגת באיור 3.41. ניתן לראות כי הכיוון הכללי של הזרם הוא צפוני במקביל לאזימות קו החוף (אזימות 24 מעלות בקרוב).

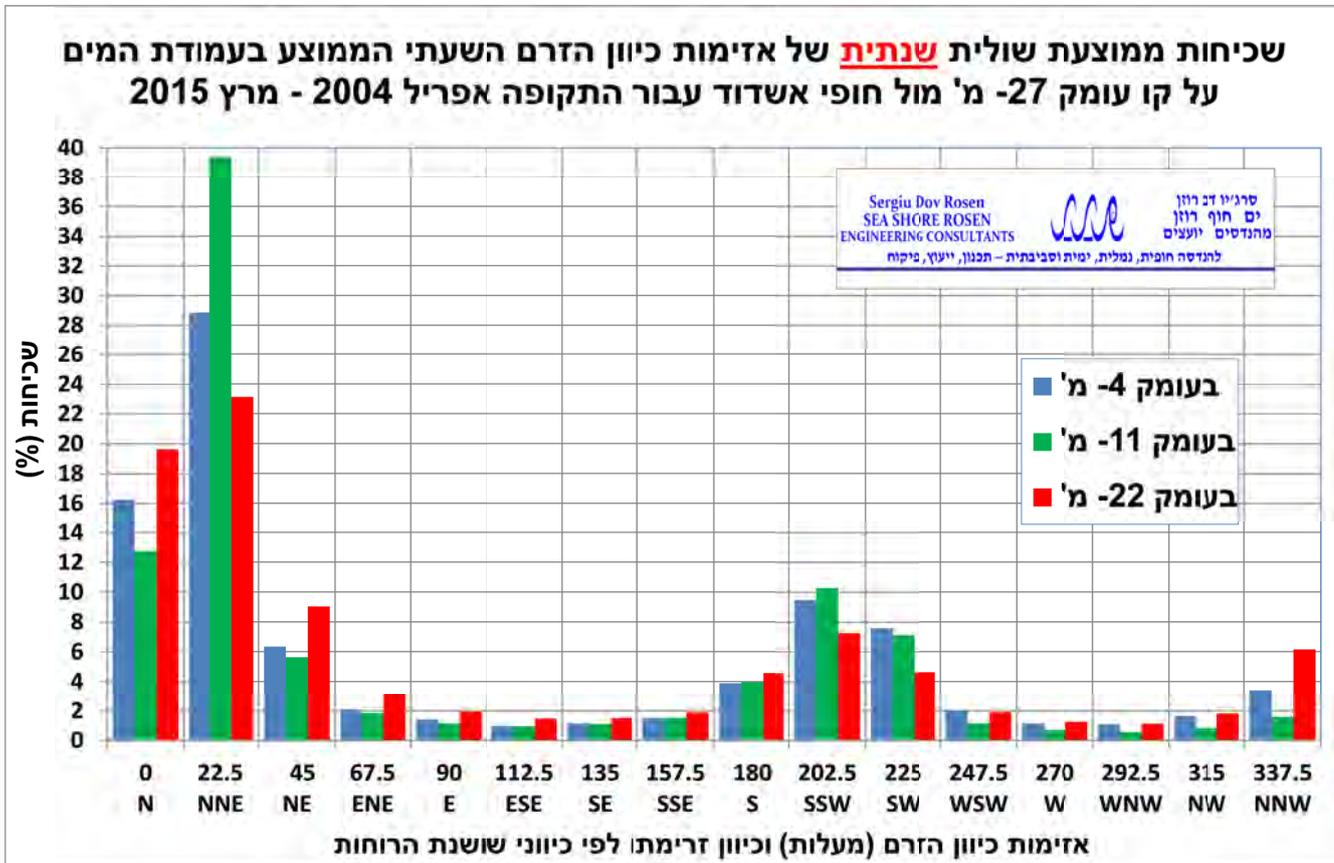
בנוסף, בחינה של תבנית הזרמים על פי מודל SELIPS בעומקים של 5- מ', 30- מ', 50- מ' ושל 100- מ' במדף היבשת למצב דטרמיניסטי של 2.12.2016 מאשרת מצב זה (ראה איור 3.42). אולם, במצבים של אירועי סערה עם רוחות חזקות, על פי Ashkenazi (2016) השפעת הרוח תגרום לשימור מהירות הזרם בקרוב בעמודת המים במדף הרדוד. לכן, ניתן לומר כי מדידות הזרמים שנתקבלו בקו עומק 22- מ', תהיינה כמעט זהות מבחינת עוצמת המהירות בכל האזור שמול חופי אשדוד עד קווי עומק של 60 מ' בקרוב. בשכבות המים העמוקות יותר בתחום זה ניתן לצפות כי המהירויות יקטנו באופן איטי ומתון לכיוון הקרקעית.

באיור 3.43 הצבנו את פרופיל המהירות שנמדד בעמודת המים מול אשדוד בתאריך 12-12-2010, שכלל מדידות עד עומק של 23- מ'. הפרופיל שמוצג כולל גם אומדן של המחבר על אופן ירידת מהירות הזרם בעמודת המים עד עומק 60- מ'. הפרופיל של הזרם בעמודת המים מוצג ליום זה מכיוון שביום זה נמדדו המהירויות הגבוהות ביותר במדף היבשת של ישראל.

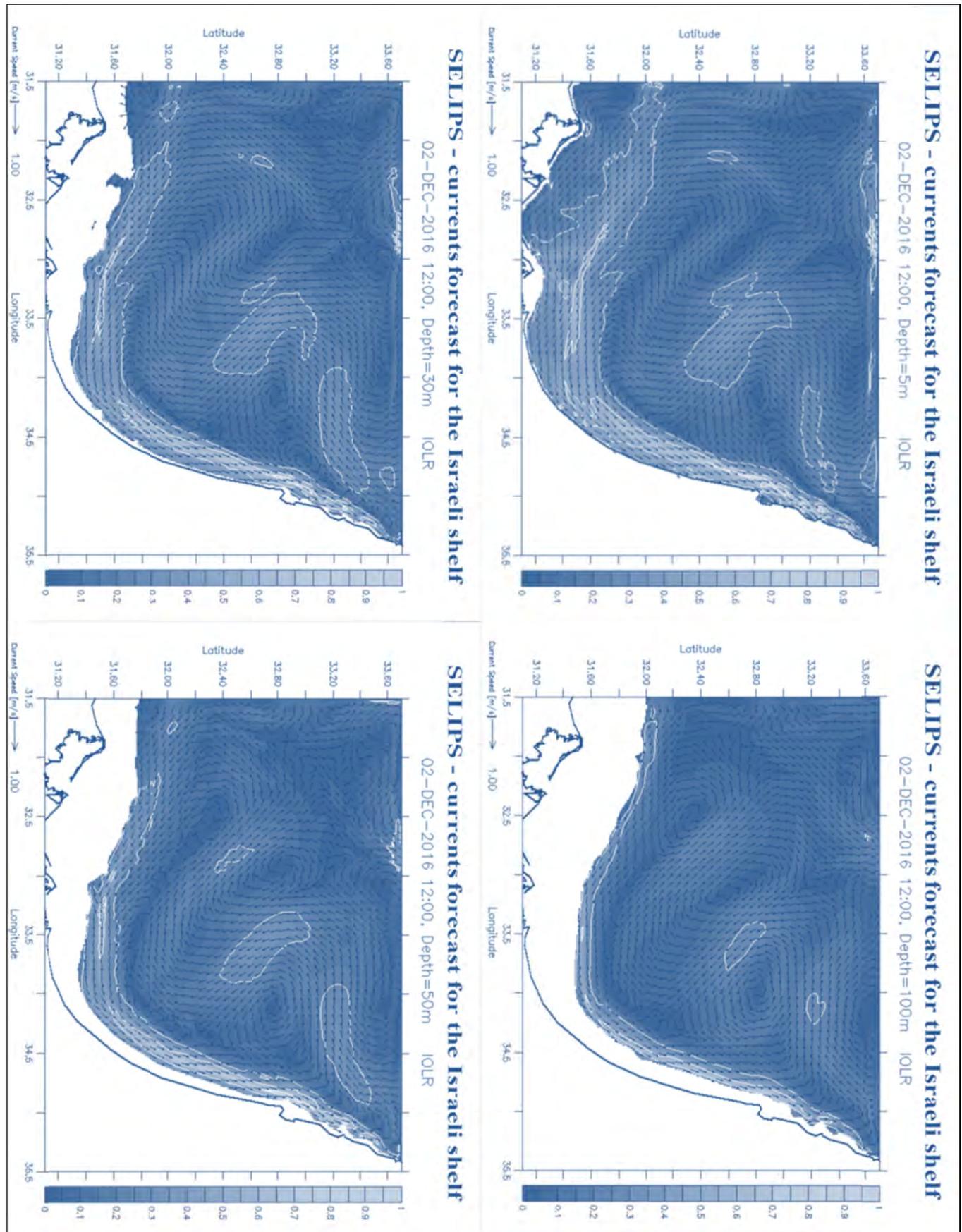
דבר שלא צוין אבל הינו בעל חשיבות רבה לכלובי הדגים הוא שלמרות שמהירות הזרם תקטן באופן מתון בעמודת המים, בעת אירועי סערות עם רוחות חזקות, כיוון הזרם משנה עם העומק בהשפעת כח קוריאוליס לפי תופעת ספירל Ekman. השינוי בכיוון יהיה בסדר גודל של 1 עד 2 מעלות בירידה של כל מטר בעמודת המים, אך מאחר וגובה הכלובים מגיע ל-12 מ', בין הזרם בחלק

העליון של הכלוב לזרם בחלק התחתון של הכלוב תהיה הסטה של כ-10 עד 20 מעלות, דבר שעלול לגרום למומנט פיתול על הכלוב ולעיבוד נפח ופגיעה בדגים.

לסיכום, להערכתנו, ניתן בקרוב טוב מאוד להשתמש באקלים הזרמים שהתקבל עבור עומק של 22- מ' מפני הים כדי לאפיין הזרמים עד עומק מים של כ-60- מ' בקרוב. מסקנה זאת תשתמש אותנו כדי לבחור בהמשך את ערכי הפרמטרים לחישוב כוחות על כלובי דגים משוקעים בעת סערות קיצון.



איור מס' 3.41



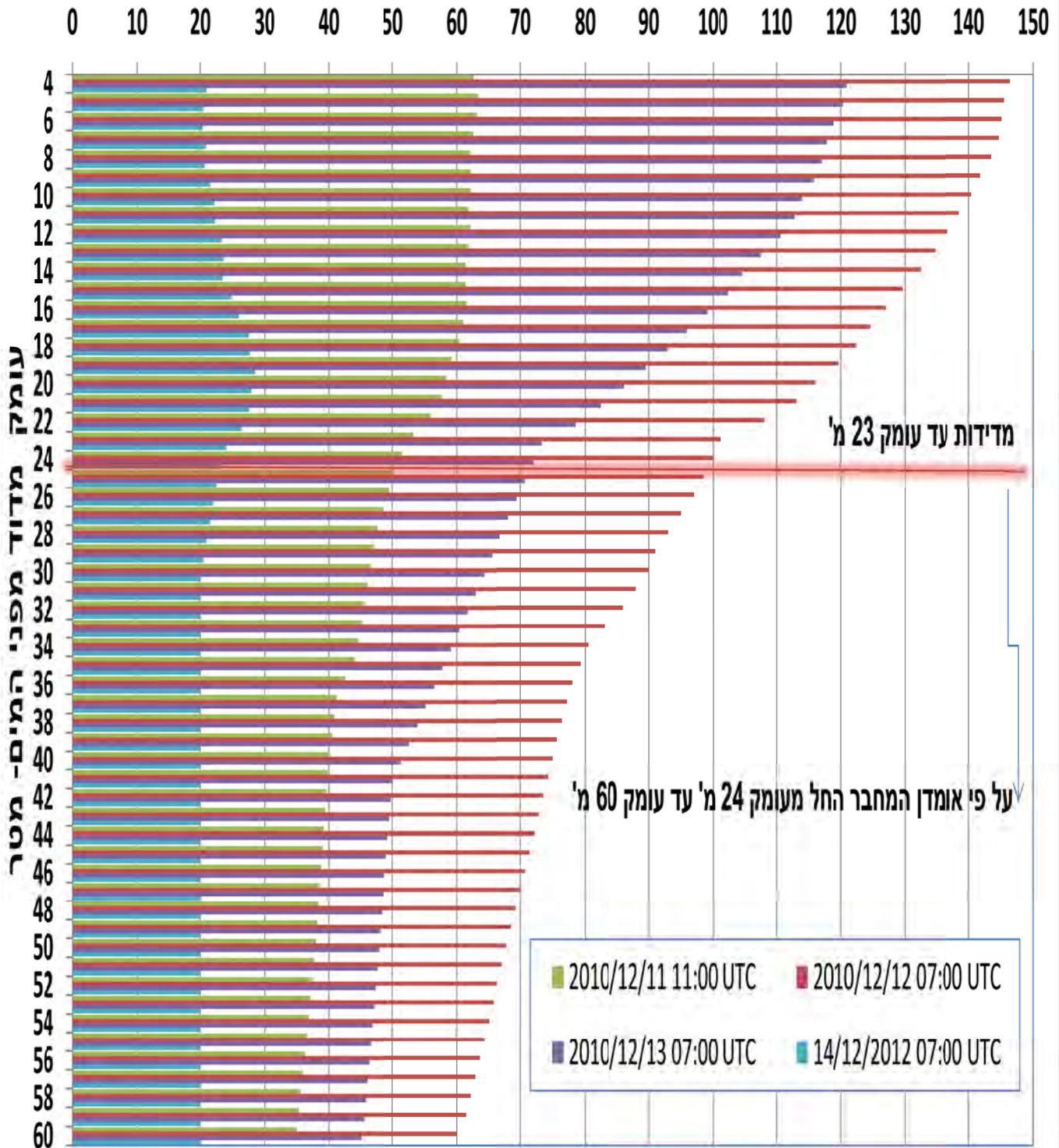
איור מס' 3.42 - תבנית הזרמים על פי מודל SELIPS ב-2-12-2016 ב-4 עומקי מים בים התיכון (מקור: אתר <http://isramar.ocean.org.il/isramar2009/selips>, עיבוד תמונות - ס'ד' רוזן)



## השתנות פרוס מהירות הזרם הכללי עם העומק בסערה החזקה בדצמבר 2010

מבוסס על מדידות חיא"ל מול אשדוד על קו עומק 27 מ' עד עומק 23 מ' ואומדני המחבר לעומקים גדולים יותר

מהירות הזרם הממוצע השעתי - סמ"שניה



איור מס' 3.43

#### 4. עיבוד וניתוח הנתונים המטאור-ימיים לאפיינים סטטיסטיים באזור מכמורת

##### 4.1 אפיון הרוחות באזור מכמורת בים

##### 4.1.1 עיבוד נתוני הרוחות הגולמיים לבנק נתוני רוחות וגלים שעתיים

א. נתוני מדידות רוחות בים בקצה מזח פריקת הפחם בחדרה (2.1 ק"מ מקו החוף) \_ \_

כפי שתואר בפרק 1.2.1, בין נתוני הרוח שהתקבלו היו נתונים שעתיים שנמדדו בקצה מזח הפחם בחדרה על קו עומק 26.5- מ' בקרוב. תקופת המדידות לצערנו כיסתה רק 9 שנות מדידות, כולל מקטעים בהם היו הפסקות במדידות, ביניהן בזמן של כמה אירועי סערות. מאידך, הנתונים במיקום זה הם היחידים שנמדדו בים הפתוח רחוק מהחוף במשך תקופת זמן של מספר שנים וכמעט ברציפות. נתונים אלה שימשו בעבר לאפיון משטר הרוחות בתחנת המדידה בחדרה, אך בגלל שתקופת המדידה היתה רק בין אפריל 2000 עד מרץ 2009, הם לא התאימו לאפיון בר שנותי ואומדן ערכי קיצון. על פי הספרות ידוע כי מהירות הרוח בים יכולה להיות עד כ-30% גבוהה יותר מאשר ביבשה, ומאחר ולא היו מדידות בזמן התקופה של הסערות שבהן נגרמו נזקים לכלובי דגים, הוחלט להשתמש בנתוני מתחנת הניטור בקצה מזח הפחם בחדרה לבדיקת השפעת מיקום המדידה על עוצמת הרוח, כנגד נתוני הרוחות שנאספו בנמל חדרה ע"י שמ"ט שמתוארות להלן.

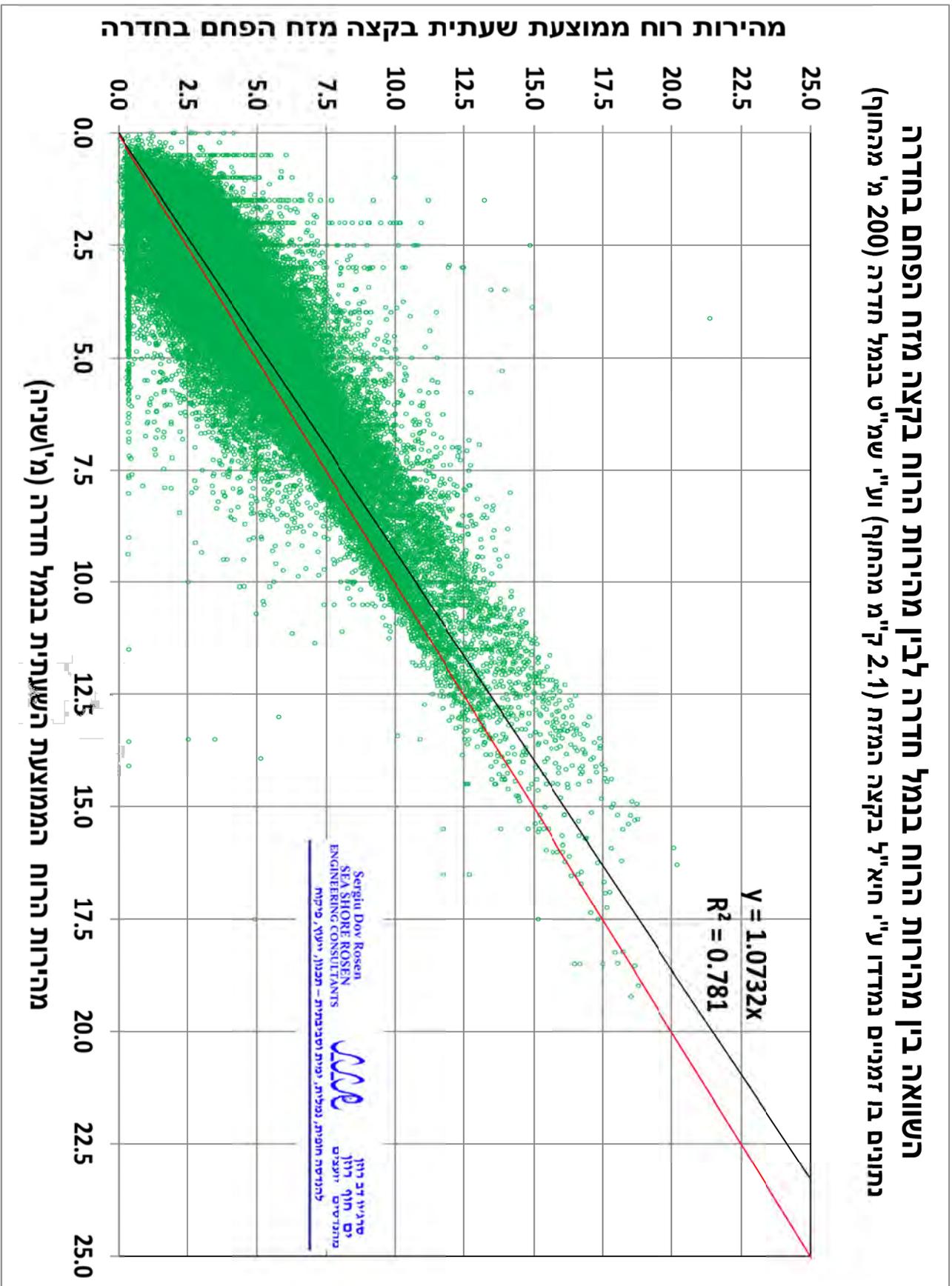
ב. נתוני מדידות רוחות בתחנות של השרות המטאורולוגי הישראלי בנמל חדרה קרוב לקו החוף \_ \_

כאמור בסעיף 1.2.1, התברר כי באתר שמ"ט ניתן היה למצוא מדידות רוחות בנמל חדרה מאז 2000 עד 2015. הנתונים כללו נתונים שעתיים ממוצעים אך גם נתונים של ערכי משבי הרוח (wind gust) של הדקה העוצמתית ביותר ושל 10 הדקות הגבוהות בשעה.

כל נתוני הרוח מנמל חדרה רוכזו בבנק נתונים של רוחות בקרבת החוף בחדרה. בדיקת קורלציה בין מדידות בו-זמניות של ערכי מהירויות שעתיות ממוצעות בתחנת נמל חדרה הממוקמת כ-200 מ' מערבה מקו החוף כנגד נתוני מהירויות שעתיות ממוצעות של רוחות שנמדדו בקצה מזח הפחם בחדרה (כולן בגובה 10 מ' מעל פני הים) הראתה כי בממוצע מהירות הרוח בים בחדרה גבוהה בכ-10% לעומת זאת שבקרבת החוף. הבדיקה של הקורלציה בין הרוחות מוצגת באיור מס' 4.1 בעמוד הבא. הקו האדום מסמן הקו שבו יש זהות מלאה בין המדידות בחוף ובים, והקו השחור הוא קו הרגרסיה הליניארית של הנתונים הבו-זמניים בשתי התחנות.

נתוני הרוחות שבנמל חדרה מתאימים בגלל הקירבה לחוף מכמורת וגם בגלל המבנה הטופוגרפי של החופים בשני המקומות, לתיאור טוב גם של משטר הרוחות במכמורת.

על כן האפיון הסטטיסטי שבוצע על נתוני הרוחות בחדרה, מיצג גם את משטר הרוחות ופרוס רוחות קיצון בחוף מכמורת. אולם, מכיוון שאנו מעוניינים באומדן משטר הרוחות על קו עומק 40- מ' וגם על קו עומק 60- מ', ניתן להעריך כי הערכים של מהירויות הרוח שישירו בים מול מכמורת יהיו עד כ-10% גבוהות יותר מאשר אלה שהתקבלו בנייתוח הנתונים שבקרבת החוף.



איור מס' 4.1 – הצגת קורלציה בין מהירויות רוח שעתיות בנמל חדרה (כ-200 מ' מקו החוף) ובקצה מזח הפחם בחדרה (כ-2.1 ק"מ מקו החוף) עבור נתוני מדידות בו-זמניות בתקופה אפריל 2000 - מרץ 2009.

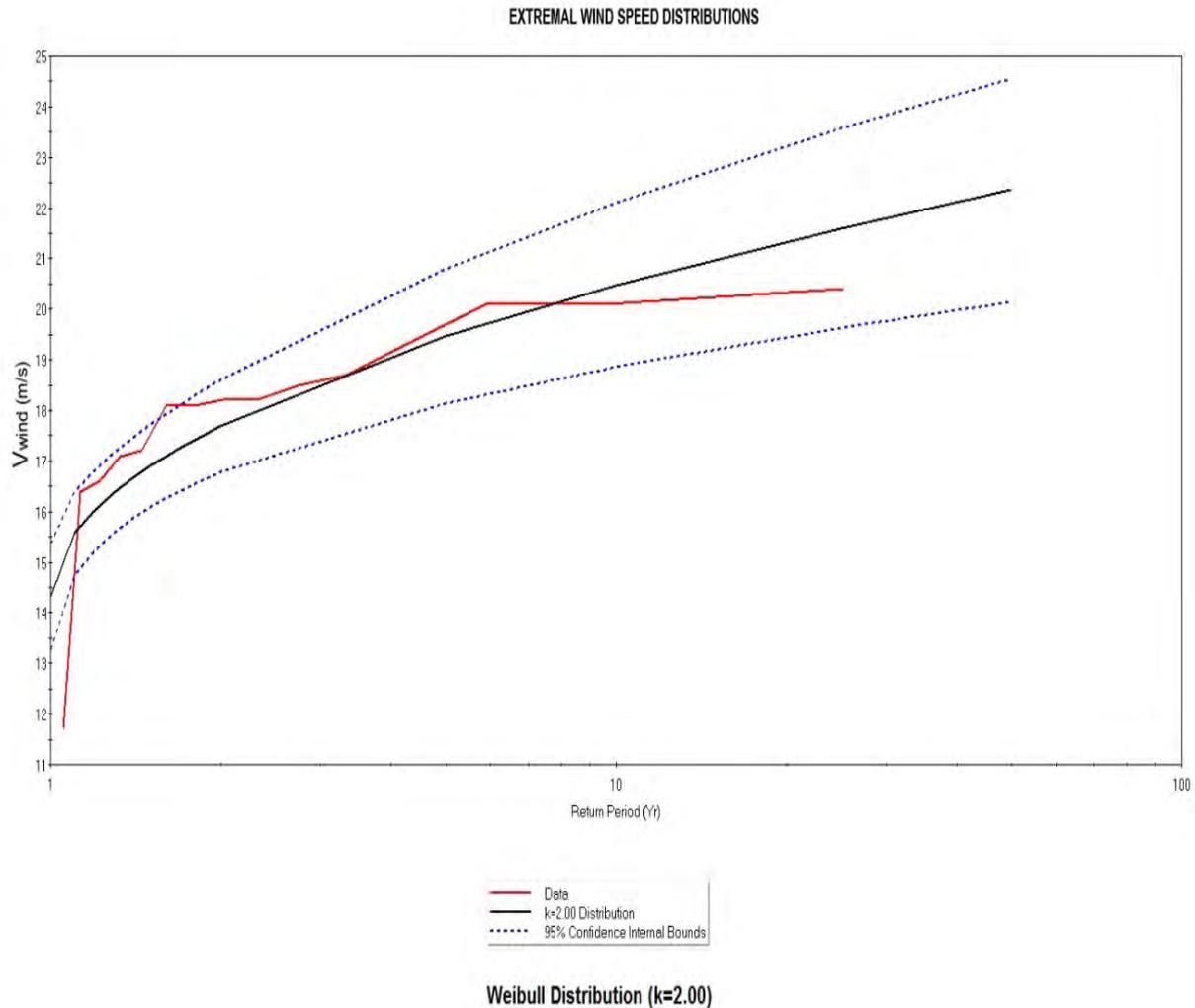
4.1.2 אומדן של משטר הרוחות במצבי קיצון נדירים מול מכמורת באזור המיועד לחוות כלובי דגים

נתוני מהירויות הרוח בקו עומק 2- מ' חולקו לפי שנים הידרוגרפיות, ובכל שנה אותרו הערכים הממוצעים הגבוהים ביותר. ערכים אלה שימשו תשומה לבדיקת התאמתם ל-5 פונקציות הסתברות של הערכים הנדירים (ערכי הקיצון) עבור תקופות חזרה שונות. כפי שהוסבר בפרק 2.1.3, פונקציות פרוס אלה היו Frechet-Typpet Type I ופונקציית פרוס Weibull עבור 4 ערכי חזקה. ריכוז התוצאות שהתקבלו מוצגים בטבלה 4-1 להלן, וכלל התוצאות לקבלת אומדן ערכי קיצון לתקופות חזרה ממוצעות שונות של מהירות הרוח בחוף מכמורת מוצגות בנספח 2.1.1. ערכי הקיצון באזור הכלובים נאמדים עד כ-10% גבוהים יותר מאלה שמוצגים בטבלה 4-1.

טבלה מס' 4-1 – ערכי קיצון של מהירויות הרוח השעתית על בסיס 5 פרוסים שונים במכמורת על קו עומק 2- מ'

Case: Extreme Wind Statistics Analyses						
Extreme Hourly Wind Statistics offshore Michmoret coast						
N:	15	NU:	1			
NT:	15	K:	15			
Lambda:	1.00	Mean:	16.95			
Standard deviation:	1.57					
Weibull Distribution						
	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.00	
Correlation:	0.95	0.82	0.89	0.94	0.97	
Sum square of residuals:	0.06	0.34	0.20	0.07	0.04	
Return Period (Yr)	Vw (m/s)	Vw (m/s)	Vw (m/s)	Vw (m/s)	Vw (m/s)	
2	16.72	16.43	16.49	16.61	16.76	
5	18.12	17.58	17.87	18.11	18.26	
10	19.05	18.62	18.92	19.08	19.12	
25	20.22	20.17	20.30	20.24	20.07	
50	21.09	21.44	21.34	21.05	20.70	
73	21.56	22.17	21.91	21.48	21.02	
100	21.95	22.79	22.39	21.83	21.28	
WARNING: RETURN PERIODS > 45 Yrs May Not Be Meaningful.						
95% Confidence Interval (Lower Bound - Upper Bound) Units: m/s						
Weibull Distribution						
Return Period (Yr)	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0	
5	17.1 - 19.1	15.8 - 19.4	16.5 - 19.3	17.0 - 19.3	17.3 - 19.2	
10	17.7 - 20.4	15.9 - 21.4	16.9 - 20.9	17.6 - 20.6	17.9 - 20.3	
25	18.4 - 22.0	15.9 - 24.4	17.4 - 23.2	18.3 - 22.2	18.6 - 21.5	
50	18.9 - 23.3	15.9 - 26.9	17.8 - 24.8	18.8 - 23.4	19.1 - 22.3	
73	19.2 - 23.9	16.0 - 28.4	18.0 - 25.8	19.0 - 24.0	19.3 - 22.7	
100	19.4 - 24.5	16.0 - 29.6	18.2 - 26.5	19.2 - 24.4	19.5 - 23.1	
Percent chance for Hourly Wind Speed equalling or exceeding return period						
Return Period (Yr)	Period of concern (Yr)					
	2	5	10	25	50	73
2	75	97	100	100	100	100
5	36	67	89	100	100	100
10	19	41	65	93	99	100
25	8	18	34	64	87	95
50	4	10	18	40	64	77
73	3	7	13	29	50	63
100	2	5	10	22	39	52

על בסיס התוצאות הנ"ל ומאחר שמקדם הקורלציה (Correlation) הגבוהה ביותר וסטיית התקן הקטנה ביותר (sum of residuals) התקבלו עבור פרוס Weibull עם חזקה 2.0, נבחר בערכי רוחות הקיצון Vw עבור תקופות החזרה השונות. התאמת פרוס זה לנתוני המדידות השנתיות המרביות ממוצגת באיור מס' 4.2.



**איור מס' 4.2 - פרוס וויבול, מקדם  $K=2.00$ , רמת אמינות של 95% מהירות רוח שעתית למצבי קיצון על קו עומק 2- מ' מול מכמורת**

**4.1.3 אומדן של משטר הרוחות הרב שנתי (שנתי, קיצי וחורפי) מול מכמורת באזור המיועד לחוות כלובי דגים**

בעמודים הבאים נציג בטבלאות ובצורה גרפית את התוצאות שהתקבלו עבור אקלים הרוחות הרב שנתי במכמורת על בסיס המדידות במל חדרה. התוצאות מציגות טבלאות של שכיחות ממוצעת משותפת של מהירות הרוח וכיוונה, בחלוקה שנתית, וגרפים של ההתפלגות הכיוונית השנתית של הרוח, וכן גרפים של ההתפלגות השולית של מהירות הרוח ושל כיוון הרוח. גרפים אלה וכן טבלאות וגרפים בחלוקה לעונות הקיץ והחורף מוצגים יחד בנספח 2.1.2.

למרות שבסדרת הזמן השנתית של נתוני הרוחות בין אפריל 2000 עד מרץ 2015 היו גם נתונים חסרים, הניתוח הסטטיסטי לא יכול היה להתבצע עם נתונים חסרים, אלא התייחס כאילו הנתונים בכל 15 שנות המדידה מהווים את כל הנתונים כלומר את 100% השכיחות של כל הנתונים. על כן התוצאות שהתקבלו בהתפלגות זמן שנתית וגם בהתפלגות העונתית יוחסו לסך הנתונים שהיו זמינים לניתוח. על מנת לתקן התוצאות היה צורך לחשב מקדם תיקון של השכיחויות השונות, שהיווה היחס בין סך הנתונים שנמדדו לעומת כל הנתונים שיכלו להיות מדודים באותם השנים. ערך המקדם הזה ודרך חישובו מוצג בטבלה מס' 7 להלן (מוצגת שוב לנוחיות הקורא), יחד עם המקדמים עבור כל יתר הנתונים שעובדו (רוח, גלים, זרמים במכמורת ובאשדוד).



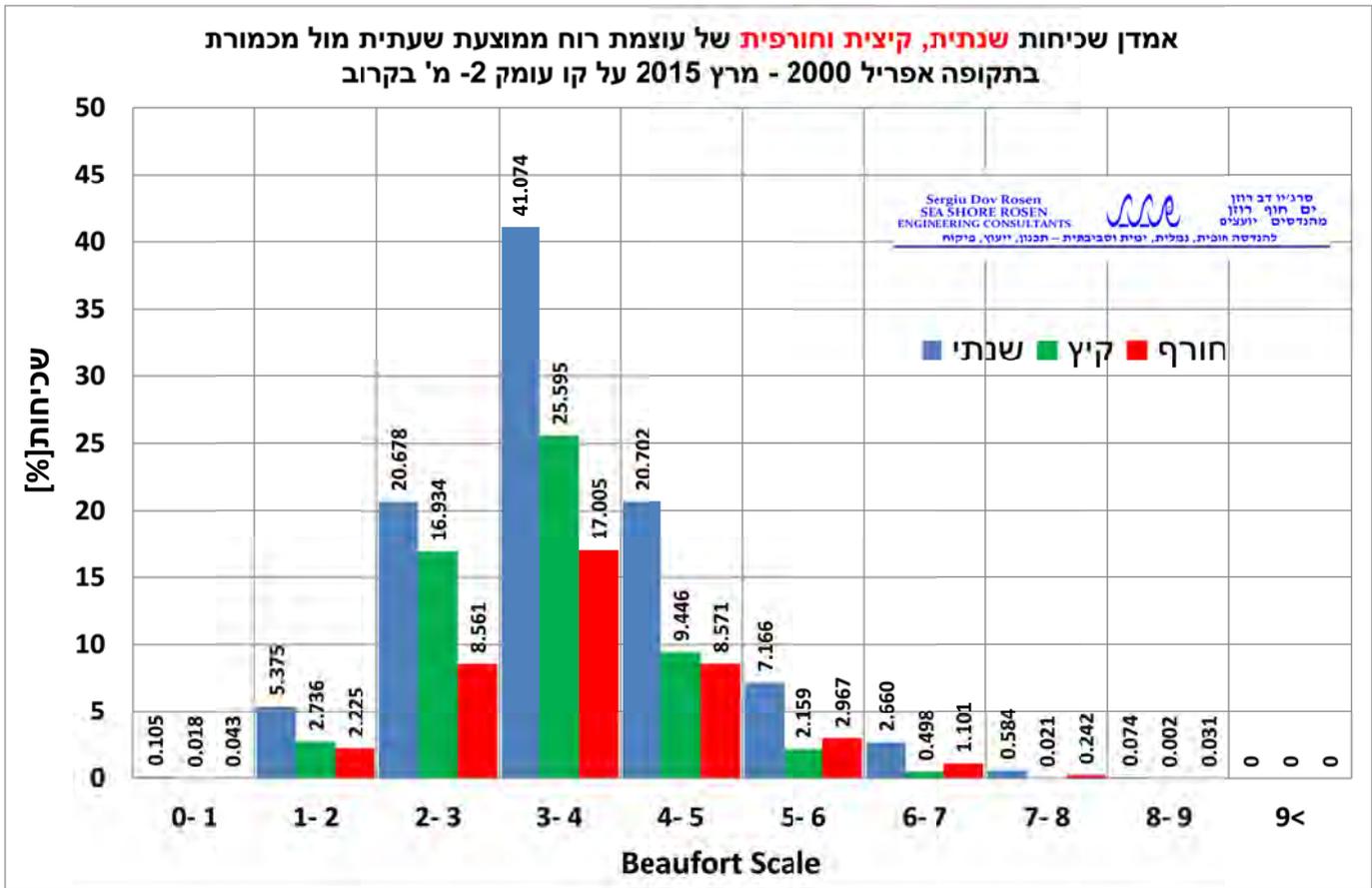
טבלה מס' 4-2 - מידע על נתונים חסרים ומקדמי התיקון

אתר	סוג הפרמטר	הידרוגרפיות מנוסות	מס' שנים	תוספת יומי 29/2	סך שעות שנותרות	סך שעות בקיץ-7 ח'	סך שעות בחורף-5 ח'	סך מדידות שנותרות	מדידות קיטיות	מדידות חורפיות	תיקון ערכים שביחוח של המדגמים עקב חוסר נתונים (קיץ וחורף מחושבים על בסיס שנתי)
מול חופי צפון אשדוד	גלים על קו עומק 4 מ'	199204-201503	19	5	166560	97584	68976	163285	95392	67893	98.034
	גלים על קו עומק 11 מ'	200404-201503	12	2	105168	61632	43536	93450	55269	38181	88.858
	גלים על קו עומק 22 מ'	200404-201503	12	2	105168	61632	43536	95346	55810	39536	90.661
מול חופי צפון אשדוד	גלים במים עמוקים	199204-201503	24	6	210384	123264	87120	204880	119615	85265	97.384
	גלים על קו עומק 60 מ'	199204-201503	24	6	210384	123264	87120	204880	119615	85265	97.384
	גלים על קו עומק 40 מ'	199204-201503	24	6	210384	123264	87120	204880	119615	85265	97.384
מול חופי מנבחות	גלים על קו עומק 30 מ'	199204-201503	24	6	210384	123264	87120	204880	119615	85265	97.384
	רוח	200004-201503	15	3	131472	77040	54432	129419	75720	53699	98.438
	זרם בעומק 4 מ'	200404-201503	15	3	131472	77040	54432	77047	45678	31369	58.603
מול חופי מנבחות	זרם בעומק 11 מ'	199404-201503	22	5	192840	112992	79848	164273	95231	69042	85.186
	זרם בעומק 22 מ'	200404-201503	15	3	131472	77040	54432	93448	54300	39148	71.078
	גלים במים עמוקים	199204-201503	24	6	210384	123264	87120	205948	119805	86143	97.891
	גלים על קו עומק 40 מ'	199204-201503	24	6	210384	123264	87120	205948	119805	86143	97.891

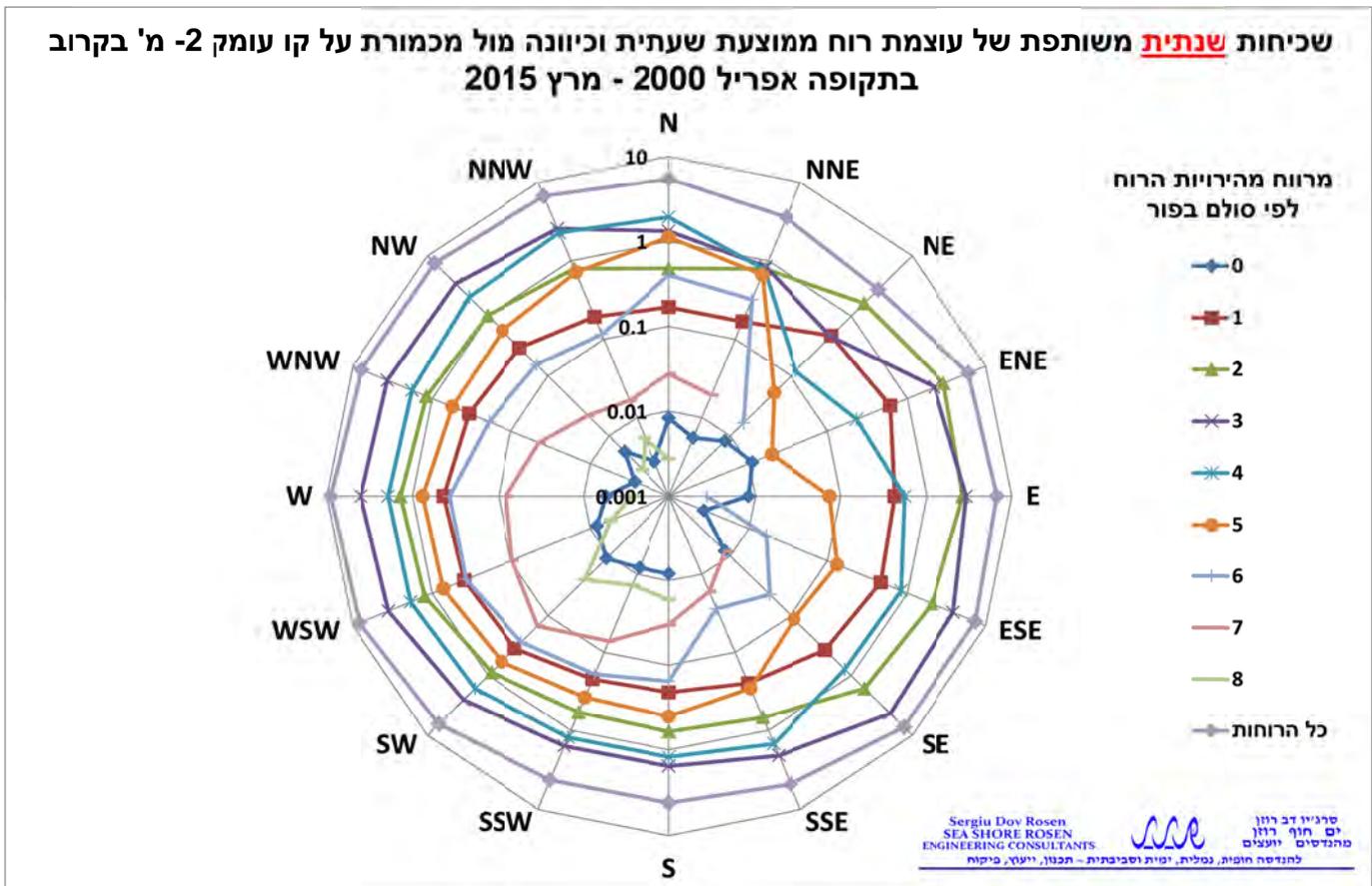
טבלה מס' 3-4

אומדן שכיחות <b>שנתית</b> משותפת של עוצמת הרוח הממוצעת השנתית ושל כיוון הרוח השנתית מול מכמתת על קו שומק-2 מ בקרוב מבוסס על מדידות רוח בנתל חדרה ע"י שם"ט בתקופה אפריל 2000 - מרץ 2015																			
כיוון רוח לפי שישנת רוחות	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	סכום שכיחויות (%)	סכום שכיחויות מתוקן (%)	
																			כיוון רוח לפי שישנת רוחות
עוצמת רוח סולם בופור	0	0.0084	0.0056	0.0084	0.0112	0.0084	0	0.0084	0	0.0084	0.0084	0.0112	0.0084	0	0.0056	0	0.1064	0.105	
	1	0.1708	0.1708	0.4788	0.6188	0.4284	0.4732	0.3808	0.252	0.2128	0.224	0.3584	0.4032	0.4424	0.35	0.2996	0.196	5.46	5.375
	2	0.4872	0.8008	1.6548	3.0044	2.7996	2.114	1.68	0.6944	0.6216	0.5964	0.896	1.2628	1.4	1.1984	1.0388	0.8064	21.0056	20.678
	3	1.3384	0.854	0.4676	2.2848	3.0016	3.9732	4.4212	2.128	1.5848	1.61	2.5928	3.5924	4.0684	3.71	3.4972	2.6012	41.7256	41.074
	4	1.9516	0.784	0.1232	0.2352	0.56	0.8484	0.798	1.5064	1.2376	1.2488	1.68	1.8928	1.946	1.8172	2.0944	2.3072	21.0308	20.702
	5	1.1368	0.672	0.0532	0.0196	0.0756	0.1344	0.1148	0.294	0.4116	0.3836	0.5992	0.7392	0.7756	0.5684	0.5796	0.7224	7.28	7.166
	6	0.406	0.3276	0.0168	0	0	0.0168	0.0448	0.028	0.1568	0.1932	0.28	0.3808	0.378	0.196	0.1568	0.1176	2.702	2.660
	7	0.028	0.0196	0	0	0	0	0.0084	0.0168	0.0336	0.0728	0.1512	0.098	0.0812	0.0448	0.0224	0.0168	0.5936	0.584
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0168	0.014	0.0252	0.0056	0	0	0	0.0056	0.0756	0.074
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
סכום שכיחויות (%)	5.53	3.6344	2.8028	6.174	6.8264	7.5628	7.4564	4.9196	4.284	4.3512	6.594	8.3832	9.1	7.8876	7.6972	6.776	100	98.438	
סכום שכיחויות מתוקן (%)	5.444	3.578	2.759	6.078	6.720	7.445	7.340	4.843	4.217	4.283	6.491	8.252	8.958	7.764	7.577	6.670	98.438		

מקום תיקון עבור מדידות חסרות = 0.9844



איור מס' 4-3



איור מס' 4.4

## 4.2 עיבוד מידע הגלים ואפיון הגלים במכמורת

### 4.2.1 עיבוד נתוני הגלים הגולמיים

כפי שתואר בסעיף 1.2.2 לשם אפיון הגלים באזור מכמורת הוחלט להשתמש במדידות הגלים שבוצעו בחדרה מאז אפריל 1992 ועד מרץ 2016. אלה מדידות שנאספו מדי שעה בשעה כאשר כל מקבץ מכסה כ-20 דקות החל מתחילת שעה עגולה. הנתונים הגולמיים עוברים עיבוד ספקטרלי שבעקבותיו התקבלו ערכי הפרמטרים העיקריים של גלים: גובה הגל המשמעותי  $H_s$ , זמן מחזור שיא הספקטרום של אנרגיית הגלים  $T_p$ , הכיוון העיקרי של הגלים (כיוון בו נעים הגלים בעלי עיקר האנרגיה של הספקטרום, וההתפלגות הספקטרלית של הגלים וכן מספר פרמטרים נוספים, שלא רלוונטיים כאן. אולם, בסיס נתוני הגלים השעתיים כלל גם מקטעים בהם לא היו מדידות גלים מסיבות שונות (כגון תקלות, זמני תחזוקה ועוד). חלק קטן מהמקטעים אירעו בזמן סערות גלים, והיה חשוב לנסות לקבל אומדן של אפייני הגלים גם באותן מקטעי זמן חסרי נתונים. לשם כך נעשה שימוש בנתונים מתחנות הגלים של חני"י בחיפה ובאשדוד על קווי עומק 24- מ' וכן מתחנות הגלים הנוספות של חיא"ל מול תל ברוך על קו עומק 28- מ' (תחנה זמנית) ובאשקלון על קו עומק 26.5- מ' בקרוב.

על מנת שניתן יהיה לאמוד את משטר הגלים בחדרה בכל קו עומק רצוני, נדרש ראשית כל להעביר את נתוני הגלים למים עמוקים (כ-500 מ' עומק מים), שם מקובל להניח כי גובה הגלי לא מושפע יותר ע"י עומק המים. לשם כך היה צריך לבצע על כל נתוני הגלים טרנספורמציה הנקראת רפרקציה גלים הפוכה (back wave refraction). מכיוון שבעומקים שבו נמדדים הגלים בישראל ובכיוון המים העמוקים קווי העומק בקרוב טוב מאוד הנם מקבילים וישרים וכמעט מקבילים לקו החוף, ניתן היה לבחור חבילת תוכנה היודעת לבצע את הטרנספורמציה הדרושה על בסיס תיאוריית הגלים הליניארית תוך שימוש במידע על פרופיל החוף בניצב מהחוף עד למים עמוקים. תוכנה זאת פותחה באוניברסיטת דלפט בהולנד ושמה SWAN ONE (<http://www.kennisbank-waterbouw.nl/Software/#Swan>).

לאחר שנתוני הגלים מחדרה הומרו לערכים של פרמטרים במים עמוקים (זמן המחזור שיא לא השתנה, אלא רק הגובה והכיוון של הגלים), היה צורך לבצע רפרקציה גם עבור נתוני הגלים מהאתרים האחרים. ואולם, בתקופה שלאחר מרץ 2008 לא היו בידנו נתוני גלים מחיפה ואשדוד, ובתקופה שבין מועד זה ועד סוף מרץ 2015 קיבלנו מחנ"י באמצעות קאמרי מדידות גלים רק בחודשים דצמבר עד אפריל בכל שנה באשדוד, על פי פניית המזמין לפי המלצתנו, היות ובמועד הבקשה היו דרושות רק מדידות בעונת החורף. במקטעי הקיץ של השנים 2008 עד 2014 נעשה שימוש במדידות שנאספו ע"י המחבר מאתר חני"י אינטרנט, אם כי גם הן לא נאספו ברציפות. לא התבקשו נתונים נוספים היות והליך קבלת הנתונים שהתקבלו מאשדוד היה מסורבל ונמשך זמן רב ולא רצינו להתעכב זמן נוסף.

בעיה נוספת שהיה צריך לטפל בה כדי ליצור בנק נתוני גלים אחיד שעתי, היתה שבחלק מהזמן המדידות מחיפה ואשדוד בוצעו במקבצים של מחצית שעה, אך לא החלו תמיד בשעות קבועות. כדי ליצור קבצים שעתיים מיצגים, נעשה שימוש בשיטה דלהלן: כל שני מקבצים של נתונים חצי שעתיים שנמדדו בסמוך לשעה עגולה מסוימת שוייכו לאותה שעה. על סמך ערכי גובהי ה- $H_s$  של שני המקבצים חושב ערך מיצג שעתי ע"י חישוב שורש ממוצע הריבועים של שני ערכי הגבהים הסיגניפיקנטיים. זמן המחזור שיא נלקח כזמן המחזור שהיה שייך לגובה הסיגניפיקנטי הגדול מבין השניים, וכיוון הגלים העיקרי נלקח ככיוון זמן המחזור שיא שנבחר כערך שעתי.

במצב זה נבחנו כל זוגות נתוני הגלים במים עמוקים באמצעות תוכנת ACCESS של מערכת התוכנה MICROSOFT OFFICE 2010. על פי הקורלציה בין נתוני הגלים במועדים הזהים, ניתן היה לקבוע את ערך השינוי בגובה הגל והכיוון

של הנתונים מאשדוד או חיפה למילוי חורי מידע במדידות חדרה. בשיטה זאת גם השתמשנו למילוי חורים בנתוני הגלים במים עמוקים באשדוד. יצוין שלדעת המחבר שיטה זאת עדיפה ומהימנה יותר מהשיטה שהציגו Perlín and Kit (1999), אשר חילקה את נתוני הגלים לקבוצות גובה, זמן מחזור וכיוון וחישה עבור כל קבוצה מקדם תיקון סטטיסטי (וקטורי עבור הכיוון), והניחה שהשינוי בערכי מאפייני הגלים בין אשדוד וחיפה ליניארי. עיקרון זה שגם המחבר השתמש בו עד סוף שנות התשעים של המאה הקודמת, התברר כשגוי חלקית. זאת מאחר והיה מבוסס על ההנחה שהגלים המגיעים לאזור מדף היבשת שלנו מגיעים מתאי סערה הנמצאים ממערב לישראל. זמן לא רב לאחר שחיא"ל החל להריץ מודל חיזוי גלים בים התיכון בתחילת שנת ה-2000, התברר כי חלק ניכר מהסערות מגיעות מהים האגאיי, וגורמות למצבים בהם גובה הגלים השתנה בין אשדוד עד הרצליה בקרוב, אך משם צפונה לאורך החוף כיווני וגובה הגלים היו כמעט זהים. לכן השימוש בהנחה של שינוי ליניארי של תכונות הגלים בין אשדוד וחיפה לא נכון מרבית הזמן, ועדיפה קורלציה יותר פרטנית בין מדידות בשני מקומות על מנת שניתן יהיה לאמוד ערכי הפרמטרים במיקום אחד על בסיס ערכיהם במקום שני.

#### 4.2.2 יצירת בנק נתוני גלים אחיד במים עמוקים באזור מכמורת

עם סיום העיבודים, קיבלנו שני בסיסי נתוני גלים שכיסו את תקופת השנים ההידרוגרפיות אפריל 1992 עד סוף מרץ 2016 (24 שנה). בסיס הנתונים שהתקבל במים עמוקים בחדרה הועתק מבחינת זהות גם לאזור מכמורת בגלל הקרבה הרבה בין שני המקומות.

#### 4.2.3 יצירת בנק נתוני גלים בקווי העומק שנבחנו לחוות כלובי דגים (60- מ' ו-40- מ')

כדי לאמוד את אופייני הגלים באזור שבו יוצבו ומוצבים כלובי דגים, הופעל שוב מודל SWAN ONE, הפעם לחישוב שינוי הפרמטרים של הגלים בטרנספורמציה ממים עמוקים לקווי עומק מים של 60- מ' ו-40 מ'. אלה שימשו בהמשך לעיבודים של הגלים מבחינת ערכי קיצון לתקופות חזרה שונות ושל האקלים הרב שנתי במים עמוקים ובעומקי מים של 60- מ' ו-40- מ' מול מכמורת שיוצגו להלן.

#### 4.2.4 אומדן של משטר הגלים במצבי קיצון נדירים מול מכמורת במים עמוקים

נתוני גובהי הגלים הסיגניפיקנטיים חולקו לפי שנים הידרוגרפיות, ובכל שנה אותרו הערכים הממוצעים הגבוהים ביותר. ערכים אלה שימשו תשומה לבדיקת התאמתם ל-5 פונקציות הסתברות של הערכים הנדירים (ערכי הקיצון) עבור תקופות חזרה שונות. כפי שהוסבר בפרק 2.1.3, פונקציות פרוס אלה היו Frechet-Typpet Type I ופונקציית פרוס Weibull עבור 4 ערכי חזקה. ריכוז התוצאות שהתקבלו מוצגים בטבלה 17 להלן, וכלל התוצאות לקבלת אומדן ערכי קיצון לתקופות חזרה ממוצעות שונות של הגל המשמעותי במים עמוקים מול מכמורת מוצגות בנספח 2.2.1.

טבלה מס' 4-4 – ערכי קיצון של גובה גל סיגניפיקנטי על בסיס 5 פרוסים שונים במכמורת במים עמוקים

Extremal Significant Wave Height Analysis

N:	24	NU:	1
NT:	24	K:	24
Lambda:	1	Mean:	5.89
Standard deviation:		1.08	

Weibull Distribution

	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0
Correlation:	0.96	0.85	0.91	0.95	0.97
Sum square of residuals:	0.2	0.62	0.43	0.23	0.12
Return Period (Yr)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)
2	5.72	5.53	5.57	5.66	5.76
5	6.68	6.32	6.52	6.69	6.78
10	7.31	7.04	7.24	7.35	7.36
25	8.11	8.11	8.2	8.15	8.01
50	8.7	8.99	8.92	8.7	8.44
73	9.02	9.49	9.31	9	8.65
100	9.29	9.92	9.64	9.23	8.83

WARNING: RETURN PERIODS > 72 Yrs May Not Be Meaningful.

90% Confidence Interval (Lower Bound - Upper Bound)

Units: m

Weibull Distribution

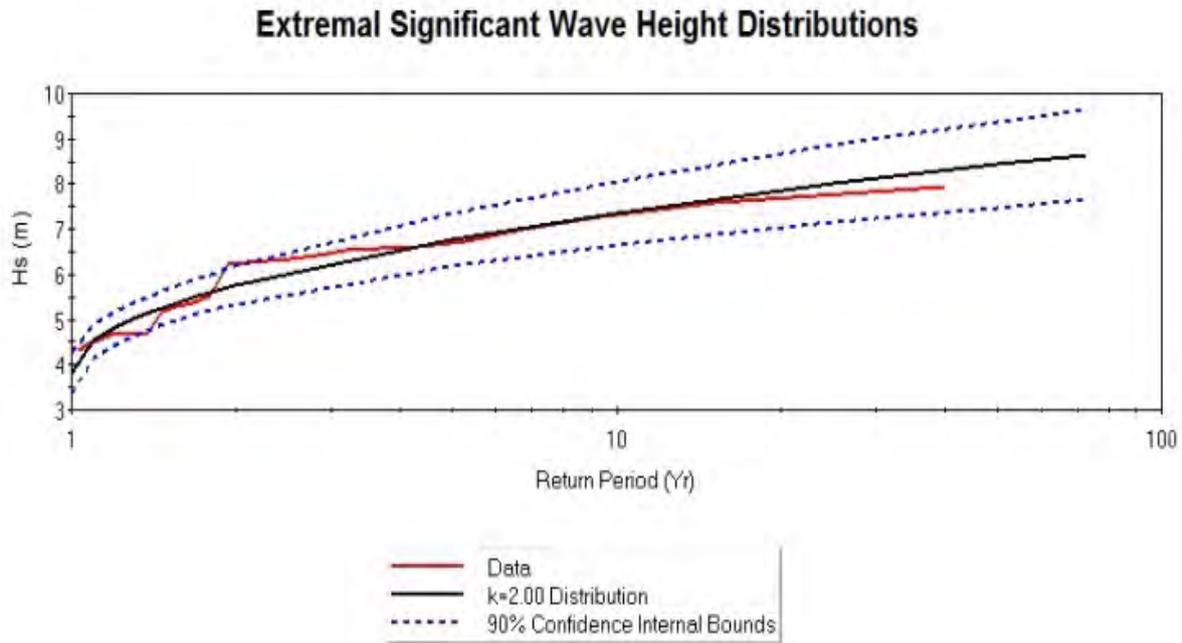
Return Period (Yr)	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0
5	6.1 - 7.3	5.3 - 7.4	5.7 - 7.3	6.0 - 7.4	6.2 - 7.4
10	6.5 - 8.1	5.4 - 8.6	6.1 - 8.4	6.5 - 8.2	6.7 - 8.1
25	7.0 - 9.2	5.7 - 10.6	6.5 - 9.8	7.0 - 9.3	7.2 - 8.9
50	7.4 - 10.0	5.8 - 12.2	6.9 - 10.9	7.4 - 10.0	7.5 - 9.4
73	7.6 - 10.4	5.9 - 13.1	7.1 - 11.5	7.6 - 10.4	7.7 - 9.7
100	7.8 - 10.8	6.0 - 13.8	7.2 - 12.0	7.7 - 10.7	7.8 - 9.9

Percent chance for significant wave height equalling or exceeding return period

Return Period (Yr)	Period of concern (Yr)					
Yr	2	5	10	25	50	73
2	75	97	100	100	100	100
5	36	67	89	100	100	100
10	19	41	65	93	99	100
25	8	18	34	64	87	95
50	4	10	18	40	64	77
73	3	7	13	29	50	63
100	2	5	10	22	39	52

תוצאות חישוב ערכי גובה גל סיגניפיקנטי למצבי קיצון מול מכמורת במים עמוקים

על בסיס התוצאות בטבלה מס' 4-4 ומאחר שמקדם הקורלציה הגבוה ביותר וסטיית התקן הקטנה ביותר (sum of squares of residuals) התקבלו עבור פרוס Weibull עם חזקה 2.0, נבחר בערכי רוחות הקיצון  $H_{s,max}$  עבור תקופות החזרה השונות. התאמת פרוס זה לנתוני המדידות השנתיות המרביות מוצגת באיור מס' 4.5.



### Weibull Distribution (k=2.00)

איור מס' 4.5 - פרוס וויבול, מקדם  $K=2.00$ , רמת אמינות של 90%  
גובה גל סיגניפיקנטי למצבי קיצון במים עמוקים מול מכמורת

#### 4.2.5 אומדן משטר הגלים הרב שנתי (שנתי, קיצי וחורפי) מול מכמורת במים עמוקים

בעמודים הבאים מוצגות בטבלאות ובצורה גרפית באיורים מס' 4.6 עד 4.10 את התוצאות שהתקבלו עבור אקלים הגלים הרב שנתי במים עמוקים מול חוף מכמורת. התוצאות מציגות טבלאות של שכיחות ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום (טבלה 4-5), של שכיחות ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וכיוון הגלים (טבלה 4-6) ושל זמן מחזור שיא הספקטרום וכיוון הגלים (טבלה מס' 4-7), וכן השכיחות השוליות של כל אחד מהפרמטרים הנ"ל בחלוקה שנתית, וכן גרפים הנותנים ביטוי גרפי לטבלאות התפלגויות אלה ולהתפלגויות העונתיות. בנספח 2.2.2 מוצג כל המידע השנתי הנ"ל וכן טבלאות וגרפים לעונת הקיץ ולעונת החורף.

כפי שהוסבר מקודם, הערכים המסכמים כדי לפצות עבור נתונים חסרים תוקנו על בסיס מקדם התיקון המתאים המוצג בטבלה מס' 4-2.





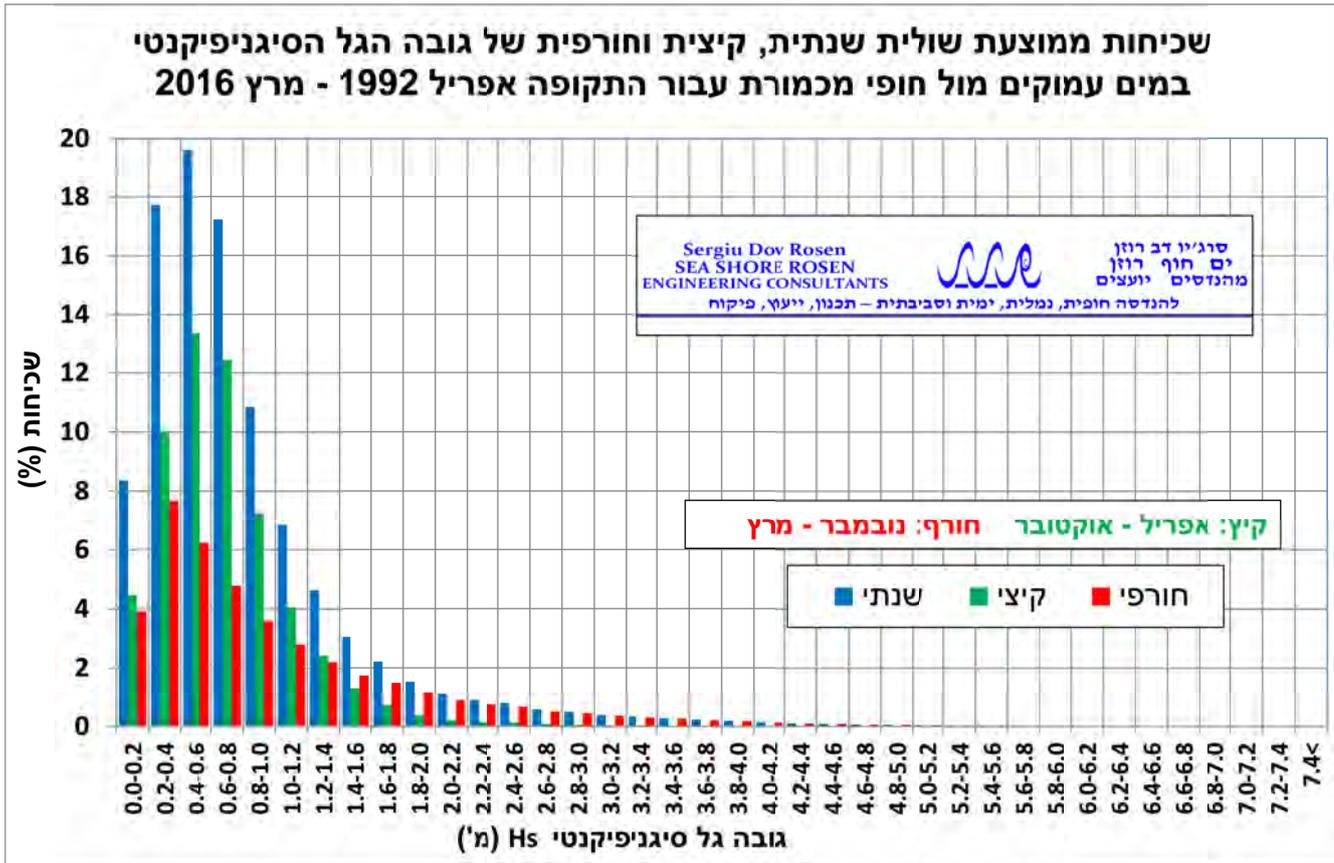




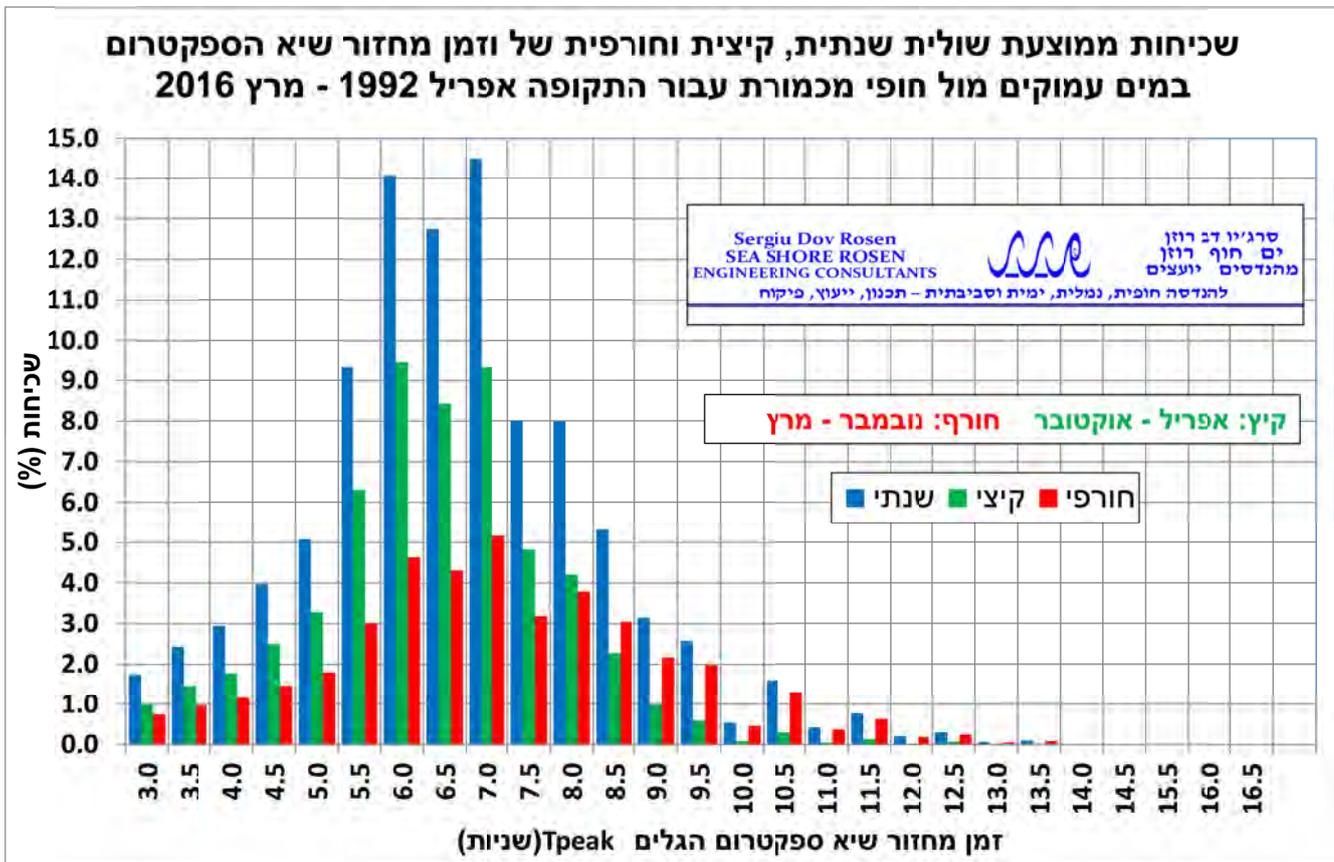
טבלה מס' 4-7

Tides(deg)	המפלגות כיוויות של יוני החודש השיא של הגלים כמות האנרגיה כיוון התקרבות הגלים																																			כנס שכיחות	כנס שכיחות (%)	כנס שכיחות (%) מתחת				
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340				350			
3.0-3.5	0.026	0.037	0.013	0.012	0.003	0.005	0.022	0.051	0.136	0.084	0.024	0.011	0.007	0.007	0.007	0.010	0.013	0.007	0.014	0.025	0.022	0.012	0.025	0.022	0.022	0.020	0.012	0.022	0.045	0.088	0.165	0.225	0.238	0.093	0.069	0.072	0.080	0.093	1.786	1.748		
3.5-4.0	0.061	0.075	0.041	0.036	0.027	0.017	0.016	0.073	0.072	0.032	0.014	0.017	0.021	0.025	0.019	0.018	0.018	0.022	0.030	0.022	0.030	0.022	0.030	0.022	0.030	0.022	0.030	0.022	0.030	0.022	0.030	0.022	0.030	0.022	0.030	0.022	0.030	0.022	0.030	0.022	2.432	2.432
4.0-4.5	0.076	0.111	0.046	0.051	0.040	0.032	0.037	0.049	0.045	0.028	0.018	0.025	0.029	0.034	0.027	0.023	0.022	0.034	0.056	0.078	0.088	0.080	0.075	0.063	0.054	0.082	0.102	0.124	0.171	0.169	0.169	0.175	0.148	0.181	0.225	0.257	3.010	2.947	3.010	2.947		
4.5-5.0	0.147	0.150	0.079	0.079	0.057	0.023	0.023	0.030	0.026	0.029	0.020	0.026	0.045	0.053	0.045	0.020	0.033	0.048	0.057	0.058	0.066	0.065	0.099	0.112	0.096	0.110	0.124	0.197	0.293	0.320	0.252	0.221	0.241	0.359	0.403	4.056	3.970	4.056	3.970			
5.0-5.5	0.140	0.146	0.080	0.046	0.033	0.018	0.015	0.018	0.016	0.015	0.014	0.019	0.018	0.017	0.011	0.009	0.017	0.011	0.025	0.042	0.066	0.071	0.079	0.103	0.121	0.158	0.237	0.446	0.559	0.500	0.401	0.354	0.368	0.466	0.543	5.188	5.079	5.188	5.079			
5.5-6.0	0.218	0.138	0.084	0.062	0.033	0.023	0.015	0.014	0.011	0.012	0.020	0.019	0.011	0.016	0.015	0.007	0.015	0.011	0.037	0.031	0.055	0.086	0.124	0.175	0.244	0.394	0.691	1.194	1.372	1.114	0.784	0.591	0.504	0.649	0.752	9.529	9.338	9.529	9.338			
6.0-6.5	0.121	0.092	0.059	0.041	0.025	0.019	0.013	0.010	0.013	0.013	0.008	0.012	0.017	0.006	0.008	0.008	0.008	0.008	0.006	0.012	0.020	0.029	0.049	0.072	0.127	0.243	0.402	0.721	1.557	2.552	2.707	1.880	1.095	0.646	0.551	0.654	14.392	14.088	14.392	14.088		
6.5-7.0	0.085	0.070	0.039	0.030	0.021	0.016	0.007	0.009	0.010	0.011	0.008	0.011	0.006	0.008	0.008	0.008	0.008	0.006	0.007	0.004	0.009	0.008	0.013	0.025	0.041	0.095	0.206	0.438	0.797	1.927	3.503	3.455	1.856	0.764	0.376	0.306	0.274	14.806	14.494	14.806	14.494	
7.0-7.5	0.082	0.069	0.050	0.042	0.030	0.022	0.014	0.010	0.013	0.008	0.010	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.006	0.007	0.004	0.009	0.008	0.013	0.025	0.041	0.095	0.206	0.438	0.797	1.927	3.503	3.455	1.856	0.764	0.376	0.306	0.274	14.806	14.494	14.806	14.494	
7.5-8.0	0.031	0.042	0.022	0.020	0.018	0.009	0.007	0.004	0.004	0.006	0.004	0.003	0.004	0.002	0.001	0.002	0.004	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	8.182	8.009	8.182	8.009	
8.0-8.5	0.021	0.031	0.015	0.016	0.010	0.005	0.004	0.005	0.004	0.005	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	8.182	7.988	8.182	7.988	
8.5-9.0	0.015	0.013	0.009	0.010	0.005	0.006	0.005	0.002	0.004	0.004	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	5.433	5.318	5.433	5.318	
9.0-9.5	0.008	0.007	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	3.220	3.152	3.220	3.152	
9.5-10.0	0.008	0.004	0.005	0.007	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	2.630	2.575	2.630	2.575	
10.0-10.5	0.002	0	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.553	0.541	0.553	0.541	
10.5-11.0	0.002	0.004	0.001	0.001	0.003	0.001	0.003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.655	1.601	1.655	1.601		
11.0-11.5	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.456	0.427	0.456	0.427			
11.5-12.0	0.002	0.002	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.786	0.770	0.786	0.770			
12.0-12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.210	0.206	0.210	0.206			
12.5-13.0	0.001	0	0.001	0.001	0	0.001	0.003	0	0.001	0.001	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.317	0.310	0.317	0.310			
13.0-13.5	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.164	0.163	0.164	0.163			
13.5-14.0	0.002	0	0.001	0.001	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.099	0.099	0.099	0.099		
14.0-14.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000		
14.5-15.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.015	0.014	0.015	0.014			
15.0-15.5	0.001	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.012	0.012	0.012	0.012		
15.5-16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.009	0.008	0.009	0.008			
16.0-16.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000		
16.5-17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.002	0.003	0.002		
כנס שכיחות (%)	1.047	0.990	0.546	0.456	0.312	0.198	0.188	0.279	0.359	0.249	0.244	0.150	0.160	0.169	0.188	0.155	0.121	0.129	0.169	0.213	0.303	0.335	0.466	0.622	0.915	1.665	2.894	6.014	12.339	19.571	18.335	11.020	5.685	3.425	3.010	3.506	3.633	100	97.891			
כנס שכיחות מתחת (%)	1.0253	0.9692	0.5349	0.4466	0.3049	0.1938	0.184	0.2733	0.3514	0.244	0.1463	0.1566	0.1654	0.1844	0.1512	0.1184	0.1230	0.1591	0.2085	0.297	0.3278	0.4565	0.6065	0.8958	1.5713	2.832	5.8875	12.274	19.158	17.948	10.979	5.5654	3.3572	2.9467	3.432	3.557	97.891	97.891				

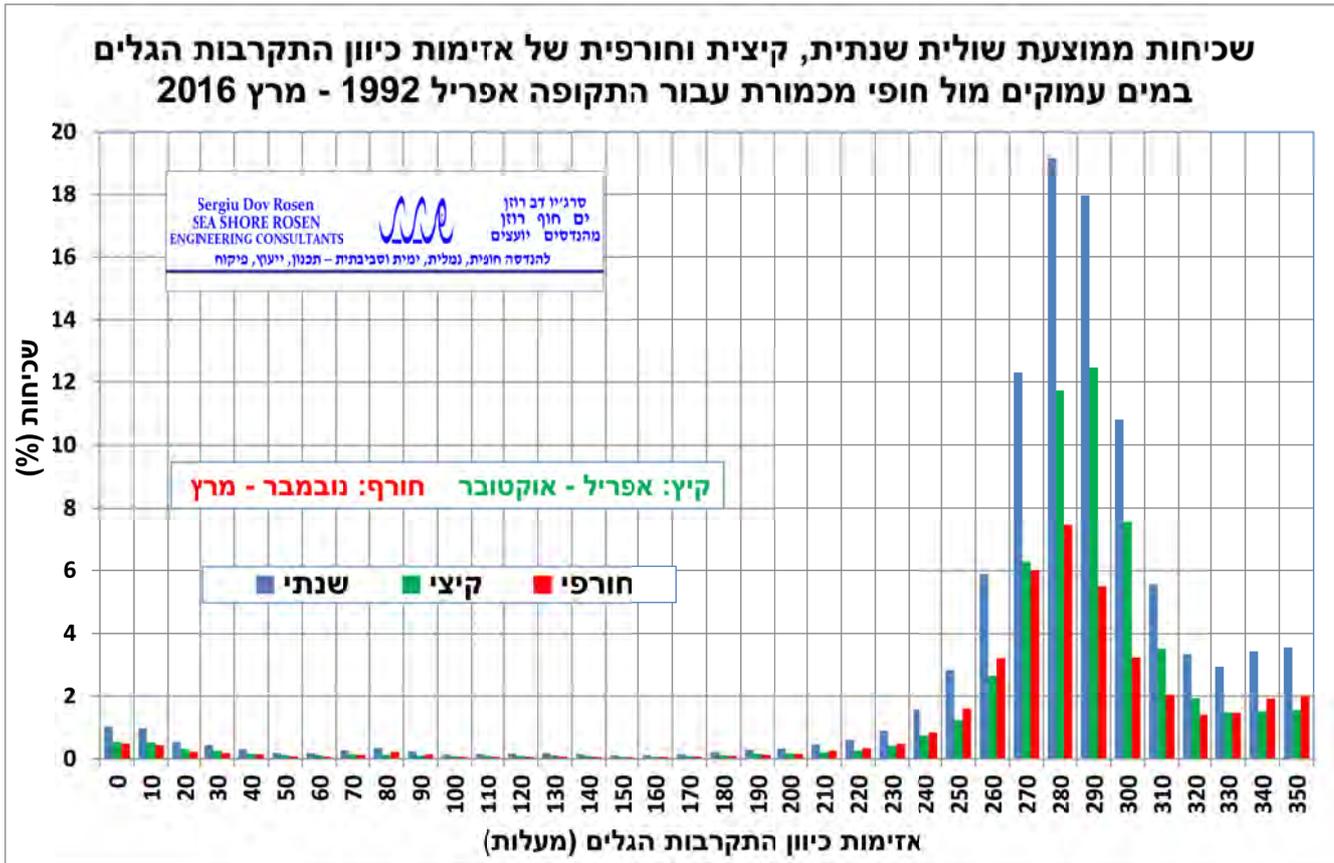
הקמת היקף ענף החודש החודש = 0.9789



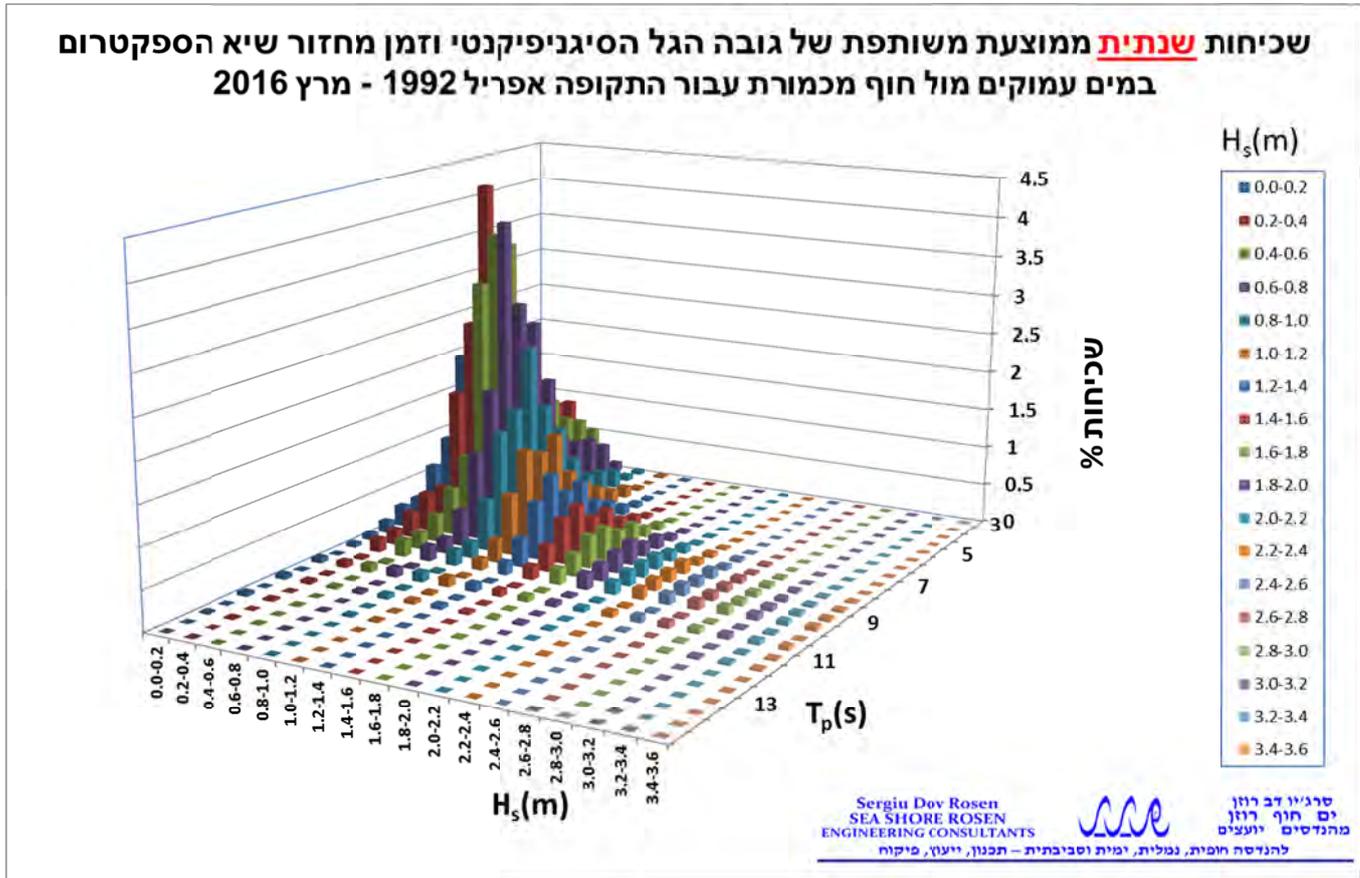
איור מס' 4.6



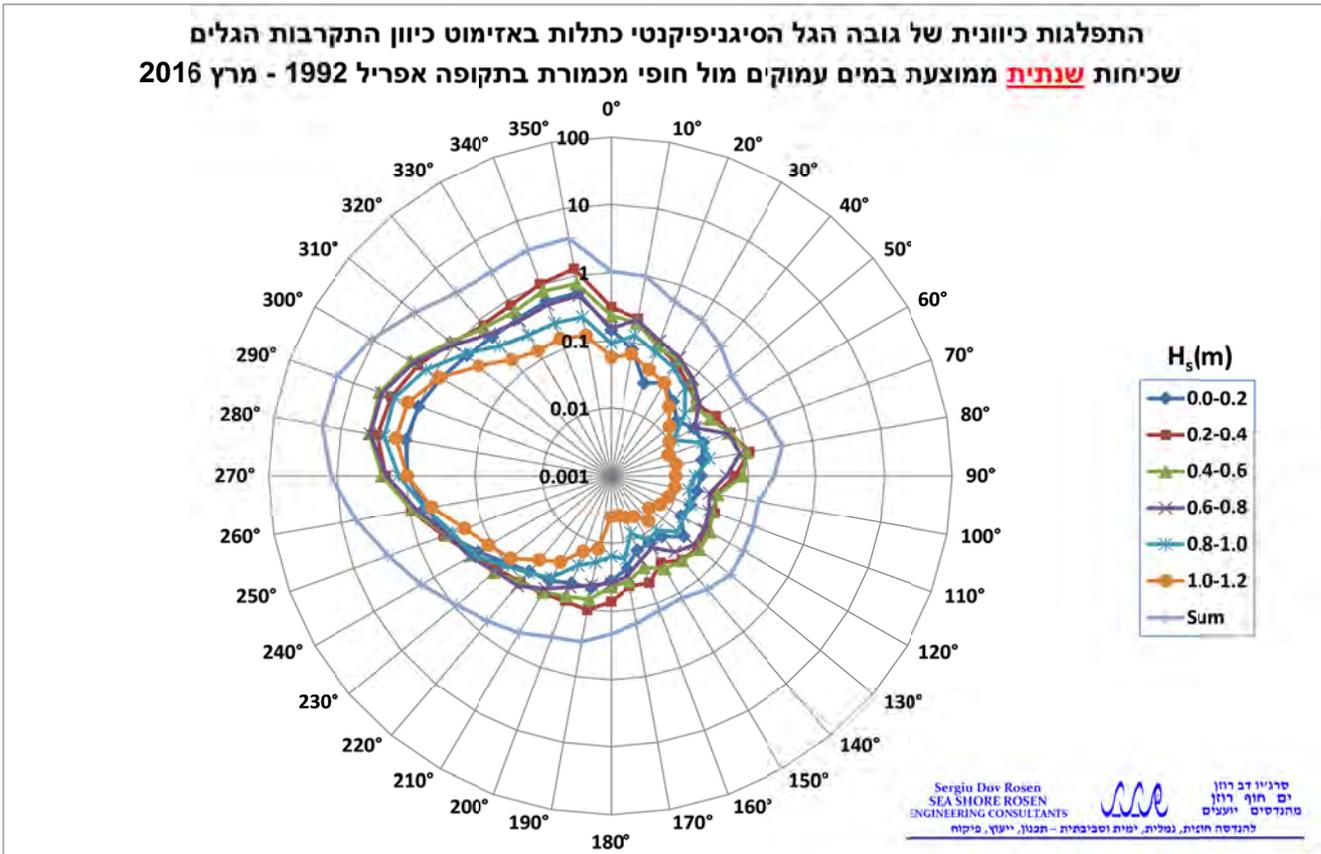
איור מס' 4.7



איור מס' 4.8



איור מס' 4.9



#### איור מס' 4.10

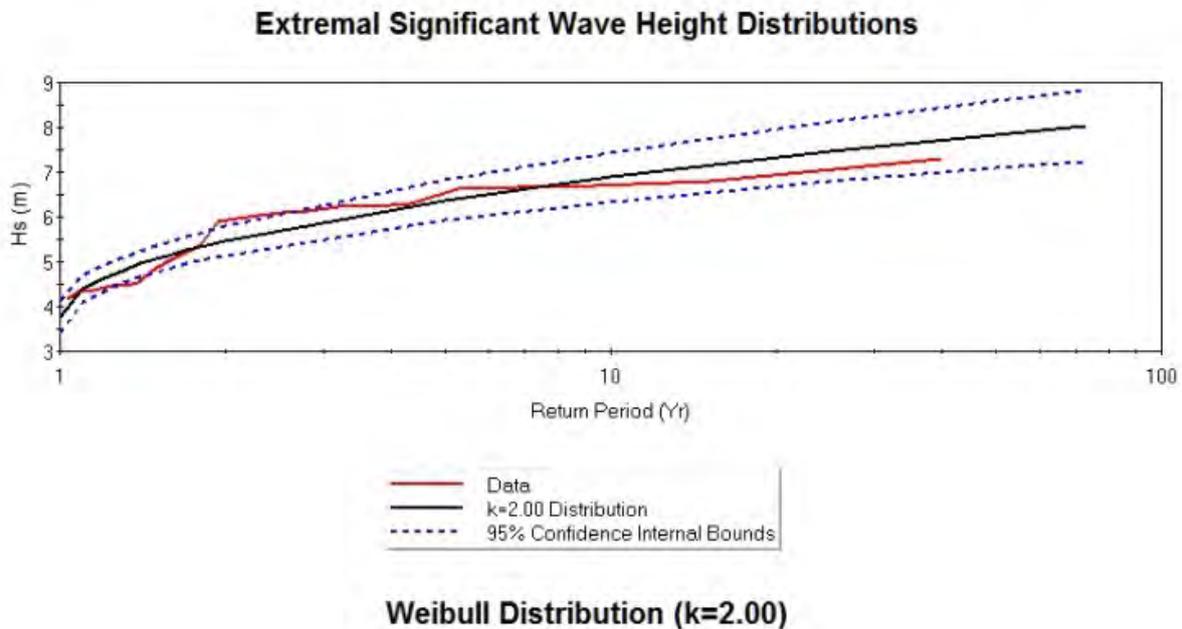
#### 4.2.6 אומדן של משטר הגלים במצבי קיצון נדירים מול מכמורת על קו עומק 60- מ'

נתוני גובהי הגלים הסיגניפיקנטיים שחושבו לקו עומק 60- מ' חולקו לפי שנים הידרוגרפיות, ובכל שנה אותרו הערכים השנתיים הגבוהים ביותר. ערכים אלה שימשו תשומה לבדיקת התאמתם ל-5 פונקציות הסתברות של הערכים הנדירים (ערכי הקיצון) עבור תקופות חזרה שונות. ריכוז התוצאות שהתקבלו מוצגים בטבלה מס' 4-8 להלן, וכלל התוצאות לקבלת אומדן ערכי קיצון לתקופות חזרה ממוצעות שונות של הגל המשמעותי על קו עומק 60- מ' מול במכמורת מוצגות בנספח 2.2.3. הבדיקה לקו עומק 60- מ' מול מכמורת נעשתה כדי לאפשר השוואה של התנאים באזור זה לעומת התנאים באזור אשדוד.

טבלה מס' 4-8 ערכי קיצון של גובה גל סינגיפיקנטי על בסיס 5 פרוסים שונים במכמורת על קו עומק 60- מ'

Case: Extremal significant						
Extremal Significant Wave Height Analysis						
N:	24	NU:	1			
NT:	24	K:	24			
Lambda:	1.00	Mean:	5.58			
Standard deviation:	0.97					
Weibull Distribution						
	FT-	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0	
Correlation:	0.94	0.82	0.88	0.93	0.96	
Sum square of residuals:	0.27	0.76	0.53	0.30	0.17	
Return Period (Yr)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	
2	5.44	5.28	5.31	5.38	5.47	
5	6.28	5.96	6.14	6.29	6.37	
10	6.83	6.58	6.77	6.87	6.89	
25	7.54	7.50	7.59	7.57	7.46	
50	8.06	8.25	8.22	8.06	7.84	
73	8.34	8.68	8.56	8.32	8.03	
100	8.57	9.05	8.85	8.52	8.19	
WARNING: RETURN PERIODS > 72 Yrs May Not Be Meaningful.						
95% Confidence Interval (Lower Bound - Upper Bound) Units: m						
Weibull Distribution						
Return Period (Yr)	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0	
5	5.8 - 6.7	5.2 - 6.8	5.5 - 6.8	5.8 - 6.8	5.9 - 6.8	
10	6.2 - 7.5	5.3 - 7.8	5.9 - 7.7	6.2 - 7.6	6.3 - 7.4	
25	6.7 - 8.4	5.6 - 9.4	6.3 - 8.9	6.7 - 8.5	6.8 - 8.1	
50	7.1 - 9.1	5.8 - 10.7	6.6 - 9.8	7.0 - 9.1	7.1 - 8.6	
73	7.3 - 9.4	5.9 - 11.5	6.8 - 10.3	7.2 - 9.4	7.2 - 8.8	
100	7.4 - 9.7	6.0 - 12.1	7.0 - 10.7	7.3 - 9.7	7.4 - 9.0	
Percent chance for significant wave height equalling or exceeding return period						
Return Period (Yr)	Period of concern (Yr)					
	2	5	10	25	50	73
2	75	97	100	100	100	100
5	36	67	89	100	100	100
10	19	41	65	93	99	100
25	8	18	34	64	87	95
50	4	10	18	40	64	77
73	3	7	13	29	50	63
100	2	5	10	22	39	52

על בסיס התוצאות בטבלה 4-8 ומאחר שמקדם הקורלציה הגבוהה ביותר וסטיית התקן הקטנה ביותר (sum square of residuals) התקבלו עבור פרוס Weibull עם חזקה 2.0, נבחר בערכי רוחות הקיצון  $H_{s,max}$  עבור תקופות החזרה השונות. התאמת פרוס זה לנתוני המדידות השנתיות המרביות מוצגת באיור מס' 4.11.



**איור מס' 4.11 פרוס וויבול, מקדם  $K=2.00$  רמת אמינות של 90%, גובה גל סיגניפיקנטי למצבי קיצון על קו עומק 60- מ' מול מכמורת**

#### 4.2.7 אומדן של משטר הגלים הרב שנתי (שנתי, קיצי וחורפי) מול מכמורת על קו עומק 60- מ'

בעמודים הבאים מוצגות בטבלאות ובצורה גרפית באיורים מס' 4.12 עד 4.16 התוצאות שהתקבלו עבור אקלים הגלים הרב שנתי על קו עומק 60- מ' מול חוף מכמורת. התוצאות מציגות טבלאות של שכיחות ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום (טבלה 4-9), של שכיחות ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וכיוון הגלים (טבלה 4-10) ושל זמן מחזור שיא הספקטרום וכיוון הגלים (טבלה מס' 4-11), וכן השכיחויות השוליות של כל אחד מהפרמטרים הנ"ל בחלוקה שנתית, וכן גרפים הנותנים ביטוי גרפי לטבלאות התפלגויות אלה כמו גם לשכיחות העונתית השולית. בנספח 2.2.4 מוצג כל המידע השנתי הנ"ל וכן טבלאות וגרפים לעונת הקיץ ולעונת החורף.

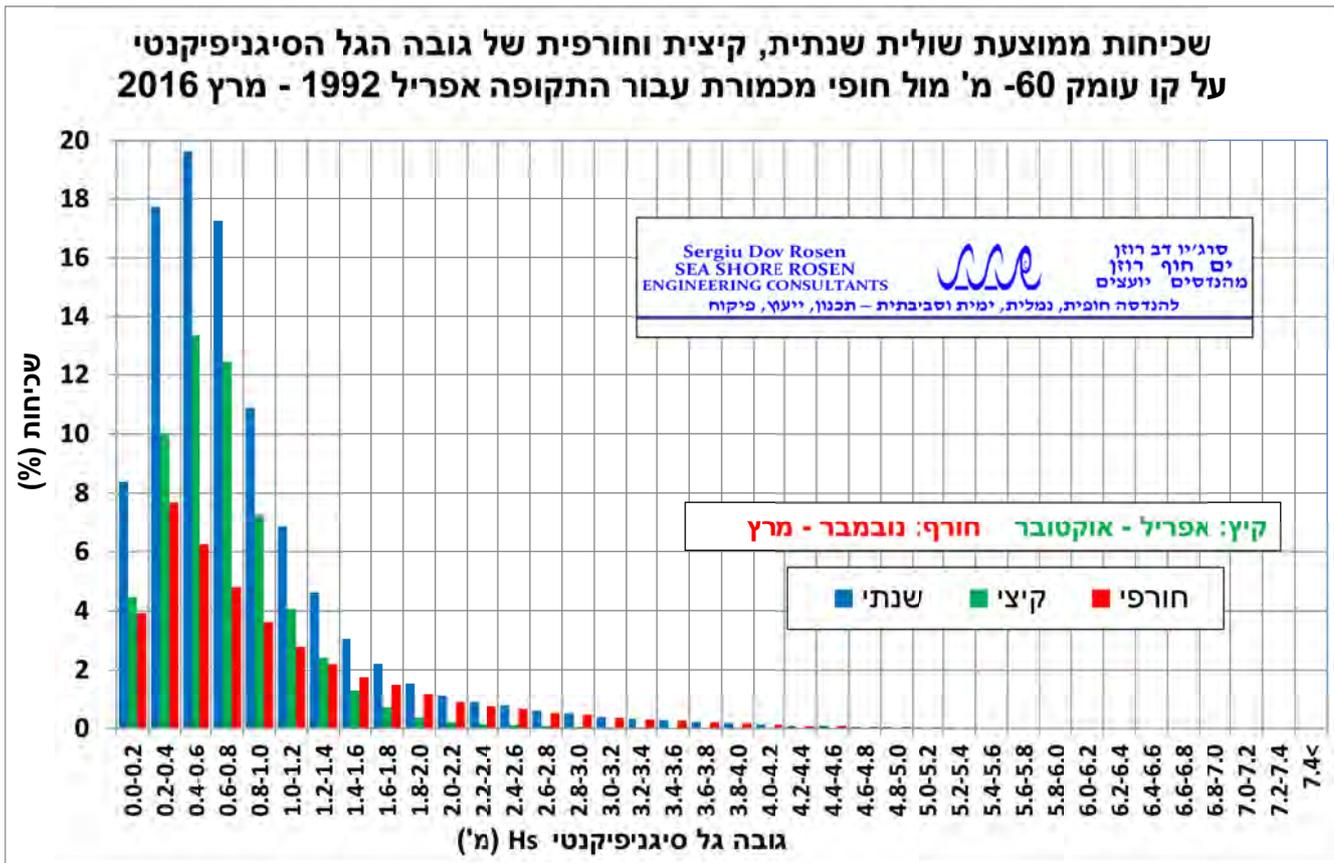
כפי שהוסבר מקודם, הערכים המסכמים כדי לפצות עבור נתונים חסרים תוקנו על בסיס מקדם התיקון המתאים המוצג בטבלה מס' 4-2.



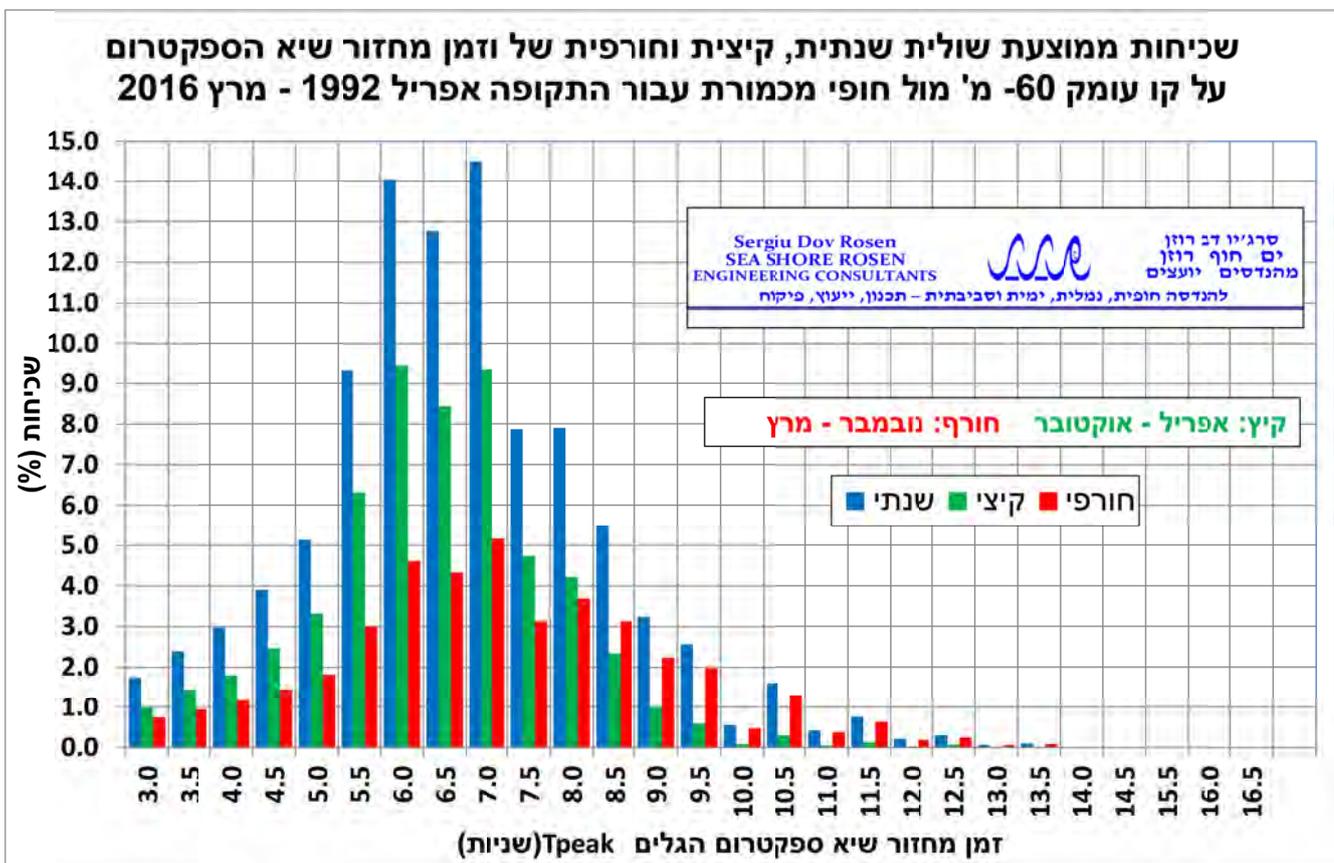




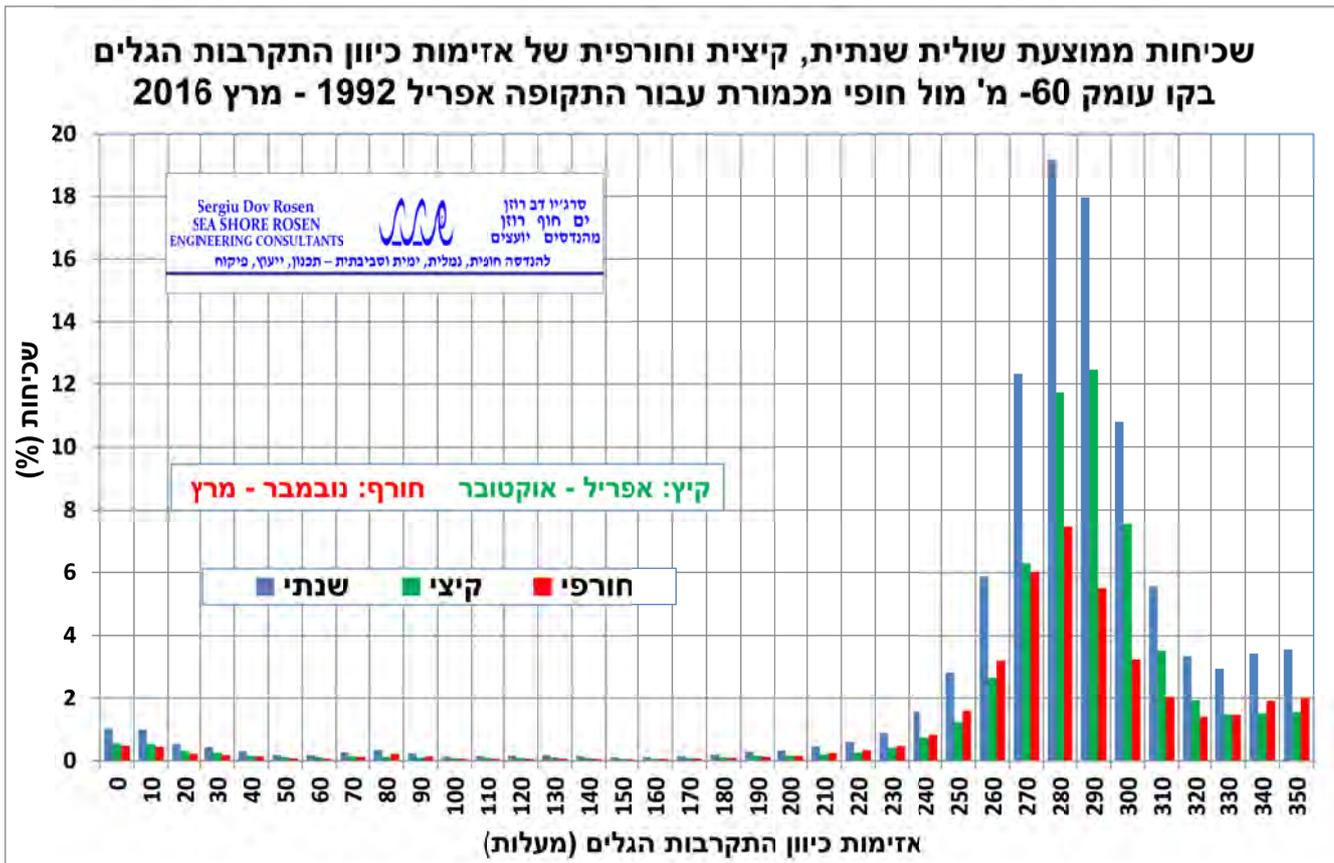




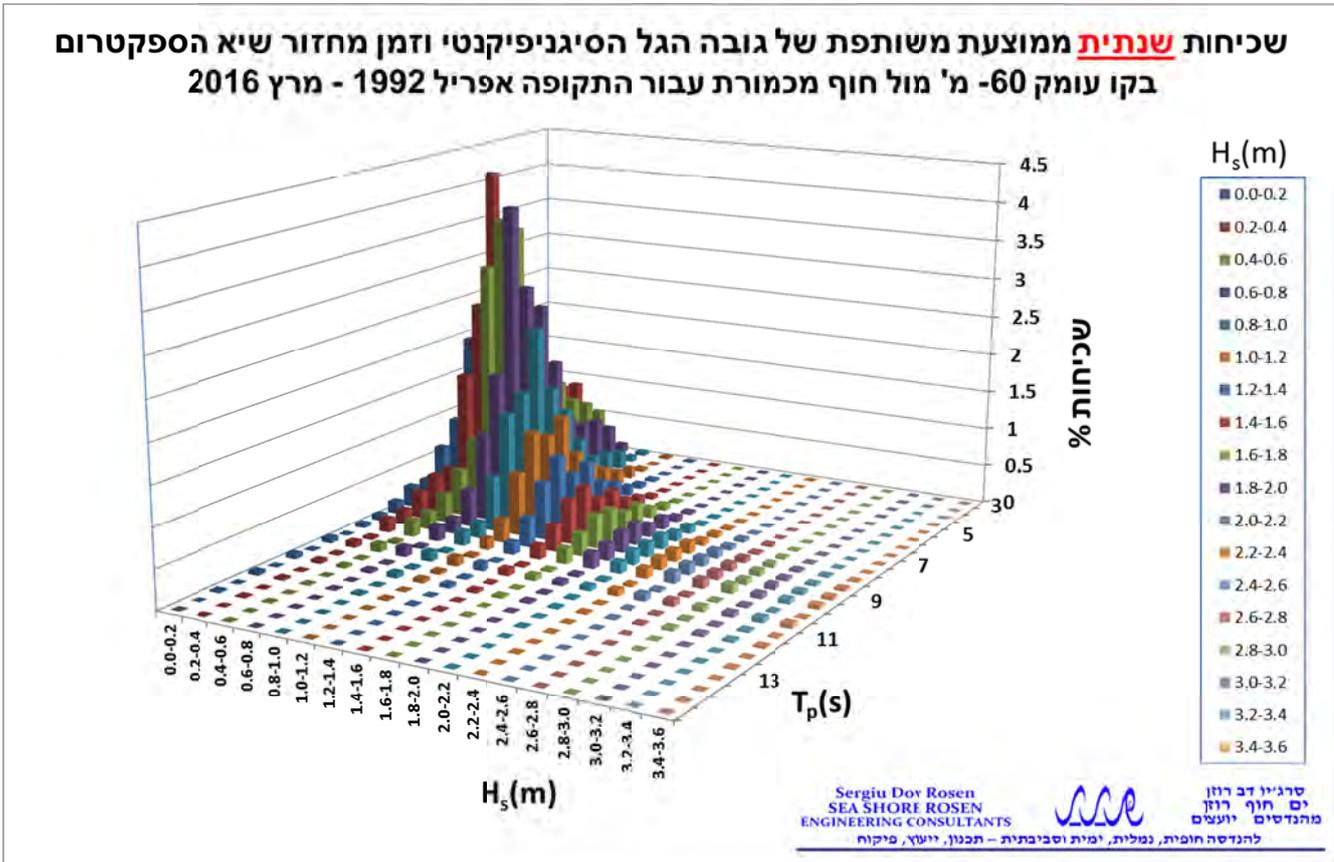
איור מס' 4.12



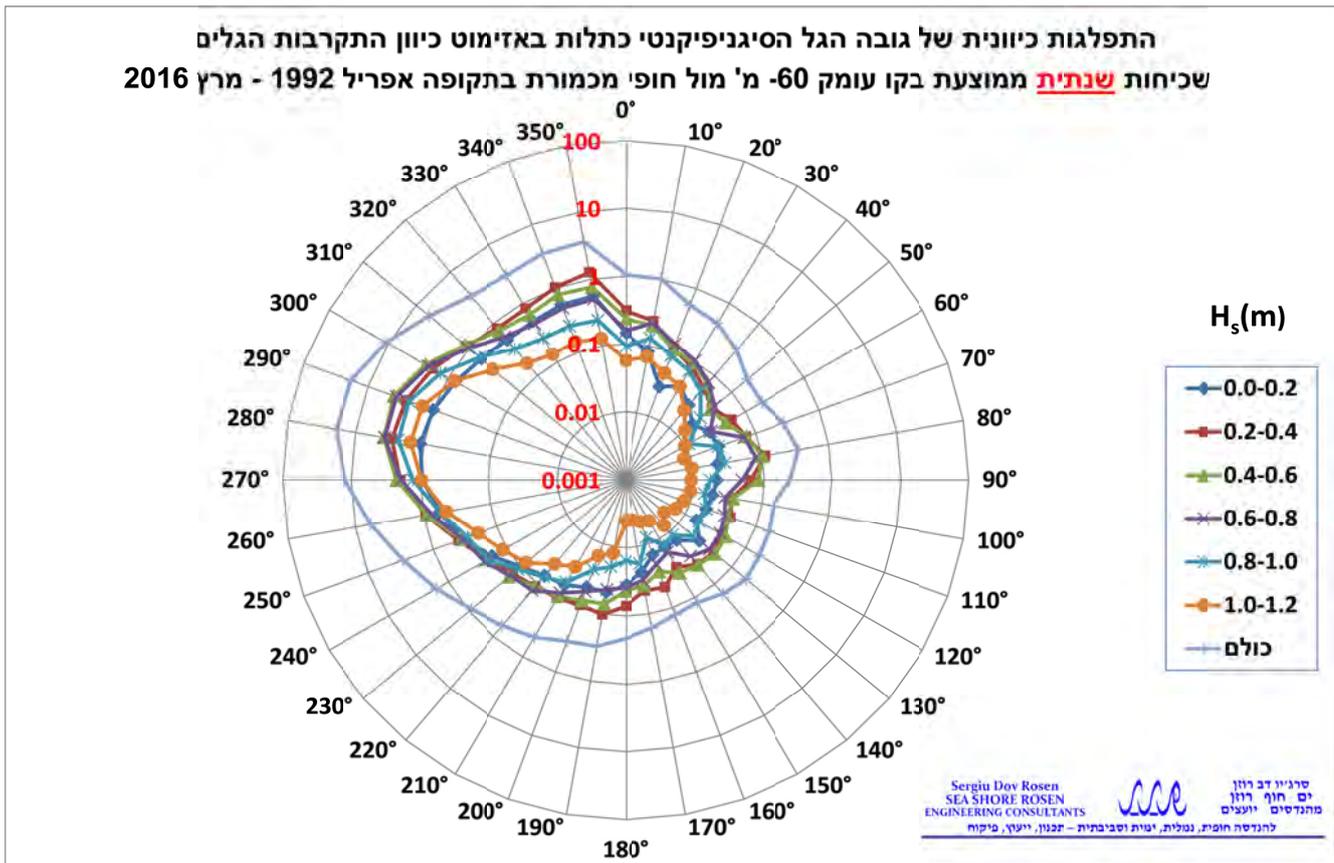
איור מס' 4.13



איור מס' 4.14



איור מס' 4.15



איור מס' 4.16

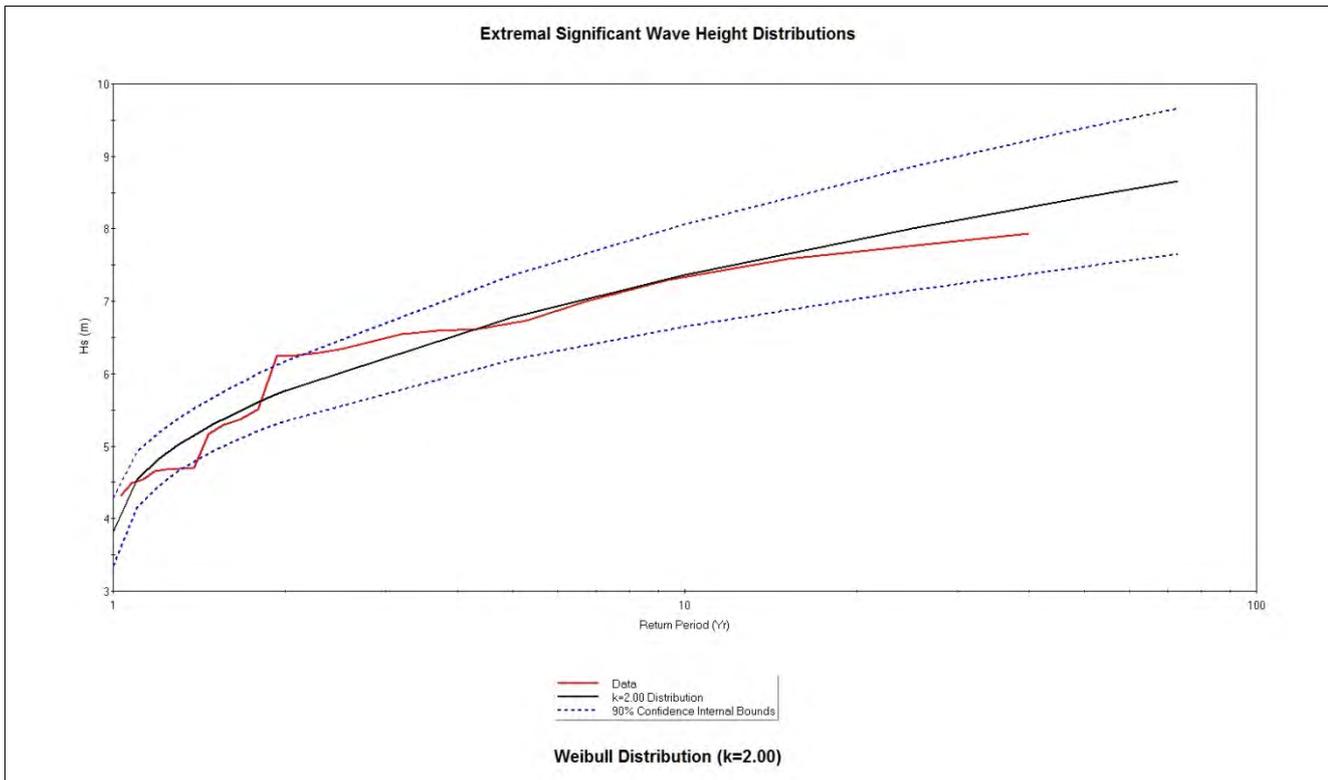
4.2.8 אומדן של משטר הגלים במצבי קיצון נדירים מול מכמורת על קו עומק 40- מ'

נתוני גובהי הגלים הסיגניפיקנטיים שחושבו לקו עומק 40- מ' חולקו לפי שנים הידרוגרפיות, ובכל שנה אותרו הערכים השנתיים הגבוהים ביותר. ערכים אלה שימשו תשומה לבדיקת התאמתם ל-5 פונקציות הסתברות של הערכים הנדירים (ערכי הקיצון) עבור תקופות חזרה שונות. ריכוז התוצאות שהתקבלו מוצגים בטבלה מס' 4-12 להלן, וכלל התוצאות לקבלת אומדן ערכי קיצון לתקופות חזרה ממוצעות שונות של הגל המשמעותי על קו עומק 40- מ' מול מכמורת מוצגות בנספח 2.2.5.

על בסיס התוצאות בטבלה 4-12 ומאחר שמקדם הקורלציה הגבוהה ביותר וסטיית התקן הקטנה ביותר (sum square of residuals) התקבלו עבור פרוס Weibull עם חזקה 2.0, נבחר בערכי הקיצון  $H_{s,max}$  עבור תקופות החזרה השונות. התאמת פרוס זה לנתוני המדידות השנתיות המרביות מוצגת באיור מס' 4.17.

טבלה מס' 4-12 ערכי קיצון של גובה גל סינגניפיקנטי על בסיס 5 פרסים שונים במכמורת על קו עומק 40- מ'

Extremal Significant Wave Height Analysis at 40m Depth Offshore Michmoret						
Case: EXTREME SIGNIFICANT WAVE HEIGHT ANALYSES						
N:	24	NU:	1			
NT:	24	K:	24			
Lambda:	1.00	Mean:	5.38			
Standard deviation:	0.95					
Weibull Distribution						
	FT-	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.00	
Correlation:	0.95	0.84	0.90	0.95	0.97	
Sum square of residuals:	0.22	0.71	0.46	0.25	0.13	
Return Period (Yr)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	
2	5.23	5.07	5.10	5.18	5.27	
5	6.07	5.76	5.93	6.08	6.16	
10	6.62	6.38	6.56	6.66	6.67	
25	7.32	7.31	7.39	7.36	7.24	
50	7.84	8.07	8.02	7.85	7.62	
73	8.12	8.51	8.37	8.10	7.81	
100	8.36	8.88	8.65	8.31	7.96	
WARNING: RETURN PERIODS > 72 Yrs May Not Be Meaningful.						
99% Confidence Interval (Lower Bound - Upper Bound) Units: m						
Weibull Distribution						
Return Period (Yr)	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0	
5	5.3 - 6.9	4.3 - 7.2	4.8 - 7.0	5.1 - 7.0	5.4 - 7.0	
10	5.5 - 7.7	4.2 - 8.6	5.0 - 8.2	5.4 - 7.9	5.7 - 7.6	
25	5.9 - 8.8	3.9 - 10.7	5.1 - 9.7	5.8 - 8.9	6.1 - 8.4	
50	6.1 - 9.6	3.7 - 12.4	5.2 - 10.8	6.0 - 9.7	6.3 - 8.9	
73	6.2 - 10.0	3.6 - 13.5	5.3 - 11.4	6.1 - 10.1	6.4 - 9.2	
100	6.3 - 10.4	3.5 - 14.3	5.3 - 12.0	6.2 - 10.4	6.5 - 9.4	
Percent chance for significant wave height equalling or exceeding return period						
Return Period (Yr)	Period of concern (Yr)					
	2	5	10	25	50	73
2	75	97	100	100	100	100
5	36	67	89	100	100	100
10	19	41	65	93	99	100
25	8	18	34	64	87	95
50	4	10	18	40	64	77
73	3	7	13	29	50	63
100	2	5	10	22	39	52



**איור מס' 4.17 פרוס וויבול, מקדם  $K=2.00$  רמת אמינות של 90%, גובה גל סיגניפיקנטי למצבי קיצון על קו עומק 40- מ' מול מכמורת**

**4.2.9 אומדן של משטר הגלים הרב שנתי (שנתי, קיצי וחורפי) מול מכמורת על קו עומק 40- מ'**

בעמודים הבאים מוצגות בטבלאות ובצורה גרפית באיורים מס' 4.18 עד 4.22 התוצאות שהתקבלו עבור אקלים הגלים הרב שנתי על קו עומק 40- מ' מול חוף מכמורת. התוצאות מציגות טבלאות של שכיחות ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וזמן מחזור שיא הספקטרום (טבלה מס' 4-13), של שכיחות ממוצעת משותפת של גובה הגל הסיגניפיקנטי וכיוון הגלים (טבלה מס' 4-14) ושל זמן מחזור שיא הספקטרום וכיוון הגלים (טבלה מס' 4-15), וכן השכיחות השוליות של כל אחד מהפרמטרים הנ"ל בחלוקה שנתית, וכן גרפים הנותנים ביטוי גרפי לטבלאות התפלגויות אלה וכן בחלוקה עונתית. בנספח 2.2.6 מוצג כל המידע השנתי הנ"ל וכן טבלאות וגרפים לעונת הקיץ ולעונת החורף.

כפי שהוסבר מקודם, כדי לפצות עבור נתונים חסרים תוקנו הערכים המסכמים על בסיס מקדם התיקון המתאים המוצג בטבלה מס' 4-2.



טבלה מס' 4-13

שכיחות שנתית ממוצעת משרות של גובה הגל הריגורפיקטי ריזון מרזור שיא הספקטרום בלי עומק 40- מ' מול חוף מנמורת עבור התקופה אפריל 1992 - מרץ 2016

H(m)\T(p)	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	סכום שכיחות (%)	סכום שכיחות מתוקן (%)	
0.0-0.2	0.145	0.270	0.302	0.605	1.039	1.664	1.955	0.914	0.619	0.564	0.265	0.164	0.078	0.055	0.010	0.069	0.013	0.062	0.006	0.051	0.003	0.023	0	0.001	0.008	0.004	0	0.001	8.599	8.408	
0.2-0.4	0.888	0.920	0.971	1.057	1.311	2.651	4.233	2.526	1.644	0.494	0.497	0.357	0.223	0.179	0.041	0.084	0.021	0.044	0.008	0.027	0.005	0.018	0	0.004	0.004	0.003	0	0.002	18.205	17.821	
0.4-0.6	0.537	0.728	0.879	1.185	1.488	2.353	3.517	3.695	3.134	0.967	0.599	0.377	0.214	0.222	0.035	0.102	0.019	0.032	0.004	0.013	0.004	0.009	0	0.002	0.001	0.002	0	0	20.117	19.693	
0.6-0.8	0.110	0.425	0.623	0.654	0.803	1.577	2.512	2.836	4.099	1.823	1.194	0.494	0.203	0.208	0.035	0.135	0.023	0.047	0.007	0.017	0.002	0.004	0	0.001	0	0	0	0	17.841	17.465	
0.8-1.0	0.049	0.099	0.227	0.300	0.339	0.652	1.139	1.525	2.388	1.615	1.474	0.730	0.222	0.173	0.033	0.124	0.025	0.063	0.014	0.027	0.006	0.002	0	0.002	0	0	0	0	11.198	10.961	
1.0-1.2	0.027	0.005	0.044	0.137	0.183	0.309	0.460	0.709	1.240	1.113	1.219	0.811	0.319	0.153	0.036	0.112	0.042	0.049	0.014	0.018	0.005	0.002	0	0.001	0	0	0	0	7.000	6.852	
1.2-1.4	0.014	0.001	0.008	0.037	0.064	0.121	0.260	0.370	0.709	0.642	0.952	0.738	0.381	0.165	0.103	0.019	0.044	0.010	0.015	0.006	0.003	0	0	0	0	0	0	0	4.681	4.582	
1.4-1.6	0.005	0	0.002	0.007	0.017	0.052	0.131	0.195	0.393	0.381	0.615	0.543	0.334	0.185	0.026	0.079	0.020	0.038	0.008	0.008	0.001	0.003	0	0	0	0	0	0	3.046	2.982	
1.6-1.8	0.002	0	0.001	0.002	0.007	0.025	0.081	0.134	0.269	0.257	0.371	0.400	0.284	0.209	0.037	0.066	0.017	0.035	0.007	0.010	0.002	0.002	0	0	0	0	0	0	2.217	2.170	
1.8-2.0	0	0	0	0	0.001	0.008	0.037	0.071	0.159	0.154	0.263	0.271	0.208	0.196	0.034	0.061	0.021	0.023	0.013	0.007	0.001	0.004	0	0.001	0	0	0	0	0	1.530	1.498
2.0-2.2	0	0	0	0	0.001	0.003	0.019	0.031	0.095	0.114	0.183	0.168	0.189	0.144	0.034	0.076	0.016	0.022	0.005	0.015	0.001	0.002	0	0.002	0	0	0	0	0	1.117	1.093
2.2-2.4	0.003	0	0	0	0.001	0.002	0.010	0.025	0.061	0.075	0.153	0.138	0.144	0.148	0.035	0.083	0.019	0.018	0.009	0.007	0.002	0.008	0	0	0.001	0	0	0	0.939	0.919	
2.4-2.6	0.003	0	0	0	0	0.005	0.012	0.043	0.055	0.083	0.111	0.132	0.120	0.036	0.086	0.017	0.022	0.004	0.007	0.001	0.003	0	0	0	0	0	0	0	0.737	0.721	
2.6-2.8	0.002	0	0	0	0	0.001	0.007	0.031	0.029	0.072	0.084	0.089	0.112	0.024	0.071	0.025	0.031	0.008	0.005	0.003	0.003	0	0	0.002	0	0	0	0	0.594	0.581	
2.8-3.0	0	0.002	0	0	0	0	0.003	0.008	0.008	0.047	0.073	0.073	0.073	0.093	0.063	0.025	0.041	0.006	0.009	0.002	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0.496	0.486	
3.0-3.2	0	0.002	0	0	0	0	0.001	0.009	0.010	0.032	0.038	0.058	0.068	0.036	0.060	0.021	0.029	0.006	0.006	0.004	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0.377	0.369	
3.2-3.4	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.006	0.019	0.031	0.046	0.057	0.010	0.059	0.025	0.025	0.006	0.010	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0.296	0.290	
3.4-3.6	0	0	0	0	0	0	0.001	0.002	0.003	0.016	0.027	0.046	0.045	0.014	0.059	0.015	0.028	0.011	0.010	0.002	0.002	0.002	0	0	0	0	0	0	0.278	0.272	
3.6-3.8	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.002	0.011	0.016	0.020	0.033	0.015	0.044	0.013	0.028	0.004	0.008	0.002	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0.197	0.193	
3.8-4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.005	0.011	0.020	0.018	0.006	0.032	0.010	0.028	0.008	0.007	0.002	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.159	0.155	
4.0-4.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.004	0.004	0.006	0.008	0.003	0.023	0.010	0.018	0.008	0.006	0.003	0.001	0	0	0	0	0	0	0.099	0.096	
4.2-4.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.002	0.009	0.011	0.006	0.016	0.009	0.018	0.009	0.007	0.002	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0.090	0.088	
4.4-4.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.005	0.005	0.004	0.009	0.007	0.010	0.007	0.006	0.003	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.056	0.054	
4.6-4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.002	0.005	0.002	0.006	0.004	0.007	0.007	0.009	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0.044	0.043	
4.8-5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.002	0.003	0.003	0.001	0.002	0.004	0.003	0.009	0.006	0.003	0.001	0.004	0	0	0	0	0	0	0.039	0.038	
5.0-5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.003	0.003	0.001	0.005	0.002	0.002	0.005	0.008	0.003	0.001	0.003	0	0	0	0	0	0	0.032	0.031	
5.2-5.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0	0.002	0	0.002	0.001	0.002	0.004	0.006	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.017	0.017	
5.4-5.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.003	0.005	0	0.001	0	0	0.001	0	0	0	0	0.015	0.015	
5.6-5.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.004	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0.014	0.013	
5.8-6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0.007	0.007	
6.0-6.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0.007	0.006	
6.2-6.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	
6.4-6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.004	0.004	
6.6-6.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.000	
6.8-7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.0-7.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.000	
7.2-7.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7.4+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
סכום שכיחות (%)	1.782	2.420	3.056	3.983	5.254	9.515	14.388	13.047	14.816	8.031	8.075	5.592	3.317	2.624	0.571	1.634	0.440	0.780	0.216	0.318	0.066	0.102	0	0.016	0.013	0.009	0	0.003	100.00	0.979	
סכום שכיחות מתוקן (%)	1.745	2.369	2.992	3.899	5.143	9.314	14.055	12.772	14.504	7.862	7.904	5.474	3.247	2.569	0.559	1.600	0.431	0.763	0.211	0.311											





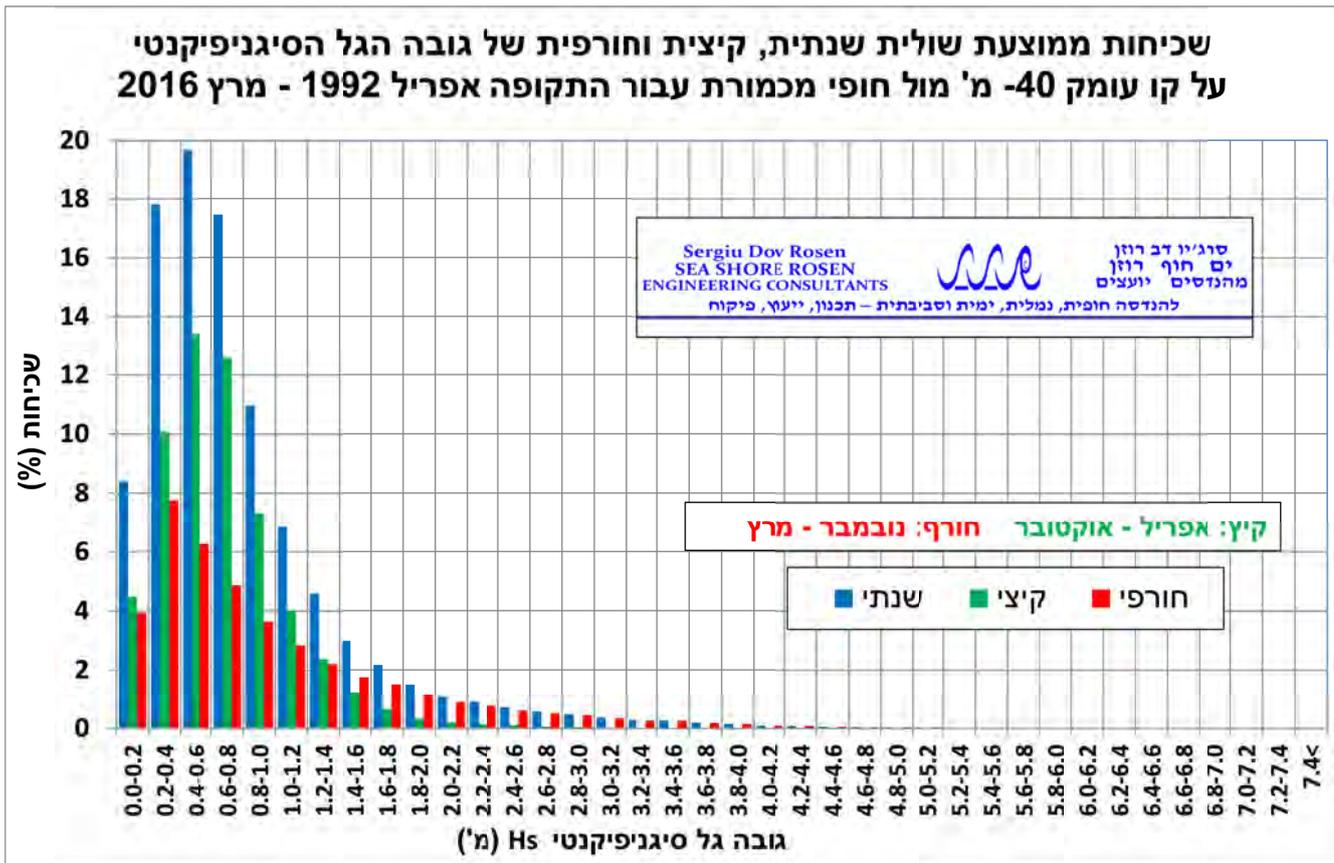


טבלה מס' 4-15

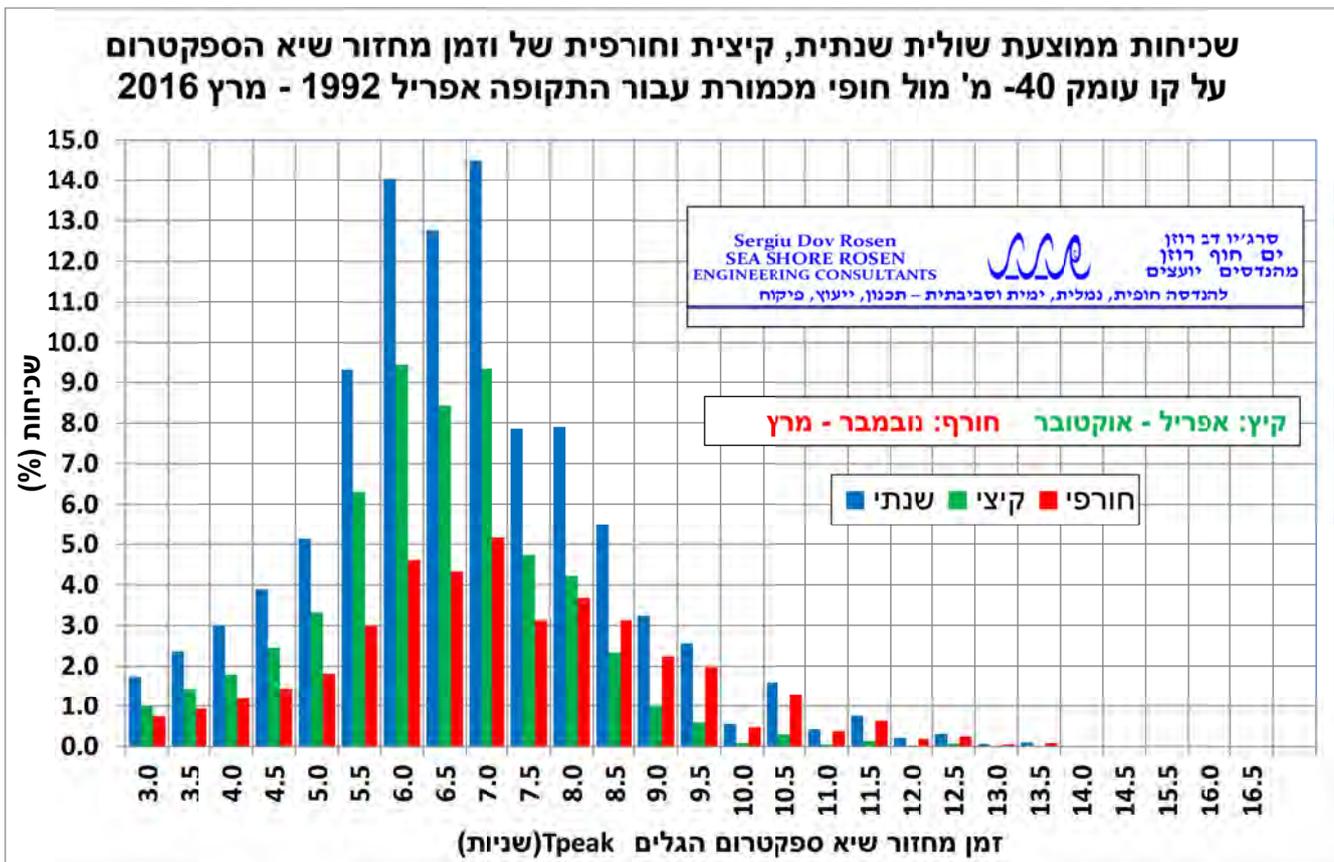
Tps(deg)	0										10										20										30										40										50										60										70										80										90										100										110										120										130										140										150										160										170										180										190										200										210										220										230										240										250										260										270										280										290										300										310										320										330										340										350										סכום שכיחויות (%)	סכום שכיחויות (מתוקן) (%)
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
3.0-3.5	0.026	0.037	0.013	0.012	0.003	0.005	0.022	0.051	0.136	0.084	0.024	0.011	0.007	0.007	0.010	0.013	0.007	0.012	0.024	0.022	0.020	0.022	0.020	0.012	0.022	0.045	0.088	0.165	0.224	0.236	0.093	0.069	0.072	0.080	0.093	1.782	1.745																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
3.5-4.0	0.055	0.072	0.040	0.036	0.027	0.017	0.016	0.069	0.067	0.029	0.014	0.017	0.021	0.025	0.019	0.018	0.018	0.022	0.030	0.034	0.035	0.044	0.042	0.048	0.057	0.072	0.102	0.150	0.191	0.213	0.182	0.140	0.118	0.127	0.120	1.420	2.369																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
4.0-4.5	0.086	0.115	0.047	0.051	0.040	0.032	0.036	0.052	0.051	0.030	0.018	0.025	0.029	0.034	0.027	0.023	0.022	0.034	0.035	0.078	0.066	0.082	0.075	0.066	0.064	0.082	0.102	0.124	0.176	0.167	0.174	0.174	0.154	0.184	0.225	3.056	2.992																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
4.5-5.0	0.141	0.148	0.079	0.079	0.057	0.023	0.023	0.030	0.025	0.030	0.020	0.026	0.044	0.053	0.045	0.024	0.020	0.033	0.047	0.057	0.053	0.066	0.092	0.097	0.111	0.095	0.108	0.124	0.191	0.284	0.317	0.250	0.215	0.234	0.348	3.993	3.899																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
5.0-5.5	0.146	0.148	0.080	0.046	0.033	0.018	0.015	0.018	0.015	0.015	0.014	0.019	0.018	0.017	0.011	0.011	0.009	0.017	0.011	0.025	0.042	0.066	0.073	0.081	0.104	0.123	0.160	0.234	0.451	0.567	0.501	0.404	0.356	0.373	0.479	5.254	5.148																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
5.5-6.0	0.218	0.138	0.084	0.062	0.033	0.023	0.015	0.014	0.011	0.012	0.020	0.019	0.011	0.016	0.015	0.007	0.015	0.011	0.015	0.036	0.031	0.035	0.036	0.124	0.174	0.243	0.393	0.682	1.190	1.371	1.111	0.777	0.592	0.505	0.650	9.515	9.314																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
6.0-6.5	0.172	0.092	0.059	0.041	0.025	0.019	0.013	0.010	0.013	0.013	0.008	0.012	0.017	0.006	0.008	0.008	0.006	0.010	0.012	0.011	0.018	0.022	0.029	0.030	0.110	0.200	0.337	0.755	1.551	2.684	2.966	1.705	0.831	0.400	0.355	0.360	14.055	14.358																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
6.5-7.0	0.086	0.070	0.039	0.030	0.021	0.016	0.007	0.009	0.010	0.011	0.008	0.011	0.008	0.009	0.006	0.007	0.004	0.009	0.008	0.013	0.011	0.011	0.025	0.041	0.094	0.206	0.440	0.795	1.528	3.501	3.454	1.863	0.762	0.375	0.306	0.316	12.772	12.772																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
7.0-7.5	0.091	0.069	0.050	0.042	0.030	0.022	0.018	0.009	0.007	0.004	0.006	0.004	0.003	0.004	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.010	0.012	0.024	0.041	0.106	0.246	0.519	1.126	2.058	1.959	0.876	0.377	0.159	0.120	14.504	14.504																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
7.5-8.0	0.031	0.042	0.022	0.020	0.018	0.010	0.005	0.004	0.004	0.005	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003	0.002	0.004	0.008	0.004	0.002	0.023	0.037	0.117	0.241	0.567	1.207	2.265	1.940	0.971	0.317	0.150	0.070	7.862	7.862																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
8.0-8.5	0.024	0.031	0.015	0.016	0.010	0.005	0.004	0.005	0.004	0.005	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	5.992	5.992																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
8.5-9.0	0.016	0.013	0.009	0.010	0.005	0.005	0.006	0.005	0.002	0.004	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	3.317	3.247																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
9.0-9.5	0.008	0.007	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	2.624	2.569																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
9.5-10.0	0.006	0.005	0.005	0.007	0.002	0.002	0.001	0.002	0.006	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.559	0.559																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
10.0-10.5	0.001	0	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.571	0.571																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
10.5-11.0	0.001	0.004	0.001	0.001	0.003	0.001	0.003	0	0	0.001	0.001	0.002	0	0	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	1.604	1.604																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
11.0-11.5	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.440	0.440																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
11.5-12.0	0.001	0.002	0.001	0	0.002	0	0.001	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.763	0.763																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
12.0-12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.216	0.216																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
12.5-13.0	0.001	0	0.001	0.001	0	0.001	0.003	0	0.001	0.001	0.003	0	0.001	0.002	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.311	0.311																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
13.0-13.5	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.066	0.066																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
13.5-14.0	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0	0.102	0.099																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
14.0-14.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
14.5-15.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.016	0.016																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
15.0-15.5	0.001	0	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.013	0.012																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
15.5-16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.009	0.008																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
16.0-16.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
16.5- סכום שכיחויות (%)	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0.003	0.002																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
17.5- סכום שכיחויות (מתוקן) (%)	1.077	0.991	0.546	0.456	0.311	0.198	0.188	0.279	0.359	0.249	0.150	0.160	0.169	0.188	0.155	0.121	0.129	0.163	0.213	0.303	0.330	0.442	0.621	0.903	1.390	2.875	5.971	12.652	19.702	18.310	11.005	5.624	3.428	3.000	3.493	3.636	100	0.979																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				

המקורות: בירורו של ירון מזרחי, השיא של הים התיכון בארצות הברית בירור המקומות היםיים  
 שכיחות שירותי המערכת על ידי התקופה (40-1) מול חופי מדינת ישראל בתקופה אפריל 1992 - מרץ 2016

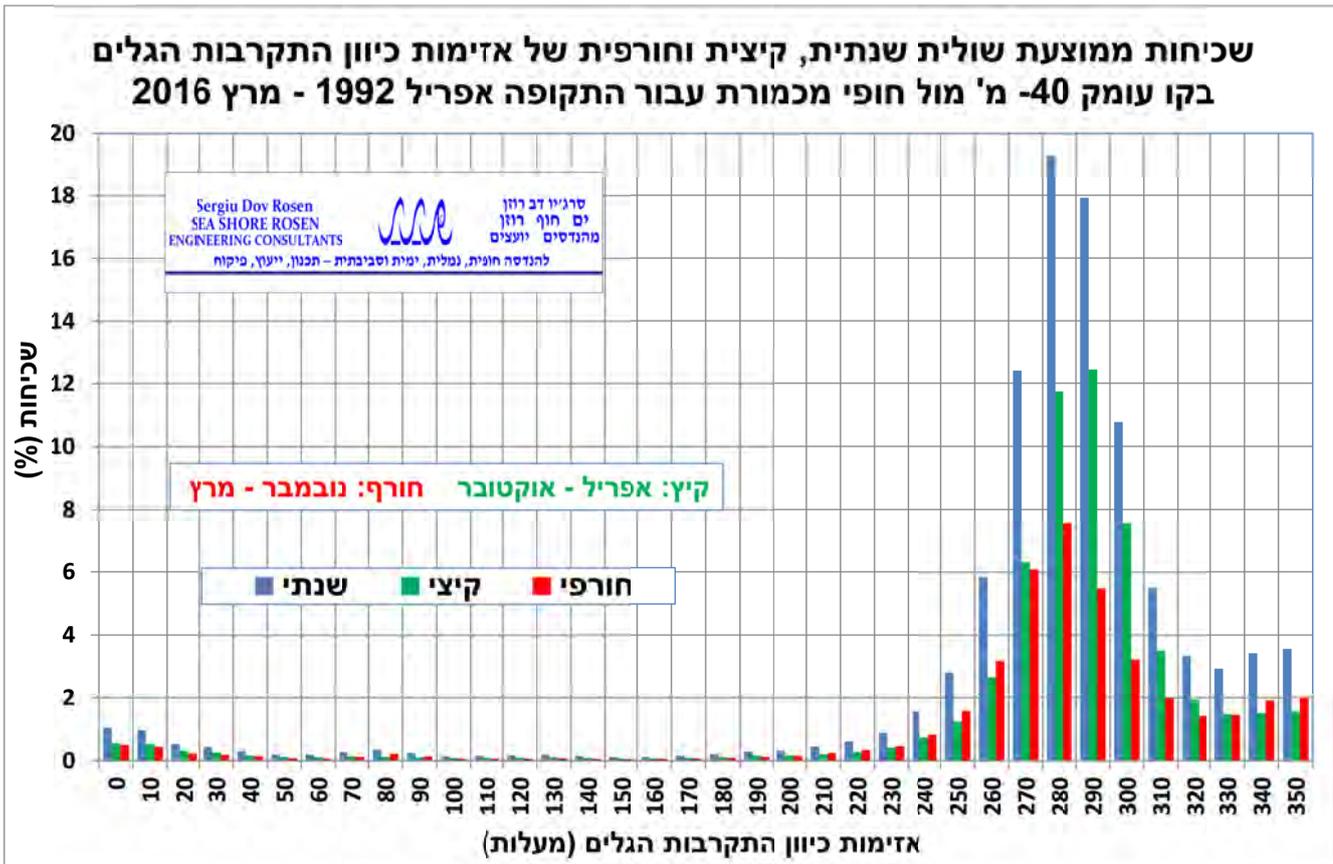
מקור: חקירת עובי מים מתחת = 0.9789



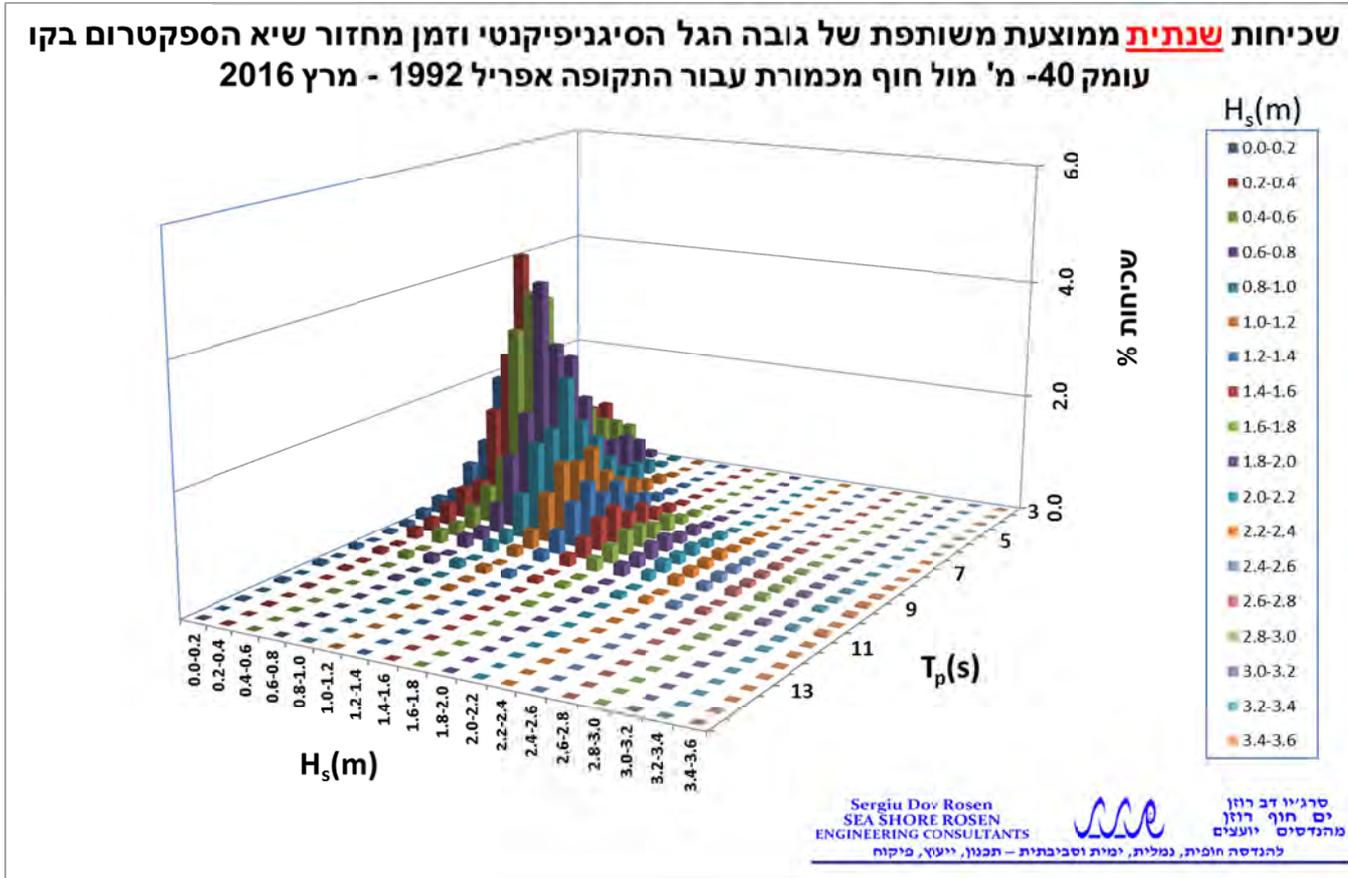
איור מס' 4.18



איור מס' 4.19



איור מס' 4.20



איור מס' 4.21



איור מס' 4.22

### 4.3 אפיון הזרמים באזור מכמורת

#### 4.3.1 עיבוד נתוני הזרמים לבנק נתוני זרמים בשלושה עומקים מתחת לפני הים על קו עומק 27- מ'

כפי שהוסבר בסעיף 1.2.3, לצורך אפיון הזרמים באזור מכמורת בתחום עומקי המים שמיועדים להצבה של כלובי דגים, לא נמצאו נתוני זרמים שבוצעו לאורך מספר שנים על מנת לאפיין בניתוח סטטיסטי את הזרמים שם. על כן, נאלצנו להסתפק בנתונים שנאספו בצורה מסודרת בקצה מזח הפחם בחדרה, וכן באשדוד מול שובר הגלים הראשי, על קווי עומק של 26.5- מ' ועד 28- מ'. המידע מחדרה היה זמין באופק של 11- מ' מתחת לפני הים מאז אפריל 1994 ועד מרץ 2015, ונוצר משילוב של מדידות מד זרם בנקודה קבועה 11 מ' מתחת לפני הים בתקופה עד 2008, ומדידות באמצעות מד גלים וזרמים ADCP מאז אפריל 2004 עד מרץ 2015 בכל עמודת המים במרווחים של חצי מטר. לאפיון הפרופיל הסטטיסטי של פרוס הזרמים בעמודת המים הוחלט לכן לנתח את מדידות הזרמים בעומקים של 4 מ', 11 מ' ו-22 מ' מפני המים. אמנם היו גם מדידות במפלסים עמוקים יותר וגם גבוהות יותר, אך בהם אחוז המדידות הטובות היה נמוך יותר, בגלל ההפרעות של הקרבה לקרקעית ולפני הים. יחד עם זאת, מאחר והיו גם חורים במדידות, במספר אירועי סערה, הוחלט להשתמש במקטעים החסרים במדידות מתל ברוך או מאשדוד, כאשר הכיוון של הזרם המדוד תוקן לפי היחס בין אזימות קו החוף במקום המדידה לעומת אזימות קו החוף בחדרה. דבר זה אפשר לקבל מדגם כמעט מלא (חוץ ממספק קטעים בהם לא היו מדידות בכל התחנות בו זמנית). נוצרו 3 בנקים של נתוני זרמים שעתיים (מהירות וכיוון ממוצע שעותי) ששימשו בהמשך לאפיון סטטיסטי של הזרימה על קו עומק 27 מ' בקרוב. הסיבה שאנו מציינים בקרוב נובעת מכך שמיקום המכשירים היה קבוע, אך מפלס פני הים השתנה במקצת במשך הזמן בתלות במועדי הים, הגלים והרוח. אומדן הזרימה במיקום קו עומק זה עדיין איננו נותן תשובה מוחלטת על הזרימה בקווי עומק 40- מ' ועד 60- מ'.

לשם כך, לצורך אומדן הזרמים הפועלים על כלוב \ חוות כלובים המוצבים שם היה צריך להשתמש במידע מהרצות המודלים שתוארו בפרק 1.2.3 ומהפרסומים המוזכרים שם. השיקולים לכך יוצגו בהמשך בשלב בחירת נתוני מצבי התכן.

4.3.2 אומדן של משטר הזרמים במצבי קיצון נדירים מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 4- מ' מפני הים

נתוני הזרמים בעומק 4- מ' מתחת לפני הים, על קו עומק 27- מ', חולקו לפי שנים הידרוגרפיות, ובכל שנה אותרו הערכים השנתיים הגבוהים ביותר. ערכים אלה שימשו תשומה לבדיקת התאמתם ל-5 פונקציות הסתברות של הערכים הנדירים (ערכי הקיצון) עבור תקופות חזרה שונות. ריכוז התוצאות שהתקבלו מוצגים בטבלה 4-16 להלן, וכלל התוצאות לקבלת אומדן ערכי קיצון לתקופות חזרה ממוצעות שונות של מהירות זרם מרבי בעומק 4- מ' מתחת לפני הים על קו עומק 27- מ' מול חדרה ומכמורת מוצגות בנספח 2.3.1.

על בסיס התוצאות בטבלה 4-16 ומאחר שמקדם הקורלציה הגבוהה ביותר וסטיית התקן הקטנה ביותר (square sum of residuals) התקבלו עבור פרוס Weibull עם חזקה 0.75, נבחר בערכי הקיצון של המהירות של הזרם  $V_{c,max}$  עבור תקופות החזרה השונות לפי פרוס זה. התאמת פרוס זה לנתוני המדידות השנתיות המרביות מוצגת באיור מס' 4.23.

**טבלה מס' 4-16 ערכי קיצון של מהירות הזרם בעומק 4- מ' על קו עומק 27- מ' לפי 5 פרוסים שונים מול מכמורת**

Case: EXTREMAL CURRENT STATISTICS

Hourly Averaged Current Speed Analysis Offshore Michmoret, 4m below sea surface on 27m depth contour

N:	11	NU:	1
NT:	11	K:	11
Lambda:	1.00	Mean:	83.37
Standard deviation:	27.48		

	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.00
Correlation:	0.94	0.98	0.98	0.95	0.92
Sum square of residuals:	0.16	0.05	0.09	0.13	0.17

Return Period (Yr)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)
2	79.53	72.37	74.43	77.40	80.27
5	104.09	97.14	101.52	104.35	105.38
10	120.35	119.61	122.01	121.72	119.70
25	140.89	152.94	149.10	142.52	135.63
50	156.13	180.42	169.59	157.13	146.21
73	164.40	196.14	180.78	164.80	151.59
100	171.26	209.57	190.09	171.02	155.88

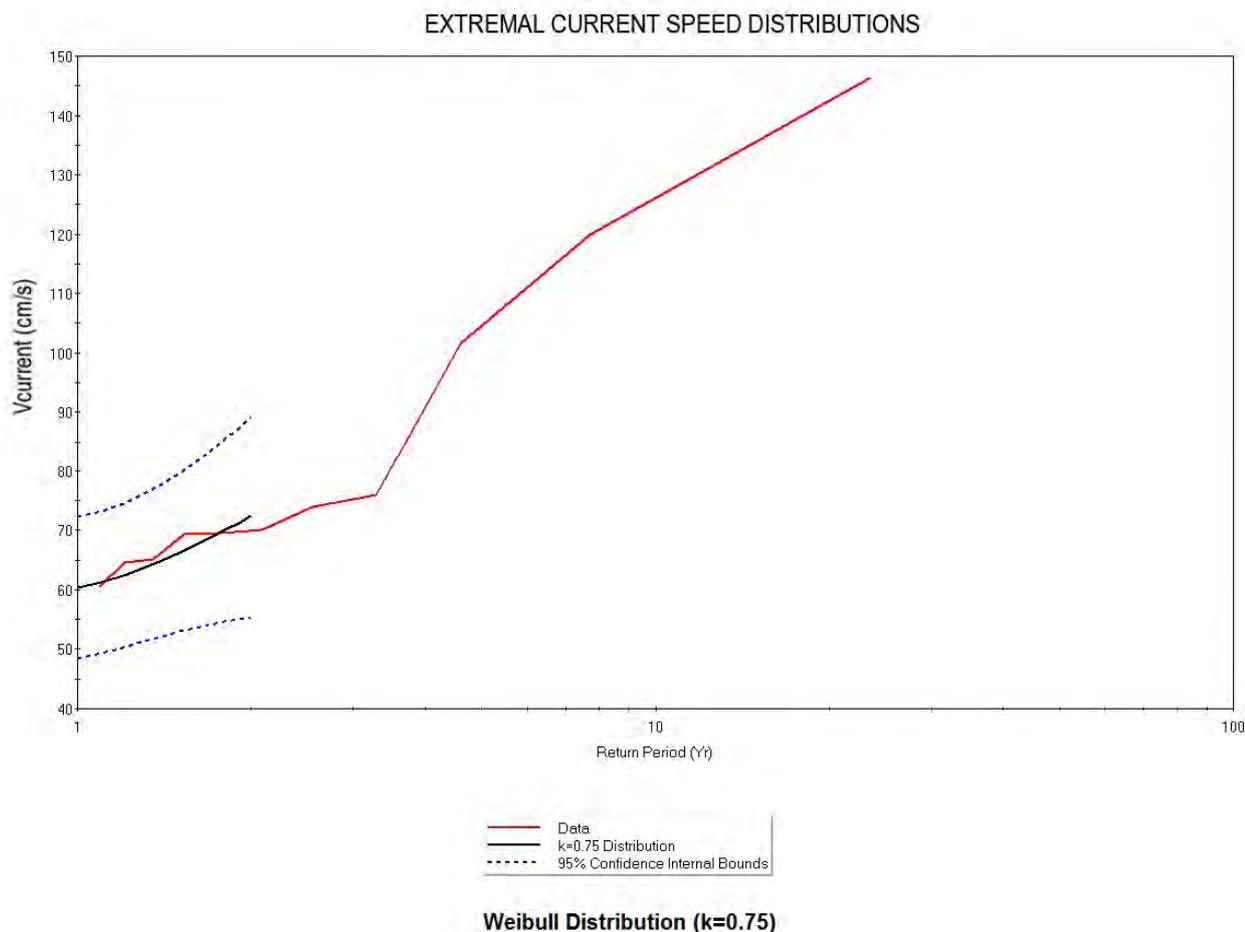
WARNING: Larger Vc Values are Questionable due to Limited Rec. Length

95% Confidence Interval (Lower Bound - Upper Bound) Units: cm/s

Return Period (Yr)	Weibull Distribution				
	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.00
5	82.9 - 125.2	58.1 - 136.2	71.2 - 131.8	79.2 - 129.5	84.1 - 126.7
10	91.5 - 149.2	58.5 - 180.8	77.8 - 166.3	88.4 - 155.0	93.4 - 146.0
25	101.8 - 180.0	58.4 - 247.5	85.9 - 212.4	99.0 - 186.1	103.6 - 167.7
50	109.1 - 203.1	58.2 - 302.6	91.8 - 247.4	106.3 - 208.0	110.2 - 182.2
73	113.1 - 215.7	58.1 - 334.2	95.0 - 266.5	110.0 - 219.5	113.6 - 189.6
100	116.4 - 226.2	58.0 - 361.2	97.7 - 282.5	113.1 - 228.9	116.2 - 195.6

Percent chance for Hourly Averaged Current Speed equalling or exceeding return period  
Return Period (Yr) Period of concern (Yr)

Return Period (Yr)	2	5	10	25	50	73
2	75	97	100	100	100	100
5	36	67	89	100	100	100
10	19	41	65	93	99	100
25	8	18	34	64	87	95
50	4	10	18	40	64	77
73	3	7	13	29	50	63
100	2	5	10	22	39	52



**איור מס' 4.23 פרוס וויבול, מקדם חזקה  $k=0.75$ , רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 4 מ' מתחת לפי הים מול מכמורת**

#### 4.3.3 אומדן של משטר הזרמים הרב שנתי מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 4- מ' מפני הים

בעמודים הבאים מוצגת בטבלה ובצורה גרפית באיורים מס' 4.24, 4.25 ו-4.26 התוצאות של השכיחות השולית של המהירות והכיוון של הזרמים ושל השכיחות המשותפת שלהם, שהתקבלו עבור **התקופת-התקופה** אפריל-2004-מרץ 2015 בעומק 4- מ' מפני הים, על קו עומק 27- מ' מול חוף מכמורת. התוצאות מציגות בטבלה 4-17 את ערכי השכיחות הממוצעת המשותפת של מהירות הזרם השעתי הממוצע ושל הכיוון הממוצע השעתי של הזרם, וכן השכיחויות השוליות של המהירות ושל הכיוון בחלוקה שנתית ועונתית. בנספח 2.3.2 מוצג כל המידע השנתי הנ"ל וכן טבלאות וגרפים לעונת הקיץ ולעונת החורף.

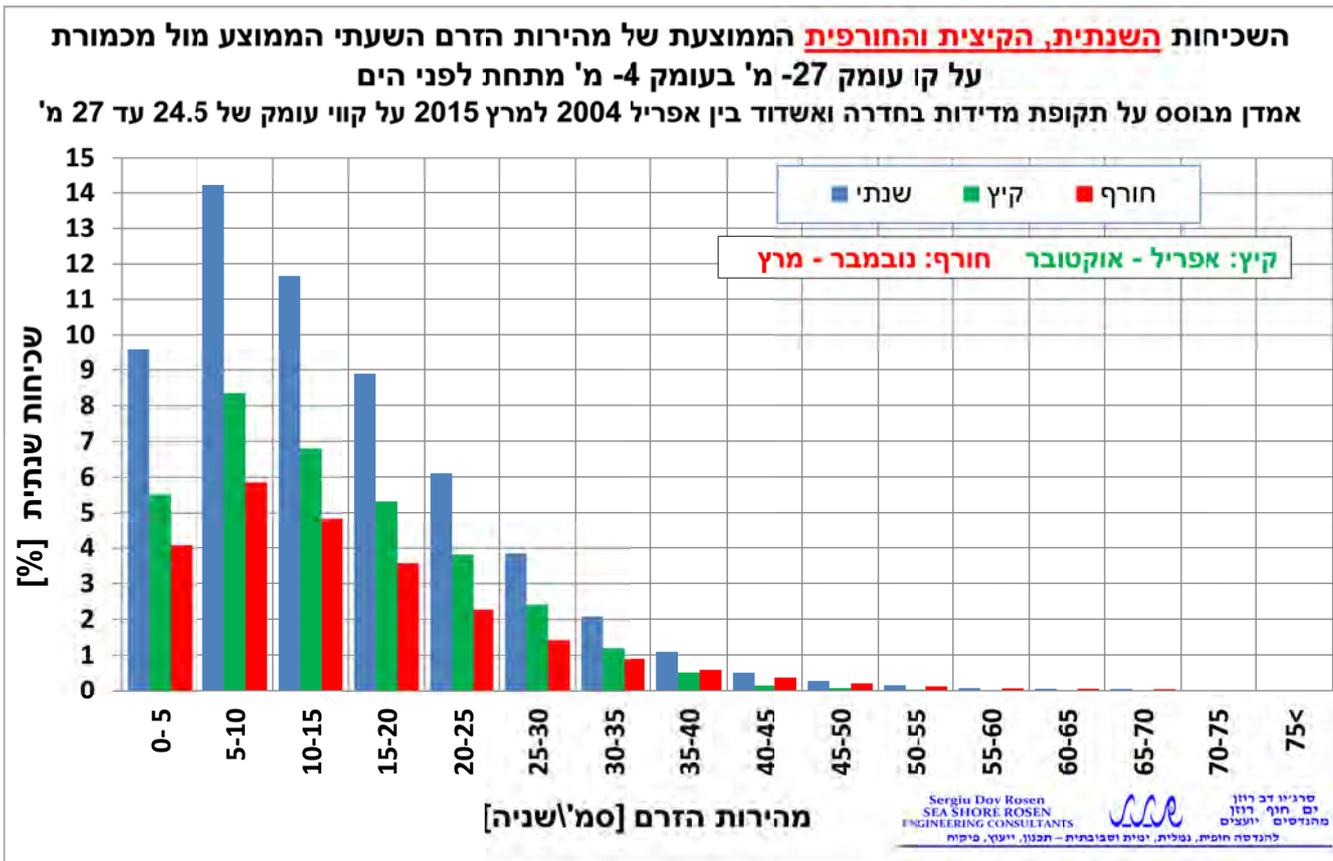
טבלה מס' 4-17

אמדן שכיחות משותפת ממוצעת **שנתית** של המהירות וכיוון הזרם השעתי הממוצע מול מכמורת על קו עומק 27 מ', בעומק 4 מ' מתחת לפני הים  
 אמדן מבוסס על תקופת מדידות במזדה ואשדוד בין אפריל 2004 לחודש 2015 על קווי עומק של 24.5 עד 27 מ'

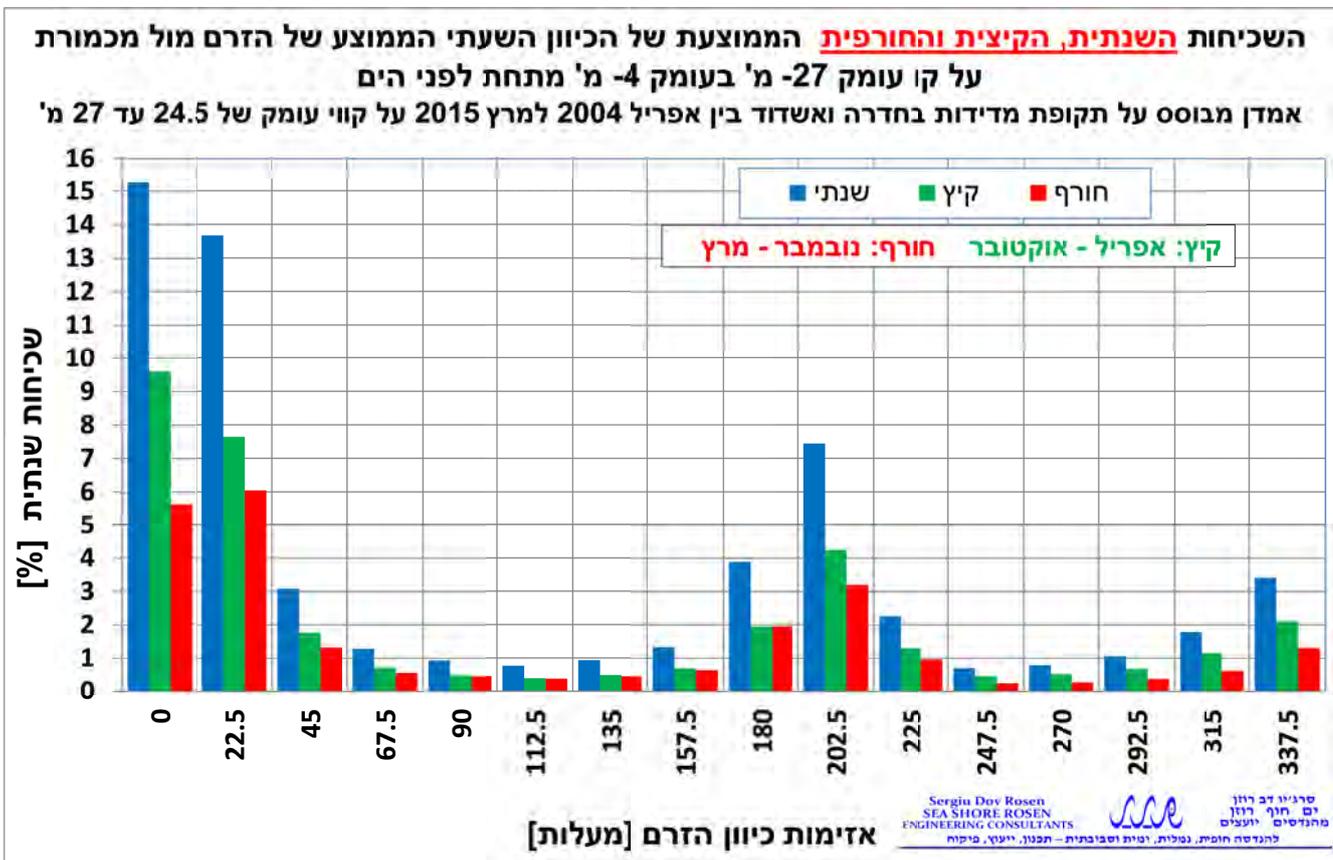
מרחק כיווני ארמור (מעלות)	מרחק כיווני ארמור (מעלות)																סכום שכיחויות (%)	סכום שכיחויות מתוקן (%)
	-11.25	11.25	33.75	56.25	78.75	101.25	123.75	146.25	168.75	191.25	213.75	236.25	258.75	281.25	303.75	326.25		
V[cm/s] Average Direction Az (deg)	0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5	16.37	9.594
0-5	1.38	1.44	1.21	1.00	0.93	0.77	0.81	0.79	0.95	1.13	0.99	0.79	0.92	0.97	1.06	1.22	16.37	9.594
5-10	4.03	3.50	1.77	0.85	0.55	0.44	0.59	0.95	2.00	2.91	1.21	0.37	0.40	0.76	1.56	2.37	24.25	14.213
10-15	5.82	3.90	1.13	0.27	0.09	0.08	0.17	0.37	1.69	3.56	0.76	0.05	0.03	0.07	0.38	1.51	19.88	11.649
15-20	5.63	4.11	0.58	0.05	0.02	0.01	0.03	0.13	1.05	2.55	0.44	0.00	0	0	0.03	0.54	15.17	8.889
20-25	4.19	3.61	0.31	0.01	0.00	0	0	0.04	0.50	1.39	0.24	0.00	0	0	0.00	0.13	10.41	6.101
25-30	2.56	2.76	0.16	0.00	0	0	0	0.00	0.29	0.65	0.11	0	0	0	0	0.03	6.57	3.848
30-35	1.35	1.67	0.08	0.00	0	0	0	0	0.10	0.29	0.06	0	0	0	0	0.02	3.56	2.084
35-40	0.61	1.06	0.03	0	0	0	0	0	0.03	0.10	0.03	0	0	0	0	0.01	1.85	1.085
40-45	0.21	0.55	0.02	0	0	0	0	0	0.01	0.05	0.02	0	0	0	0	0	0.87	0.507
45-50	0.10	0.32	0.00	0	0	0	0	0	0.01	0.03	0.00	0	0	0	0	0	0.47	0.274
50-55	0.06	0.16	0	0	0	0	0	0	0.01	0.03	0	0	0	0	0	0	0.25	0.149
55-60	0.03	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0.13	0.075
60-65	0.02	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.10	0.057
65-70	0.03	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0.048
70-75	0.01	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0.020
75<	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0
סכום שכיחויות (%)	26.04	23.33	5.27	2.18	1.59	1.30	1.59	2.27	6.63	12.70	3.86	1.21	1.35	1.81	3.04	5.83	100.00	58.603
סכום שכיחויות מתוקן (%)	15.262	13.674	3.088	1.280	0.932	0.765	0.932	1.332	3.886	7.440	2.261	0.709	0.793	1.058	1.780	3.416	58.603	

מקדם תיקון עבור מדידות חסרות = 0.586

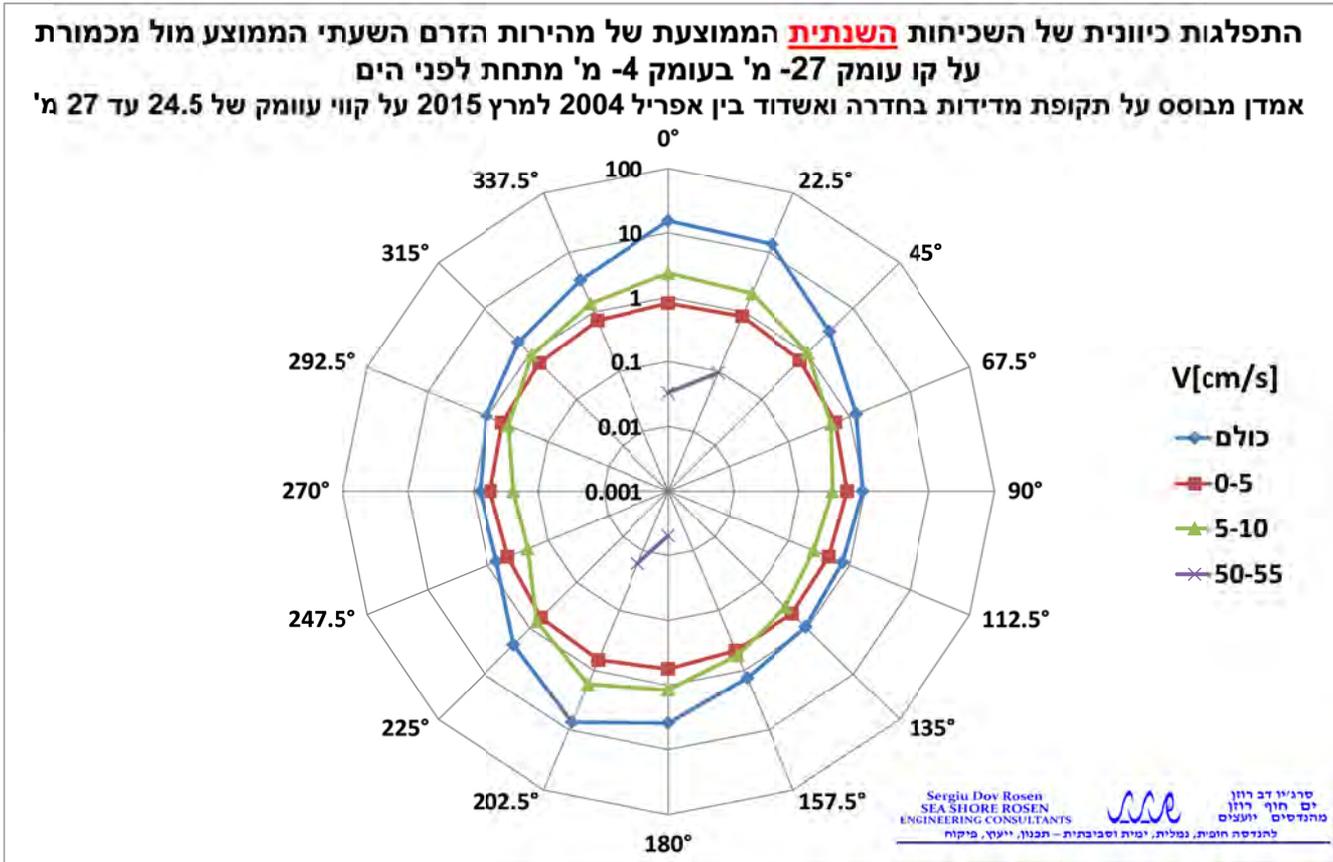




איור מס' 4.24



איור מס' 4.25



איור מס' 4.26

4.3.4 אומדן של משטר הזרמים במצבי קיצון נדירים מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 11- מ' מפני הים

נתוני הזרמים בעומק 11- מ' מתחת לפני הים, על קו עומק 27- מ', חולקו לפי שנים הידרוגרפיות, ובכל שנה אותרו הערכים השנתיים הגבוהים ביותר. ערכים אלה שימשו תשומה לבדיקת התאמתם ל-5 פונקציות הסתברות של הערכים הנדירים (ערכי הקיצון) עבור תקופות חזרה שונות. ריכוז התוצאות שהתקבלו מוצגים בטבלה מס' 4-18 להלן, וכלל התוצאות לקבלת אומדן ערכי קיצון לתקופות חזרה ממוצעות שונות של מהירות זרם מרבי בעומק 11- מ' מתחת לפני הים על קו עומק 27- מ' מול חדרה ומכמורת מוצגות בנספח 2.3.3.

על בסיס התוצאות בטבלה 4-18 מסתבר כי מקדם הקורלציה הגבוה ביותר הוא עבור פרוס Weibull עם חזקה 1.0 אך מיד אחרי גס לפרוס FT וגם לפרוס Weibull עם חזקה 1.4 יש מקדם קורלציה שווה (0.97) ומאידך סטיית התקן של כל אחד מהם (sum square of residuals) היא 0.05, נמוכה מאשר למקדם חזקה 1.0 (0.07). לכן במקרה זה ניתן לבחור בערכים של המהירות של הזרם  $V_{c,max}$  עבור תקופות החזרה השונות שהתקבלו מכל אחד משלושת הפרוסים או למצע את הערכים לכל תקופת חזרה שבטבלה 4-19. התאמת פרוס Weibull עם חזקה 1.0 לנתוני המדידות השנתיות המרביות מוצגת באיור מס' 4.27.

טבלה מס' 18-4 ערכי קיצון של מהירות הזרם בעומק 11- מ' על קו עומק 27- מ' לפי 5 פרוסים שונים מול מכמורת

Case: EXTREMAL CURRENT STATISTICS  
 Hourly Averaged Current Speed Analysis Offshore Michmoret, 11m below sea surface on 27m depth contour

N:	21	NU:	1
NT:	21	K:	21
Lambda:	1.00	Mean:	72.13
Standard deviation:	20.97		

Weibull Distribution

	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.00
Correlation:	0.97	0.97	0.98	0.97	0.95
Sum square of residuals:	0.05	0.29	0.07	0.05	0.06

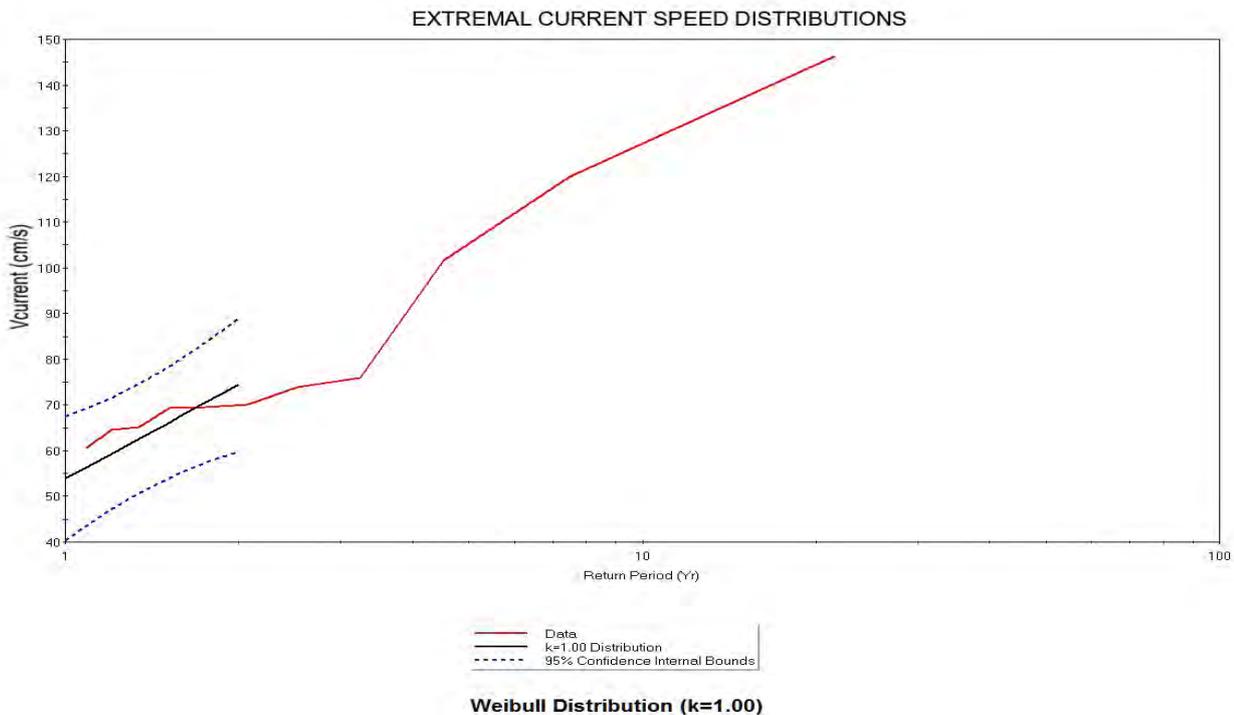
Return Period (Yr)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)
2	68.95	64.15	65.49	67.61	69.75
5	87.78	81.95	85.52	88.03	89.14
10	100.25	98.09	100.67	101.19	100.19
25	116.00	122.04	120.69	116.96	112.49
50	127.69	141.77	135.84	128.04	120.66
73	134.03	153.06	144.11	133.84	124.81
100	139.29	162.71	150.99	138.56	128.13

WARNING: Larger Vc Values are Questionable due to Limited Rec. Length  
 95% Confidence Interval (Lower Bound - Upper Bound) Units: cm/s

Return Period (Yr)	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0
5	76.9 - 98.6	63.0 - 100.9	70.6 - 100.4	75.6 - 100.5	78.4 - 99.9
10	85.7 - 114.8	68.6 - 127.5	79.2 - 122.1	84.9 - 117.5	87.2 - 113.2
25	96.5 - 135.5	76.7 - 167.4	90.2 - 151.1	95.9 - 138.1	96.8 - 128.2
50	104.3 - 151.1	83.2 - 200.3	98.5 - 173.2	103.5 - 152.6	103.1 - 138.2
73	108.6 - 159.5	86.9 - 219.2	102.9 - 185.3	107.4 - 160.2	106.3 - 143.3
100	112.1 - 166.5	90.1 - 235.3	106.7 - 195.3	110.7 - 166.5	108.9 - 147.4

Percent chance for Hourly Averaged Current Speed equalling or exceeding return period  
 Return Period (Yr) Period of concern (Yr)

	2	5	10	25	50	73
2	75	97	100	100	100	100
5	36	67	89	100	100	100
10	19	41	65	93	99	100
25	8	18	34	64	87	95
50	4	10	18	40	64	77
73	3	7	13	29	50	63
100	2	5	10	22	39	52



איור מס' 4.27 פרוס וויבול, מקדם חזקה  $k=1.00$ , רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 11 מ' מתחת לפי הים מול מכמורת

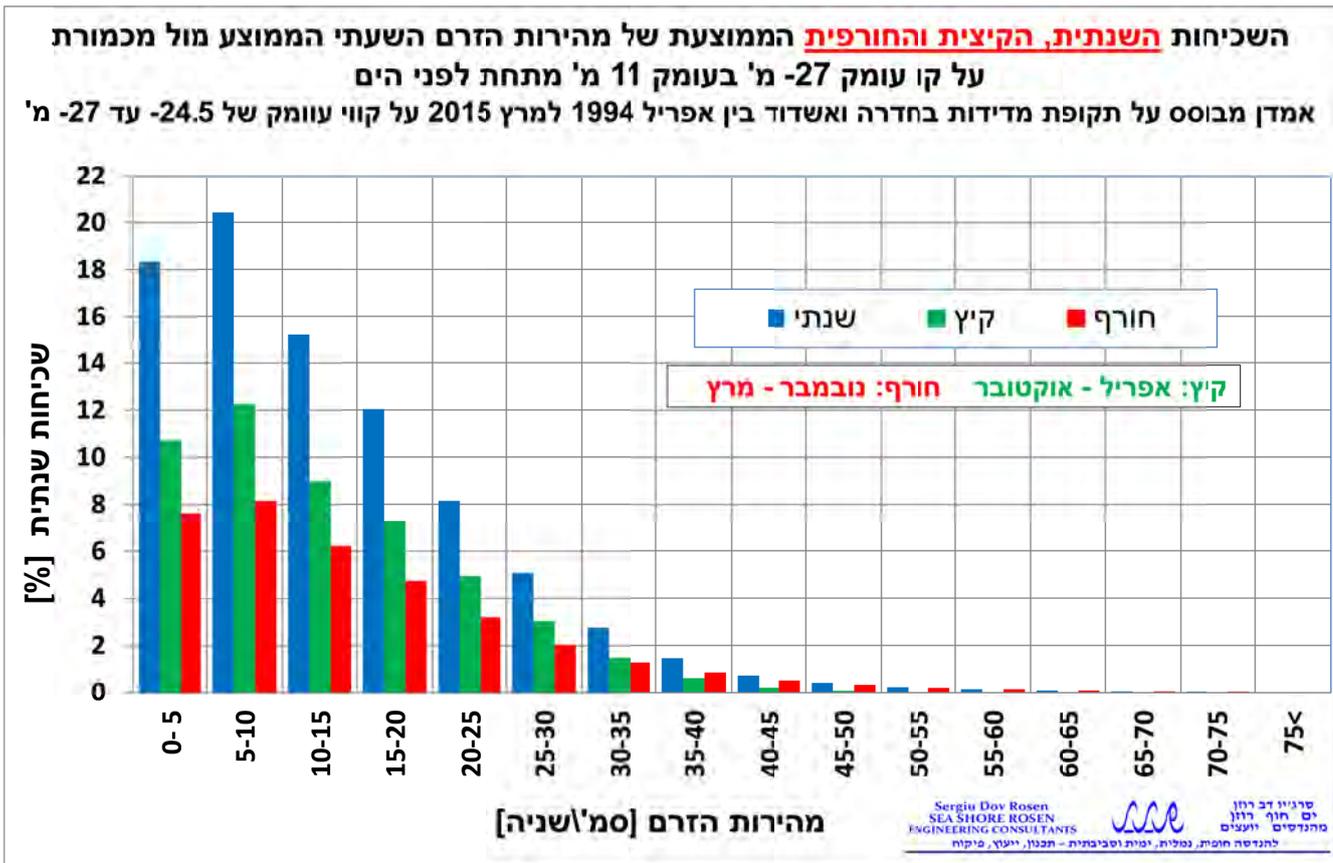
4.3.5 אומדן של משטר הזרמים הרב שנתי מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 11- מ' מפני הים

בעמודים הבאים מוצגת בטבלה ובצורה גרפית באיורים מס' 4.28, 4.29 ו-4.30 התוצאות של השכיחות השולית של המהירות והכיוון של הזרמים ושל השכיחות המשותפת שלהם, שהתקבלו עבור התקופה אפריל 1994-מרץ 2015 בעומק 11- מ' מפני הים, על קו עומק 27- מ' מול חוף מכמורת. התוצאות מציגות בטבלה מס' 4-19 את ערכי השכיחות הממוצעת המשותפת של מהירות הזרם השעתי הממוצע ושל הכיוון הממוצע השעתי של הזרם, וכן השכיחות השולית של המהירות ושל הכיוון בחלוקה שנתית. בנספח 2.3.4 מוצג כל המידע השנתי הנ"ל וכן טבלאות וגרפים לעונת הקיץ ולעונת החורף.

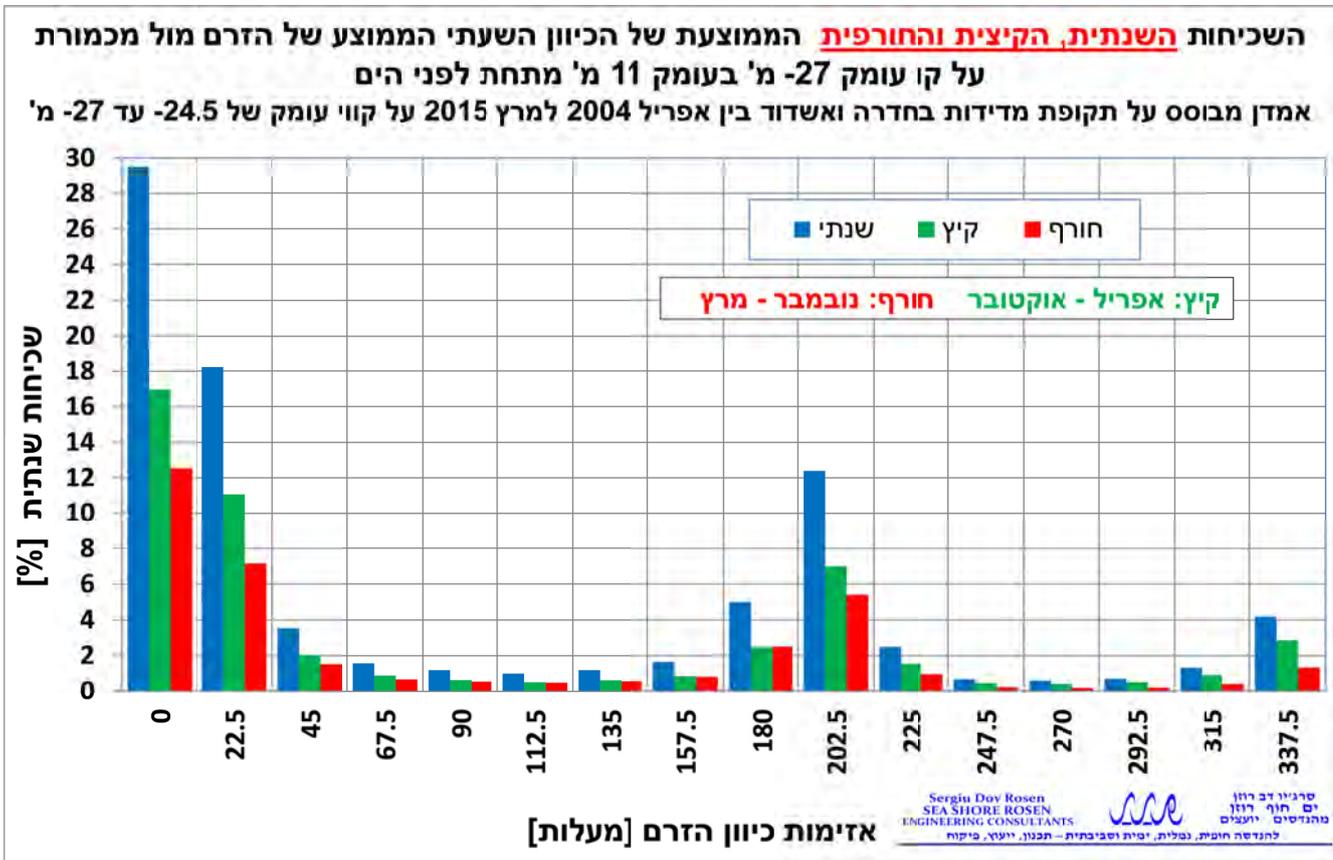
טבלה מס' 4-19

Directional Interval (Az deg)		אומדן ממוצע של מהירות הזרם השעתי הממוצע מול מכמורת על קו עומק 27- מ', בעומק 11- מ' מחמת לפני הים																		Sum sample on yearly basis (%)	Sum yearly average corrected (%)
		11.25	11.25	33.75	56.25	78.75	101.25	123.75	146.25	168.75	191.25	213.75	236.25	258.75	281.25	303.75	326.25	348.75			
V(m/s)	Average Direction Az (deg)	0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5	21.54	18.349		
0-5	0	2.45	2.80	2.13	1.44	1.21	0.99	1.11	1.25	1.67	1.74	1.04	0.61	0.50	0.52	0.80	1.28	21.54	18.349		
5-10	5.84	5.14	1.51	0.38	0.18	0.18	0.29	0.09	0.59	2.30	4.21	1.01	0.17	0.16	0.24	0.41	1.37	23.98	20.425		
10-15	6.31	4.46	0.37	0.02	0.01	0.00	0.01	0.09	0.09	1.21	3.93	0.45	0.02	0.01	0.02	0.19	0.78	17.87	15.225		
15-20	6.45	3.72	0.09	0.00	0	0	0	0.01	0.01	0.47	2.46	0.22	0	0.00	0.01	0.04	0.54	14.13	12.036		
20-25	5.09	2.53	0.03	0	0	0	0	0	0.15	1.26	1.11	0.11	0	0	0.01	0.01	0.38	9.56	8.148		
25-30	3.60	1.45	0.01	0	0	0	0	0	0.04	0.57	0.04	0.04	0	0	0.01	0.01	0.23	5.95	5.071		
30-35	2.16	0.67	0	0	0	0	0	0	0.01	0.22	0.02	0.02	0	0	0.00	0.01	0.13	3.24	2.760		
35-40	1.22	0.32	0	0	0	0	0	0	0.00	0.09	0.02	0.02	0	0.01	0	0.00	0.06	1.72	1.462		
40-45	0.61	0.14	0	0	0	0	0	0	0.04	0.04	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.03	0.85	0.720		
45-50	0.34	0.08	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.48	0.408		
50-55	0.21	0.03	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.00	0.00	0	0	0.01	0.01	0.00	0.26	0.224		
55-60	0.13	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.00	0.00	0.17	0.145		
60-65	0.10	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0.11	0.093		
65-70	0.05	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.06	0.052		
70-75	0.05	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.06	0.048		
75+	0.02	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.017		
Sum sample on yearly basis (%)	34.63	21.38	4.15	1.84	1.40	1.40	1.18	1.40	1.93	5.85	14.55	2.92	0.80	0.69	0.81	1.54	4.92	100.00	85.183		
Sum yearly average corrected (%)	29.500	18.216	3.535	1.567	1.193	1.002	1.195	1.548	4.987	12.291	2.488	0.677	0.592	0.694	1.309	4.188	85.183				

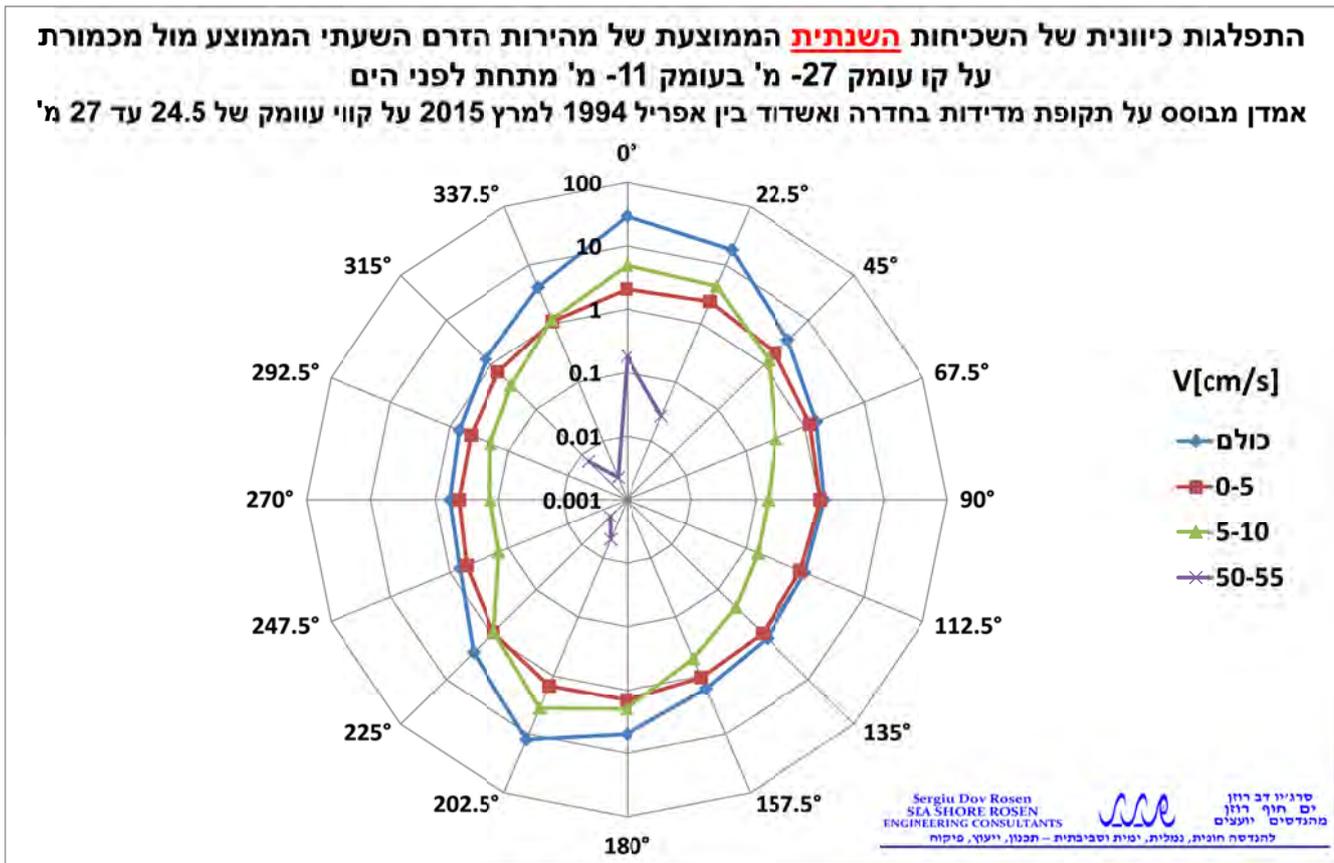
מקדם תיקון עבור מידות הסחת = 0.8519



איור מס' 4.28



איור מס' 4.29



איור מס' 4.30

4.3.6 אומדן של משטר הזרמים במצבי קיצון נדירים מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 22- מ' מפני הים

נתוני הזרמים בעומק 22- מ' מתחת לפני הים, על קו עומק 27- מ', חולקו לפי שנים הידרוגרפיות, ובכל שנה אותרו הערכים השנתיים הגבוהים ביותר. ערכים אלה שימשו תשומה לבדיקת התאמתם ל-5 פונקציות הסתברות של הערכים הנדירים (ערכי הקיצון) עבור תקופות חזרה שונות. ריכוז התוצאות שהתקבלו מוצגים בטבלה מס' 4-20 להלן, וכלל התוצאות לקבלת אומדן ערכי קיצון לתקופות חזרה ממוצעות שונות של מהירות זרם מרבי בעומק 22- מ' מתחת לפני הים על קו עומק 27- מ' מול חדרה ומכמורת מוצגות בנספח 2.2.9.

על בסיס התוצאות בטבלה 4-20 ומאחר שמקדם הקורלציה הגבוה ביותר וסטיית התקן הקטנה ביותר (square of sum residuals) התקבלו עבור פרוס Weibull עם חזקה 1.0, נבחר בערכי הקיצון של פרוס זה עבור המהירות של הזרם  $V_{c,max}$  עבור תקופות החזרה השונות. התאמת פרוס זה לנתוני המדידות השנתיות המרביות מוצגת באיור מס' 4.31.

טבלה מס' 20-4 ערכי קיצון של מהירות הזרם בעומק 22- מ' על קו עומק 27- מ' לפי 5 פרוסים שונים מול מכמורת

Case: EXTREMAL CURRENT STATISTICS

Hourly Averaged Current Speed Analysis Offshore Michmoret, 22m below sea surface on 27m depth contour

N: 11 NU: 1  
 NT: 11 K: 11  
 Lambda: 1.00 Mean: 66.01  
 Standard deviation: 19.80

	Weibull Distribution				
	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.00
Correlation:	0.97	0.98	0.99	0.98	0.96
Sum square of residuals:	0.04	0.09	0.01	0.03	0.06
Return Period (Yr)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)	Vc (cm/s)
2	63.14	58.06	59.47	61.58	63.68
5	81.48	75.96	79.28	81.57	82.56
10	93.62	92.19	94.27	94.47	93.34
25	108.96	116.28	114.08	109.91	105.32
50	120.34	136.13	129.07	120.75	113.28
73	126.52	147.48	137.26	126.44	117.33
100	131.64	157.19	144.06	131.06	120.56

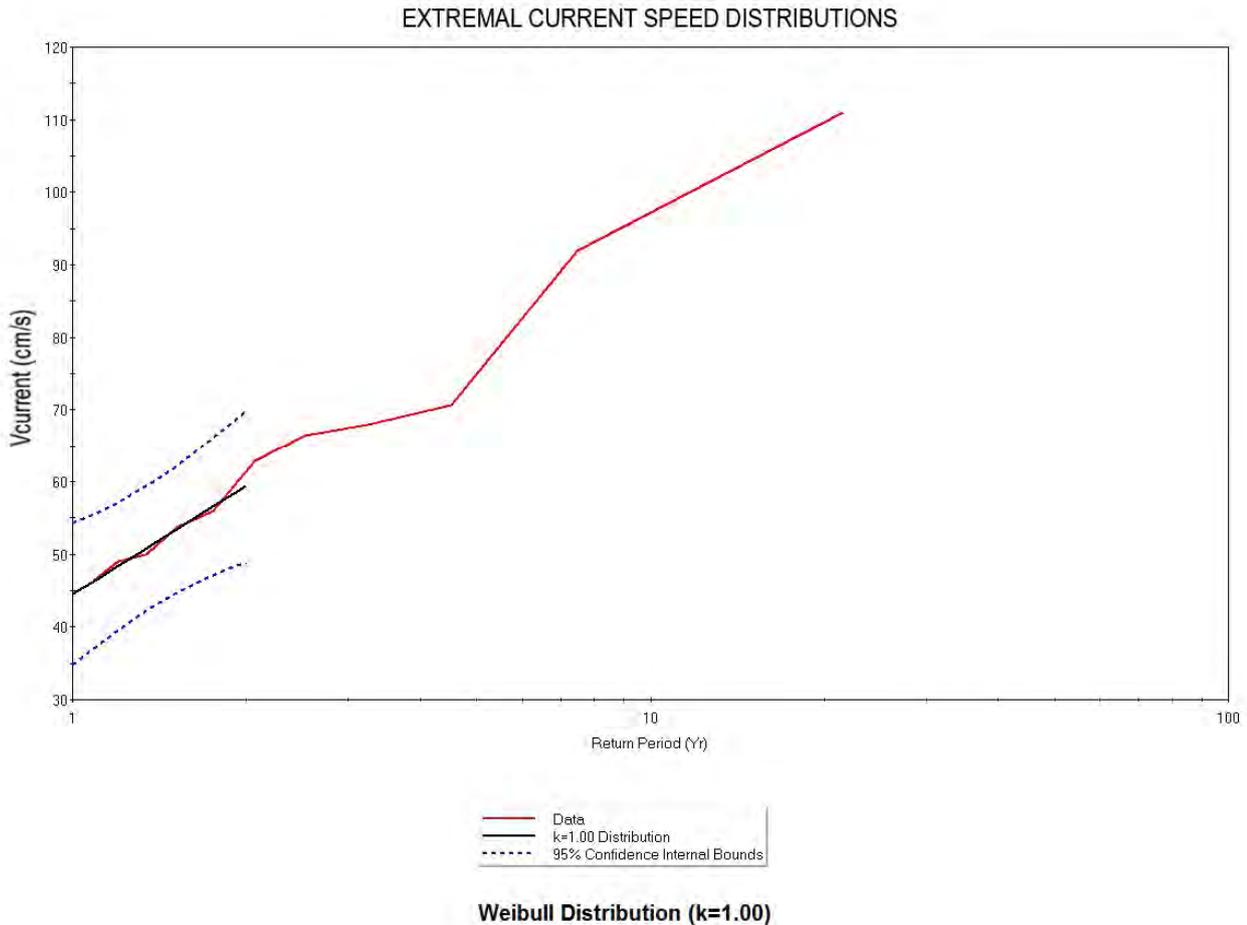
WARNING: Larger Vc Values are Questionable due to Limited Rec. Length & Depth

95% Confidence Interval (Lower Bound - Upper Bound) Units: cm/s

Return Period (Yr)	Weibull Distribution				
	FT-I	k=0.75	k=1.00	k=1.40	k=2.0
5	66.2 - 96.7	47.8 - 104.1	57.4 - 101.1	63.5 - 99.7	67.2 - 97.9
10	72.9 - 114.4	48.1 - 136.3	62.4 - 126.2	70.5 - 118.5	74.4 - 112.3
25	80.8 - 137.2	48.2 - 184.4	68.5 - 159.7	78.5 - 141.3	82.2 - 128.4
50	86.5 - 154.2	48.1 - 224.2	73.0 - 185.1	84.1 - 157.4	87.3 - 139.2
73	89.6 - 163.5	48.0 - 246.9	75.5 - 199.0	87.0 - 165.9	89.9 - 144.7
100	92.1 - 171.2	48.0 - 266.4	77.5 - 210.6	89.3 - 172.8	92.0 - 149.1

Percent chance for Hourly Averaged Current Speed equalling or exceeding return period

Return Period (Yr)	Period of concern (Yr)					
	2	5	10	25	50	73
2	75	97	100	100	100	100
5	36	67	89	100	100	100
10	19	41	65	93	99	100
25	8	18	34	64	87	95
50	4	10	18	40	64	77
73	3	7	13	29	50	63
100	2	5	10	22	39	52



**איור מס' 4.31 פרוס וויבול, מקדם חזקה  $k=1.00$ , רמת אמינות של 95% גרף מהירות זרם למצבי קיצון על קו עומק 27- מ' בעומק 22 מ' מתחת לפי הים מול מכמורת**

**4.3.7 אומדן של משטר הזרמים הרב שנתי מול מכמורת על קו עומק 27- מ' בעומק 22- מ' מפני הים**

בעמודים הבאים מוצגת בטבלה ובצורה גרפית באיורים מס' 4.32, 4.33 ו-4.34 התוצאות של השכיחות השולית של המהירות והכיוון של הזרמים ושל השכיחות המשותפת שלהם, שהתקבלו עבור התקופה אפריל-1994-מרץ 2015 בעומק 22- מ' מפני הים, על קו עומק 27- מ' מול חוף מכמורת. התוצאות מציגות בטבלה מס' 4.21 את ערכי השכיחות הממוצעת המשותפת של מהירות הזרם השעתי הממוצע ושל הכיוון הממוצע השעתי של הזרם, וכן השכיחות השולית של המהירות ושל הכיוון בחלוקה שנתית. בנספח 2.3.5 מוצג כל המידע השנתי הנ"ל וכן טבלאות וגרפים לעונת הקיץ ולעונת החורף.

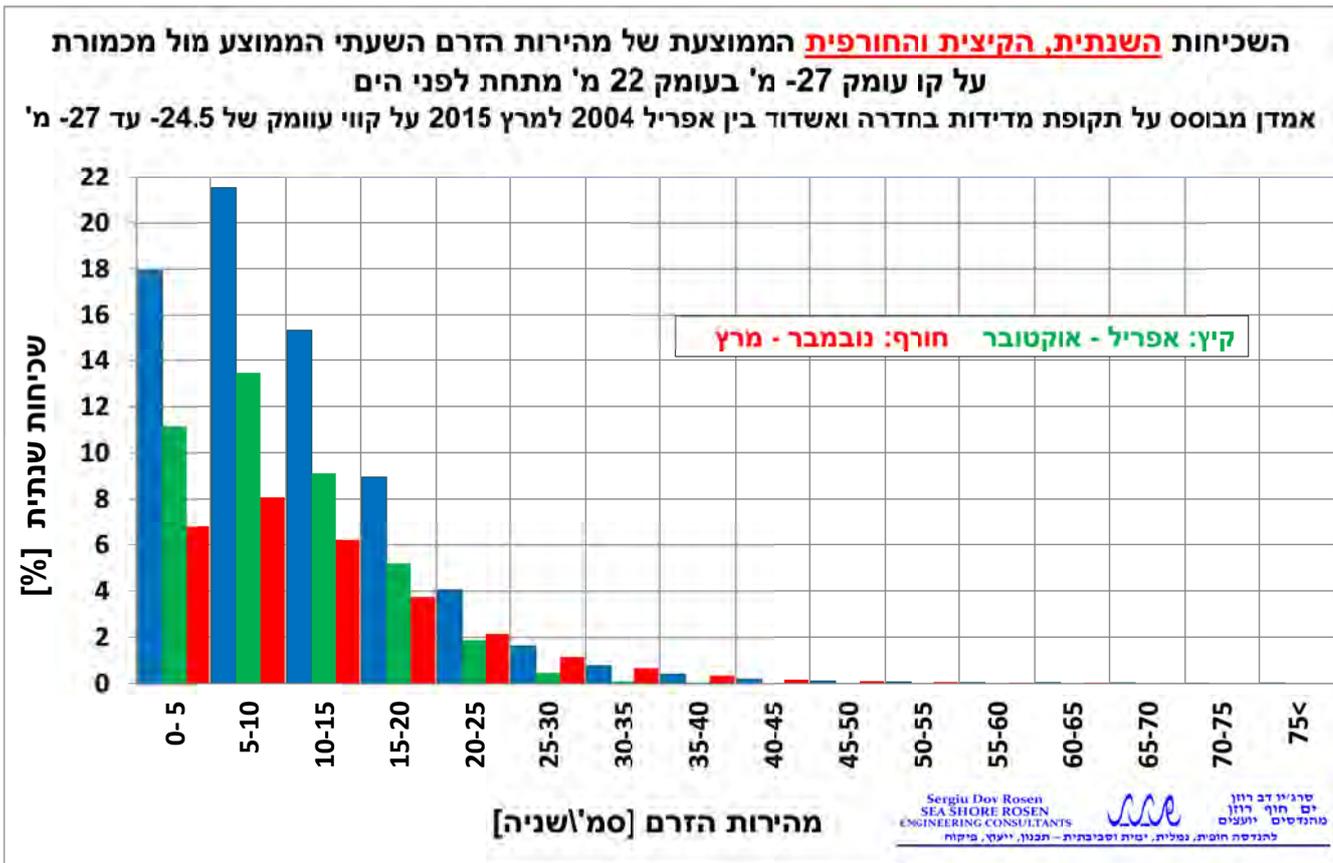


טבלה מס' 4-21

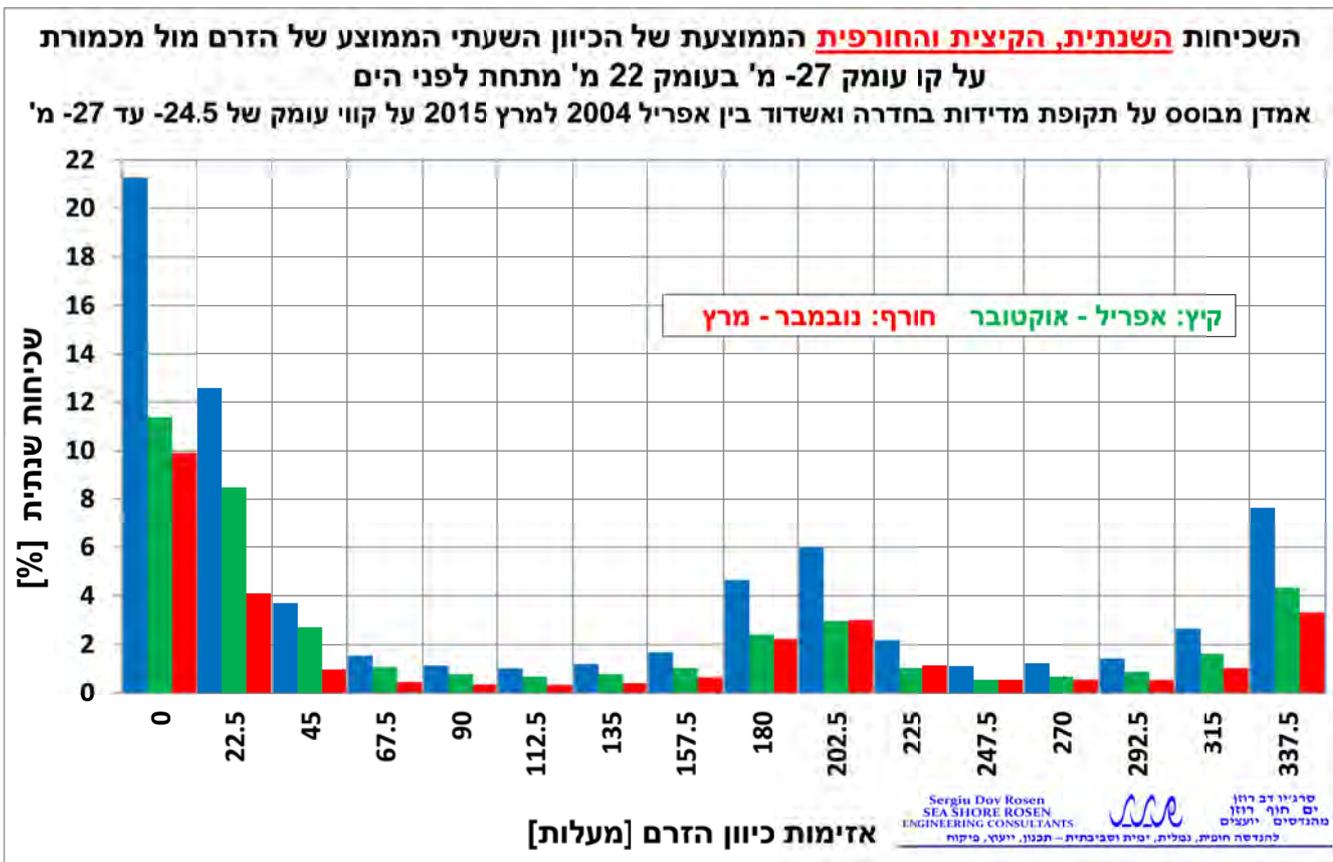
שכיחות משותפת ממוצעת **שנתית** של המרוחות וכיוון הרום השעתי הממוצע מול מכמורת על קו שומק 27- מ', בשומק 22 מ' מתחת לפני הים  
 אורך מבוסס על תקופת מדידות בחדרה ואשדוד בין אפריל 2004 למרץ 2015 על קווי שומק של 24.5 עד 27- מ'

Directional Interval (Az deg)	-11.25	11.25	33.75	56.25	78.75	101.25	123.75	146.25	168.75	191.25	213.75	236.25	258.75	281.25	303.75	326.25	348.75	Sum sample on yearly basis (%)	Sum yearly average corrected (%)
	V/cm/s\  Average Direction Az (deg)	0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5	360	25.24
0-5	3.01	2.67	2.14	1.43	1.23	1.13	1.23	1.29	1.64	1.73	1.34	1.04	1.08	1.07	1.44	1.76	1.76	25.24	17.938
5-10	7.18	5.93	2.12	0.67	0.37	0.30	0.41	0.89	2.48	2.63	0.98	0.45	0.59	0.77	1.36	3.12	3.12	30.28	21.520
10-15	7.66	4.87	0.63	0.06	0.01	0.01	0.03	0.17	1.68	2.18	0.39	0.06	0.08	0.15	0.63	2.96	2.96	21.56	15.326
15-20	5.49	2.77	0.24	0.01	0	0	0	0.03	0.61	1.24	0.17	0.02	0	0.02	0.25	1.74	1.74	12.58	8.942
20-25	3.07	1.02	0.05	0	0	0	0	0.00	0.11	0.45	0.12	0.01	0	0	0.05	0.81	0.81	5.69	4.042
25-30	1.53	0.28	0.01	0	0	0	0	0	0.02	0.16	0.05	0	0	0	0.01	0.25	0.25	2.29	1.630
30-35	0.88	0.08	0.00	0	0	0	0	0	0	0.04	0.02	0	0	0	0	0.07	0.07	1.09	0.778
35-40	0.52	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0.02	0.02	0.58	0.412
40-45	0.24	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0.01	0.01	0.27	0.195
45-50	0.13	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0.01	0.01	0.15	0.105
50-55	0.08	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.09	0.062
55-60	0.04	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0.036
60-65	0.04	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.05	0.034
65-70	0.03	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.026
70-75	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.008
75<	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.014
Sum sample on yearly basis (%)	29.95	17.70	5.20	2.17	1.61	1.44	1.68	2.37	6.54	8.43	3.08	1.58	1.74	2.01	3.74	10.76	10.76	99.99	71.068
Sum yearly average corrected (%)	21.285	12.580	3.694	1.540	1.142	1.023	1.192	1.688	4.649	5.992	2.187	1.122	1.240	1.429	2.655	7.648	7.648	71.068	

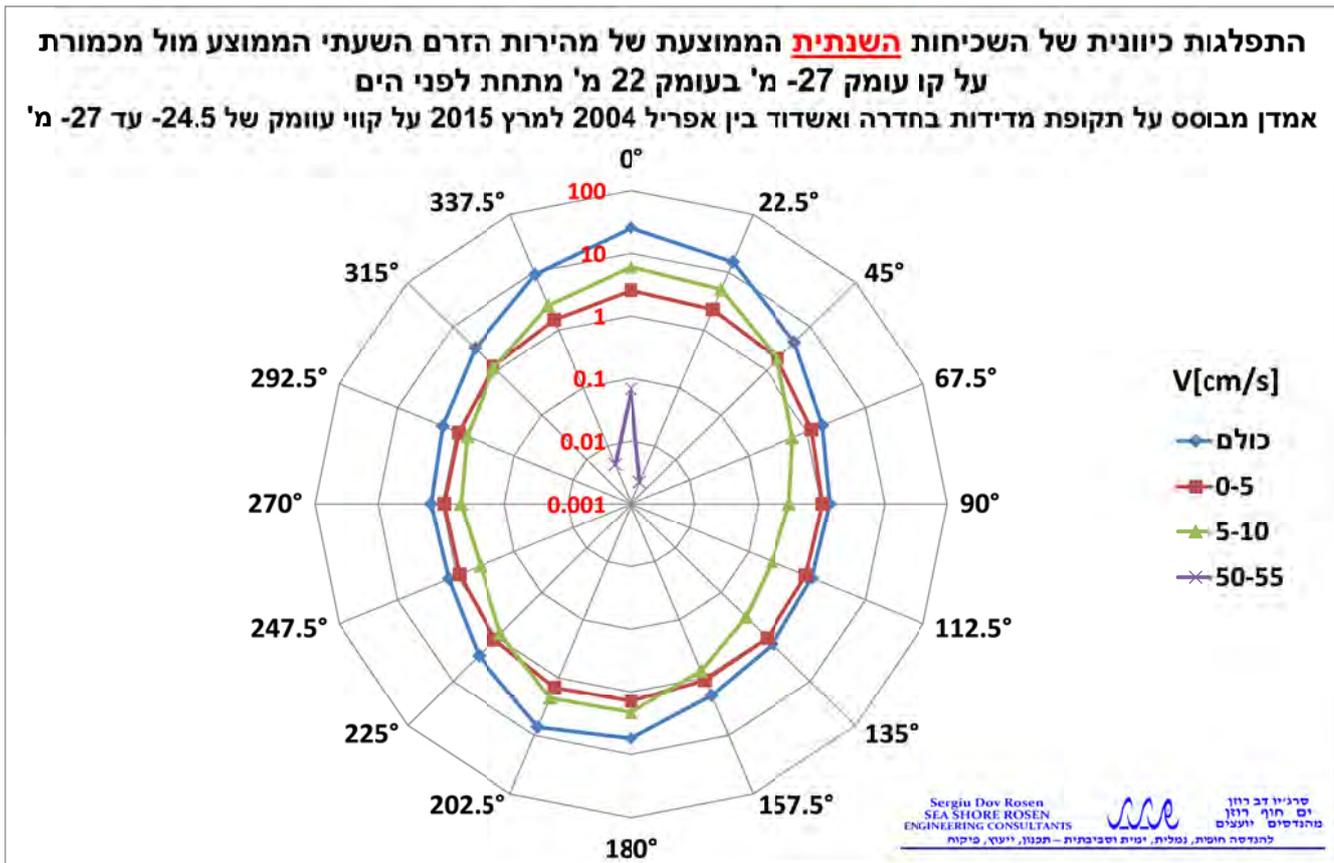
מקדם זיקוק עבור מדידות הסחות = 0.7108



איור מס' 4.32



איור מס' 4.33



איור מס' 4.34

4.3.8 אומדן של הזרמים בקווי עומק 40- מ' ו-60- מ' מול מכמורת במצבי קיצון

כפי שהוסבר בסעיפים הקודמים, מידע סטטיסטי על הזרמים ניתן היה לקבל רק מתחנות מדידה קבועות שאפשרו לקבל את משטר הזרמים הרב שנתי ושל ערכי קיצון עד עומק 22- מ' בקו עומק 27- מ' בקרוב. על פי הפרסומים שהוצגו בסעיף 1.2.3, ובמיוחד על פי מדידות שדווחו ע"י רוזנטראוב, סביר להניח ירידה מתונה של מהירות הזרם בעמודת המים עם העומק, במדף היבשת הרדוד עד בערך קו עומק 60- מ'. בחינה של תבנית הזרמים על פי מודל SELIPS בעומקים של 5- מ', 30- מ', 50- מ' ושל 100- מ' במדף היבשת למצב דטרמיניסטי של 2.12.2016 מאשרת מצב זה (ראה איור 4.35). אולם, במצבים של אירועי סערה עם רוחות חזקות, על פי Ashkenazi (2016) השפעת הרוח תגרום לשימור מהירות הזרם בקרוב בעמודת המים במדף הרדוד. לכן, ניתן לומר כי מדידות הזרמים שנתקבלו בקו עומק 22- מ', תהיינה כמעט זהות מבחינת עוצמת המהירות בכל האזור שמול חוף מכמורת עד קווי עומק של 60 מ'. בשכבות המים העמוקות יותר בתחום זה ניתן לצפות כי המהירויות יקטנו באופן איטי ומתון לכיוון הקרקעית.

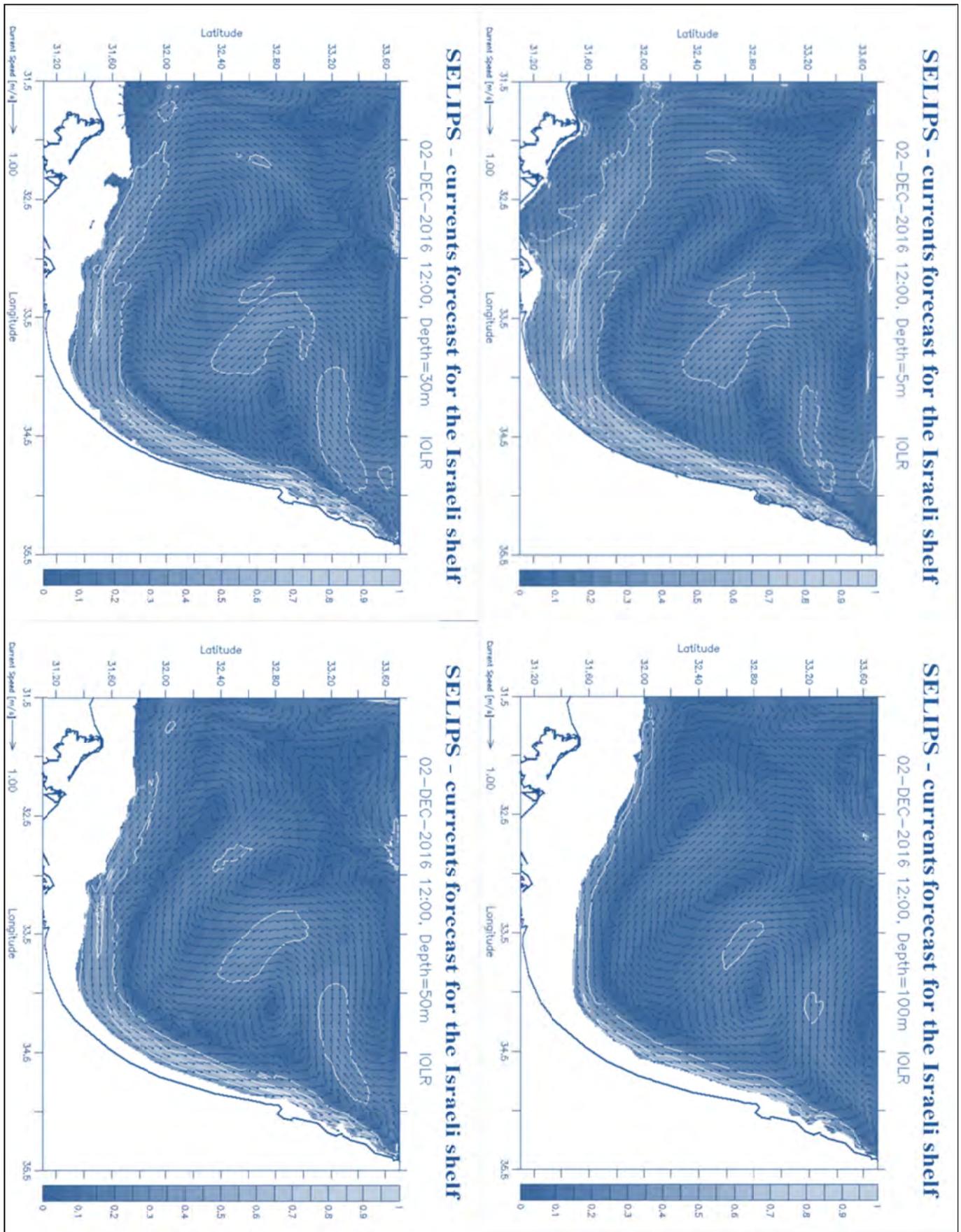
באיור 4.36 הצבנו את פרופיל המהירות שנמדד בעמודת המים מול אשדוד בתאריך 12-12-2010, שכלל מדידות עד עומק של 23- מ'. הפרופיל שמוצג כולל גם אומדן של המחבר על אופן ירידת מהירות הזרם בעמודת המים עד עומק 60- מ'. הפרופיל של הזרם בעמודת המים מוצג ליום זה מכיוון שביום זה נמדדו המהירויות הגבוהות ביותר במדף היבשת של ישראל.

דבר שלא צויין אבל הינו בעל חשיבות רבה לכלובי הדגים הוא שלמרות שמהירות הזרם תקטן באופן מתון בעמודת המים, בעת אירועי סערות עם רוחות חזקות, כיוון הזרם משנה עם העומק בהשפעת כח קוריאוליס לפי תופעת ספירל Ekman. השינוי בכיוון יהיה בסדר גודל של 1 עד 2 מעלות בירידה של כל מטר בעמודת המים, אך מאחר וגובה הכלובים מגיע ל-12 מ', בין כיוון הזרם בחלק העליון של הכלוב לכיוון הזרם בחלק התחתון של הכלוב יכולה להתקבל הסטה של כ-10 עד 20 מעלות, דבר שעלול לגרום למומנט פיתול על הכלוב, ולצמצום נפח הכלוב. הבעיה היא שאם צורת הכלוב מתעוותת משתנה מקדם הגרר וגם מקדם

האינרציה. כי הזרימה הופכת לפחות חלקה (Streamlined). לא הצלחנו למצוא בספרות מידע על ניסויים שבוצעו בתנאי גלים וזרימה מסתובבת בהשפעת הרוח, גם לא במודלים מתמטיים. עם זאת, מאחר והזרם מושרה הרוח אינו גדול ביחס לזרם הכללי בזמן סערות חזקות, להערכתנו התרומה העיקרית של הכוחות תהיה עדיין של הרכיב האופקי של המהירות האורביטלית של הגלים.

לסיכום, להערכתנו, ניתן בקרוב טוב מאוד להשתמש באקלים הזרמים שהתקבל עבור עומק של 22- מ' מפני הים כדי לאפיין הזרמים עד עומק מים של כ-60 מ', כולל את תרומת הרוח.

מסקנה זאת תשתמש אותנו כדי לבחור בהמשך את ערכי הפרמטרים לחישוב כוחות על כלובי דגים משוקעים בעת סערות קיצון.



איור מס' 4.35 - תבנית הזרמים על פי מודל SELIPS ב-2-12-2016 ב-4 עומקי מים בים התיכון

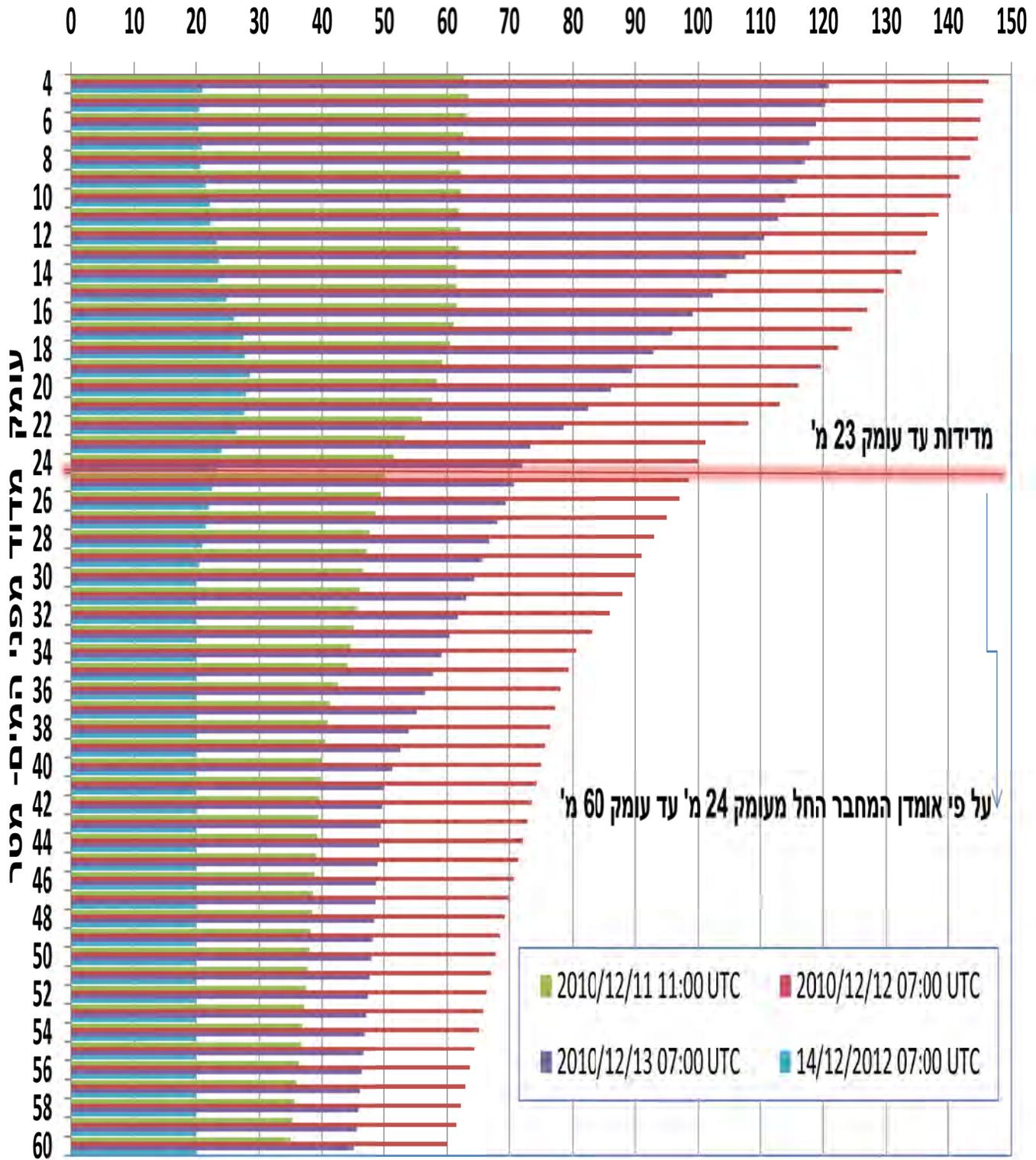
(מקור: אתר <http://isramar.ocean.org.il/isramar2009/selips> עיבוד תמונות - ס'ד' רוזן)



## השתנות פרוס מהירות הזרם הכללי עם העומק בסערה החזקה בדצמבר 2010

מבוסס על מדידות חיא"ל מול אשדוד על קו עומק 27 מ' עד עומק 23 מ' ואומדני המחבר לעומקים גדולים יותר

מהירות הזרם הממוצע השעתי - סמ"שניה



איור מס' 4.36

## 5. חקר אירועי הסערות שגרמו נזקים לכלובי דגים בישראל מאז 2009

### 5.0 כללי

סיכום המידע שנאסף על הנזקים שנגרמו לכלובי דגים בארץ מאז 2009 הוצג בטבלאות 1-2 ו-1-3. המידע על התקופות בהן נגרמו הנזקים, היה בדרך כלל ללא פרטים טכניים מפורטים לגבי סיבת הנזק ובמה בדיוק התבטא הנזק.

כדי להבין מה היה המצב בזמן סערות בחורפים 2009 עד 2015, הוכנו גרפים שבהם מוצגים נתונים לגבי הגלים ולגבי הזרמים ששררו בחורפים אלה. כאשר תקופת הסערה היתה ידועה היא סומנה בקו אופקי בצבע אדום. בעמודים הבאים מוצגים איורים 5.1 עד 5.10 ההיסטוריות של הסערות החזקות בכל אחת מהחורפים הנ"ל. בטבלה 5-1 להלן מוצג ריכוז של אומדני תקופות החזרה של ערכי קיצון של רוחות, גלים וזרמים מול חופי אשדוד ומכמורת.

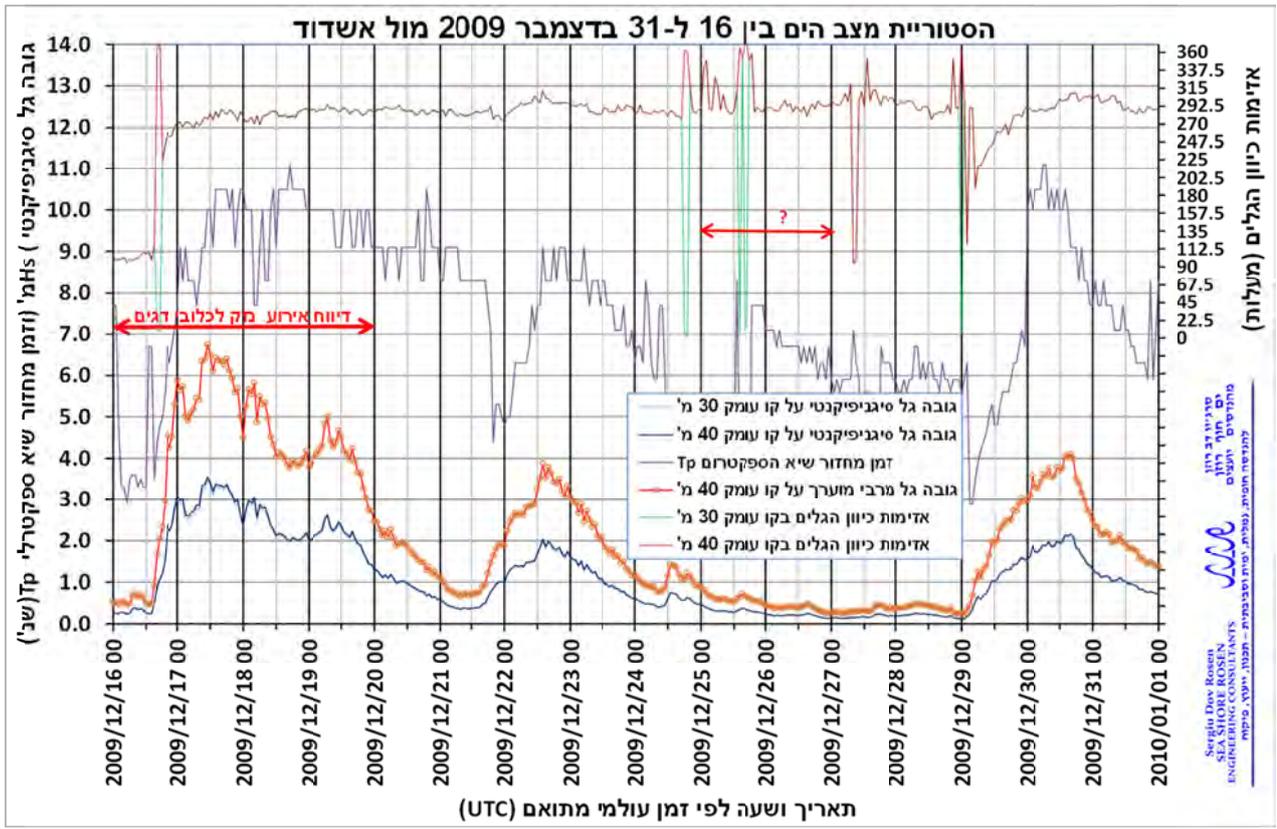
טבלה מס' 5-1 אומדן תקופות חזרה ממוצעות של פרמטרים מטאור-ימיים באירועי קיצון

תקופת חזרה ממוצעת (שנים)							הפרמטר ומימדו		מקום
100	73	50	25	10	5	2			
24.6	24.2	23.5	22.3	20.5	18.9	16.0	מ' \שנ'	$V_{w,beach} \max$	אשדוד
27.1	26.6	25.9	24.6	22.6	20.8	17.6	מ' \שנ'	$V_{w,offshore} \max$	
8.50	8.27	8.01	7.51	6.81	6.24	5.37	מ'	$H_{s_0, \max}$	
7.72	7.53	7.31	6.89	6.31	5.84	5.11	מ'	$H_{s_{-60}, \max}$	
7.58	7.40	7.17	6.74	6.15	5.67	4.94	מ'	$H_{s_{-40}, \max}$	
7.67	7.48	7.25	6.81	6.18	5.66	4.85	מ'	$H_{s_{-30}, \max}$	
176	170	163	148	129	113	88	סמ' \שנ'	$V_{c_{-4}, \max}$	
167	161	154	140	122	107	86	סמ' \שנ'	$V_{c_{-11}, \max}$	
130	126	121	113	101	91	74	סמ' \שנ'	$V_{c_{-22}, \max}$	
123	120	115	107	96	86	70	סמ' \שנ'	$V_{c_{-40}, \max}$	
117	114	110	102	91	82	67	סמ' \שנ'	$V_{c_{-60}, \max}$	
23.0	22.7	22.4	21.6	20.5	19.5	17.7	מ' \שנ'	$V_{w,beach} \max$	מכמורת
25.3	25.0	24.6	23.8	22.5	21.4	19.5	מ' \שנ'	$V_{w,offshore} \max$	
8.83	8.65	8.44	8.01	7.36	6.78	5.76	מ'	$H_{s_0, \max}$	
8.19	8.03	7.84	7.46	6.89	6.37	5.47	מ'	$H_{s_{-60}, \max}$	
7.96	7.81	7.62	7.24	6.67	6.16	5.27	מ'	$H_{s_{-40}, \max}$	
210	196	180	153	120	97	72	סמ' \שנ'	$V_{c_{-4}, \max}$	
143	137	131	118	101	87	67	סמ' \שנ'	$V_{c_{-11}, \max}$	
144	137	129	114	94	79	59	סמ' \שנ'	$V_{c_{-22}, \max}$	
137	130	123	108	90	75	56	סמ' \שנ'	$V_{c_{-40}, \max}$	
130	124	116	103	85	72	54	סמ' \שנ'	$V_{c_{-60}, \max}$	

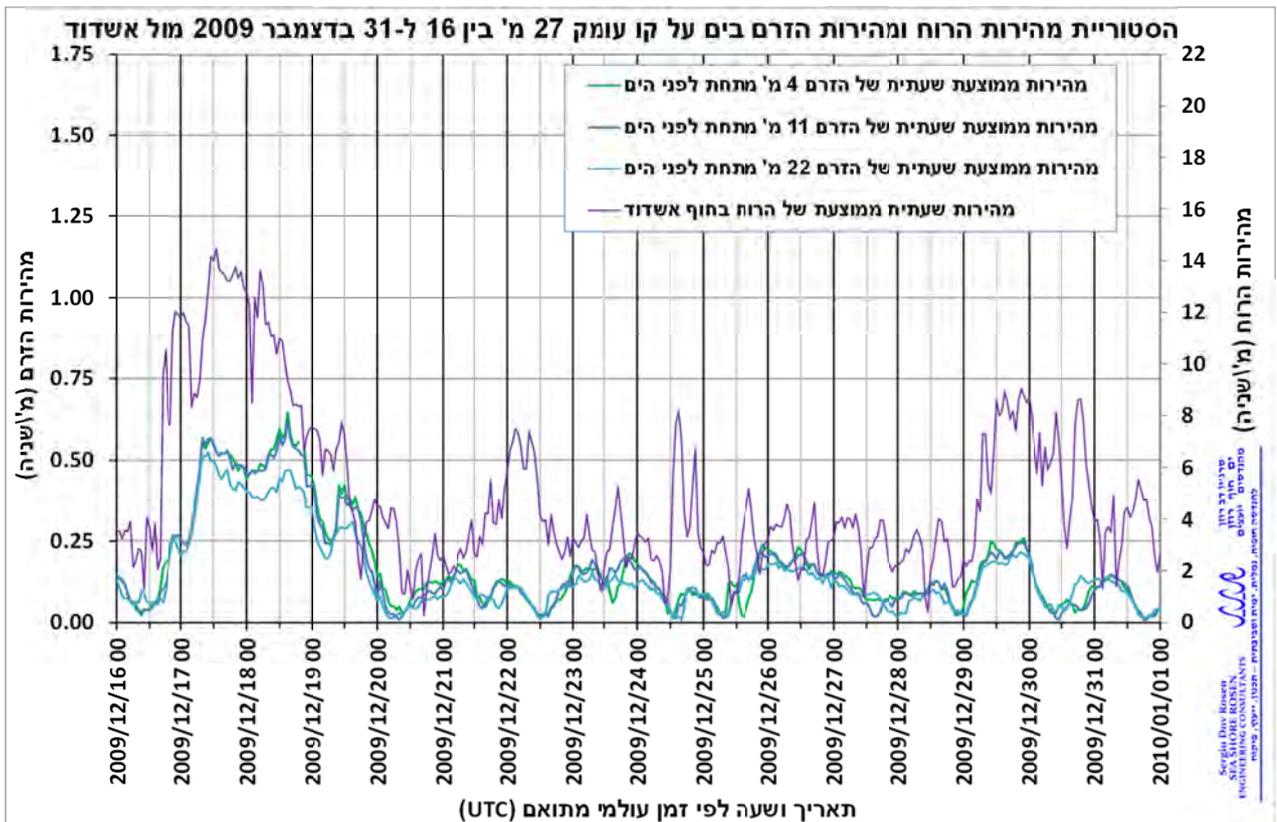
כאשר:  $V_w$  מציין את מהירות הרוח והציון התחתון מציין המיקום ביחס לקו החוף

$H_s$  מציין את הגובה הגל הסינגניפיקנטי והציון התחתון מציין המיקום במים עמוקים (מסומן ב-0) או בקווי עומק אחרים לפי המספר הכתוב שם

$V_c$  מציין את מהירות הזרם בשכבת מים של 1 מ' בעומק המצוין בספרות תחתית, מדוד כמרחק מפני הים בעמודת המים במדף היבשת הרדוד.

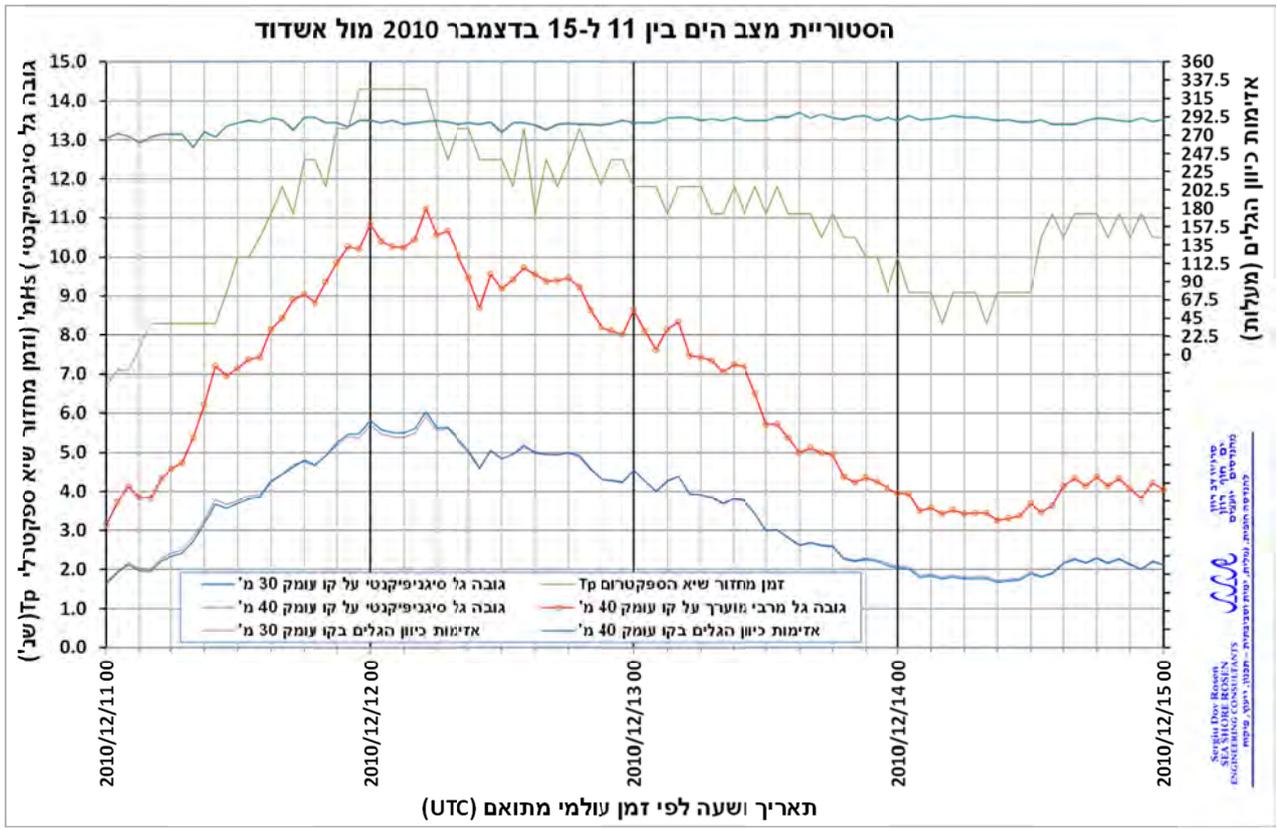


איור מס' 5.1

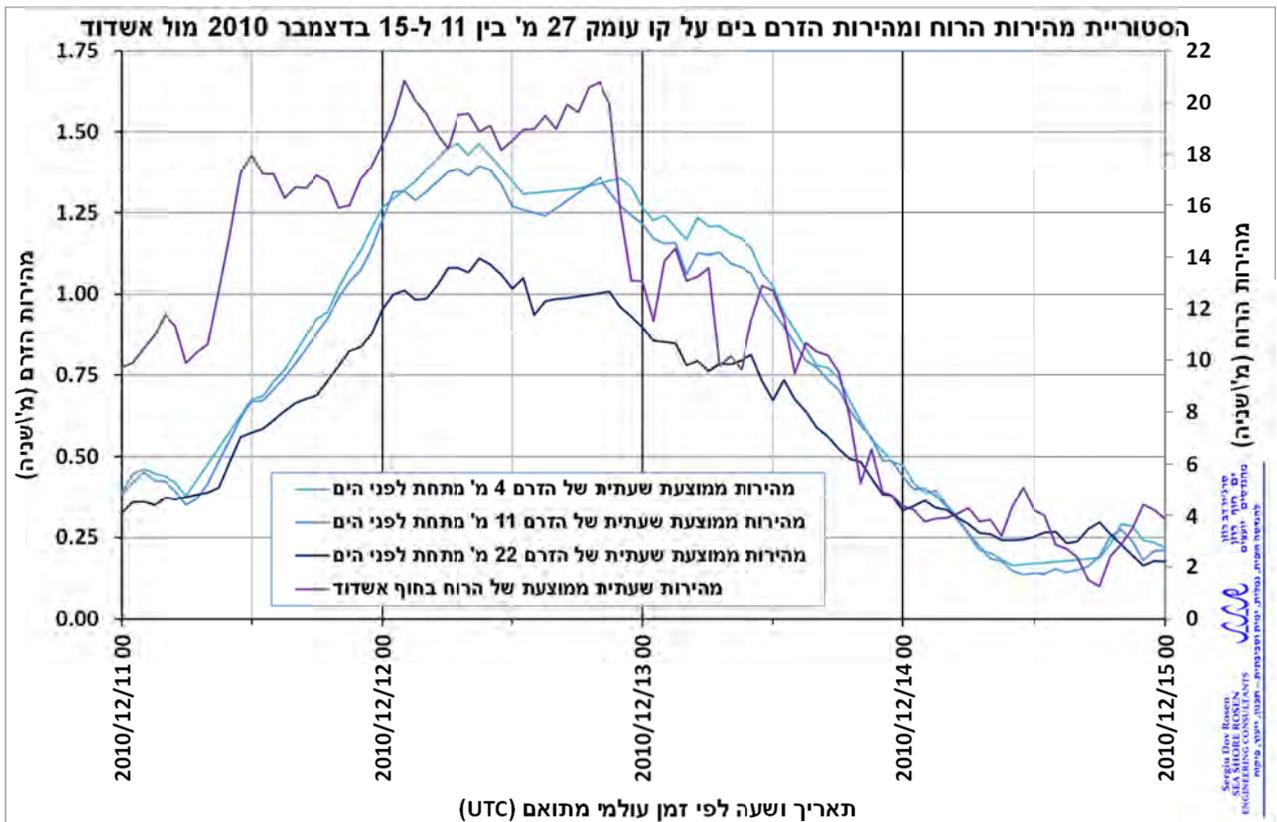


איור מס' 5.2

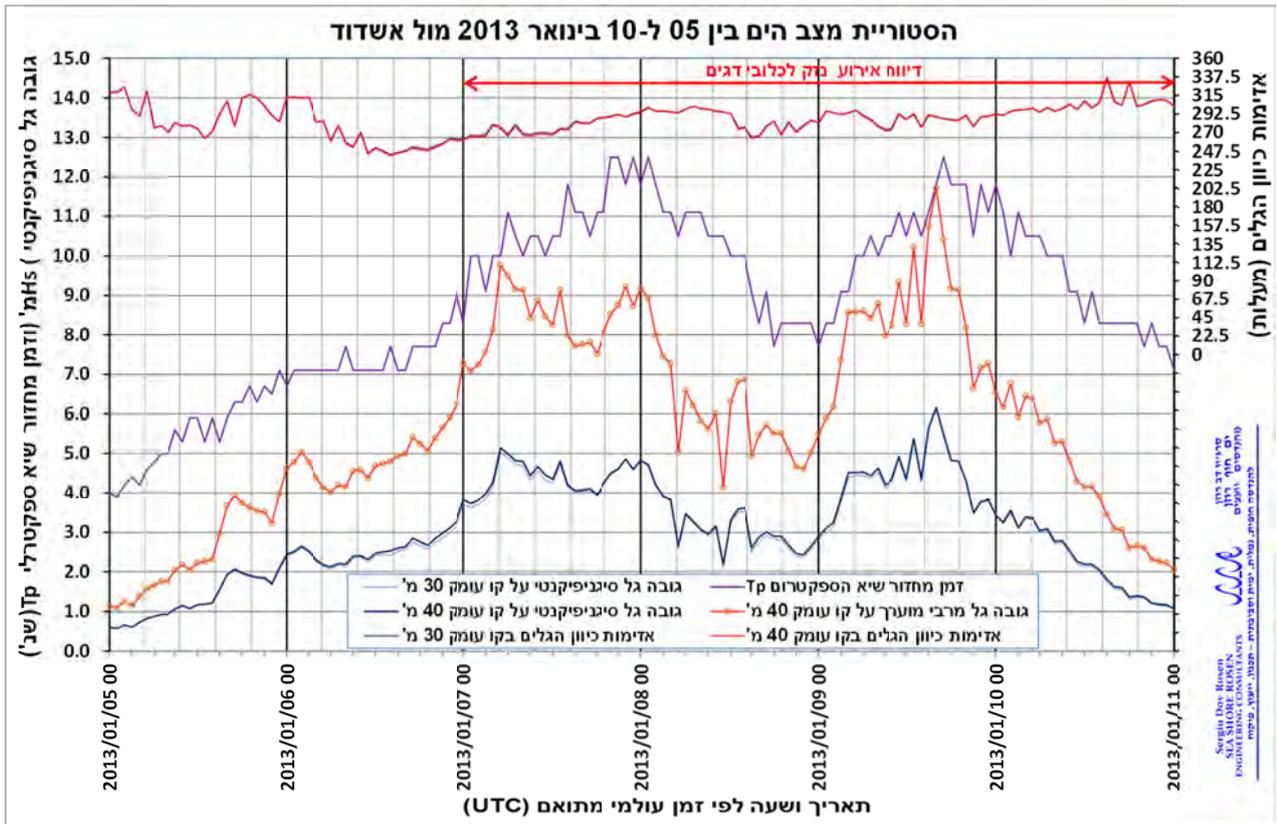




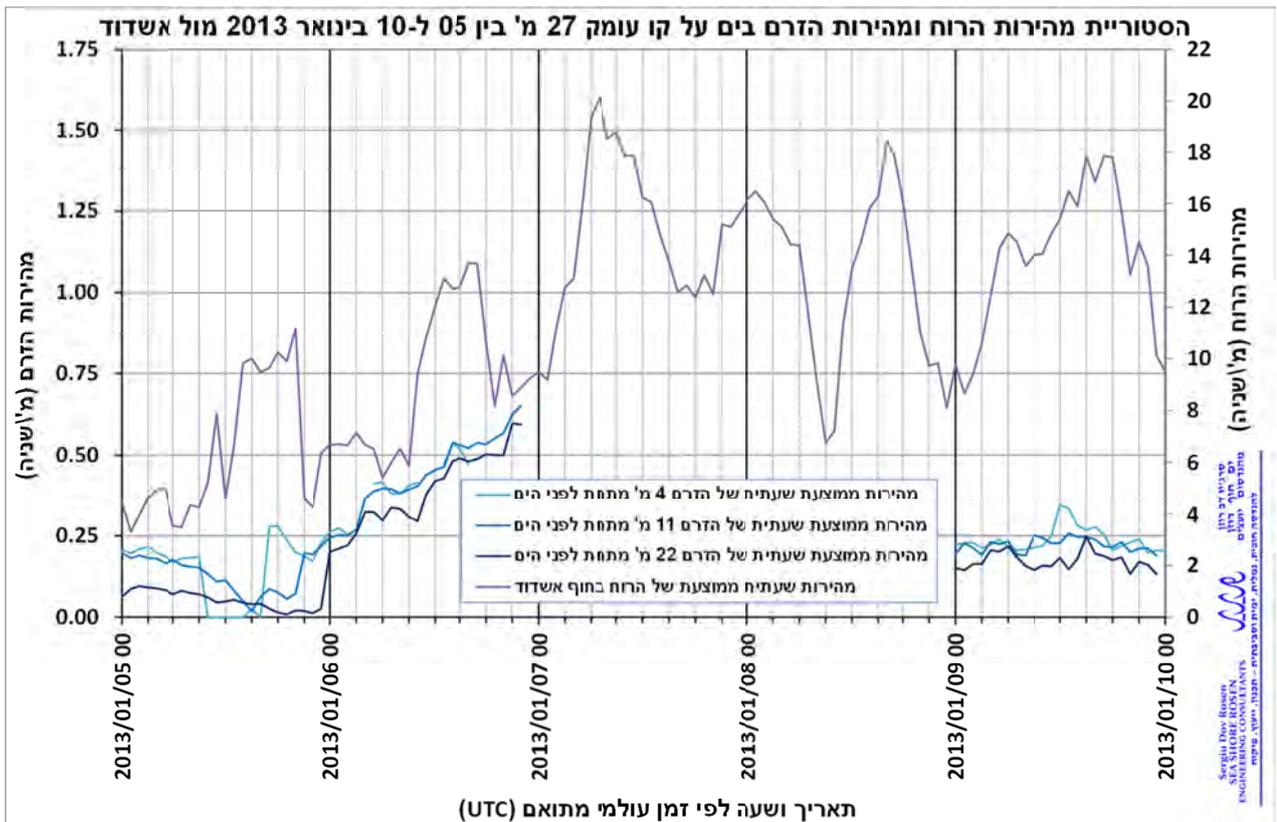
איור מס' 5.3



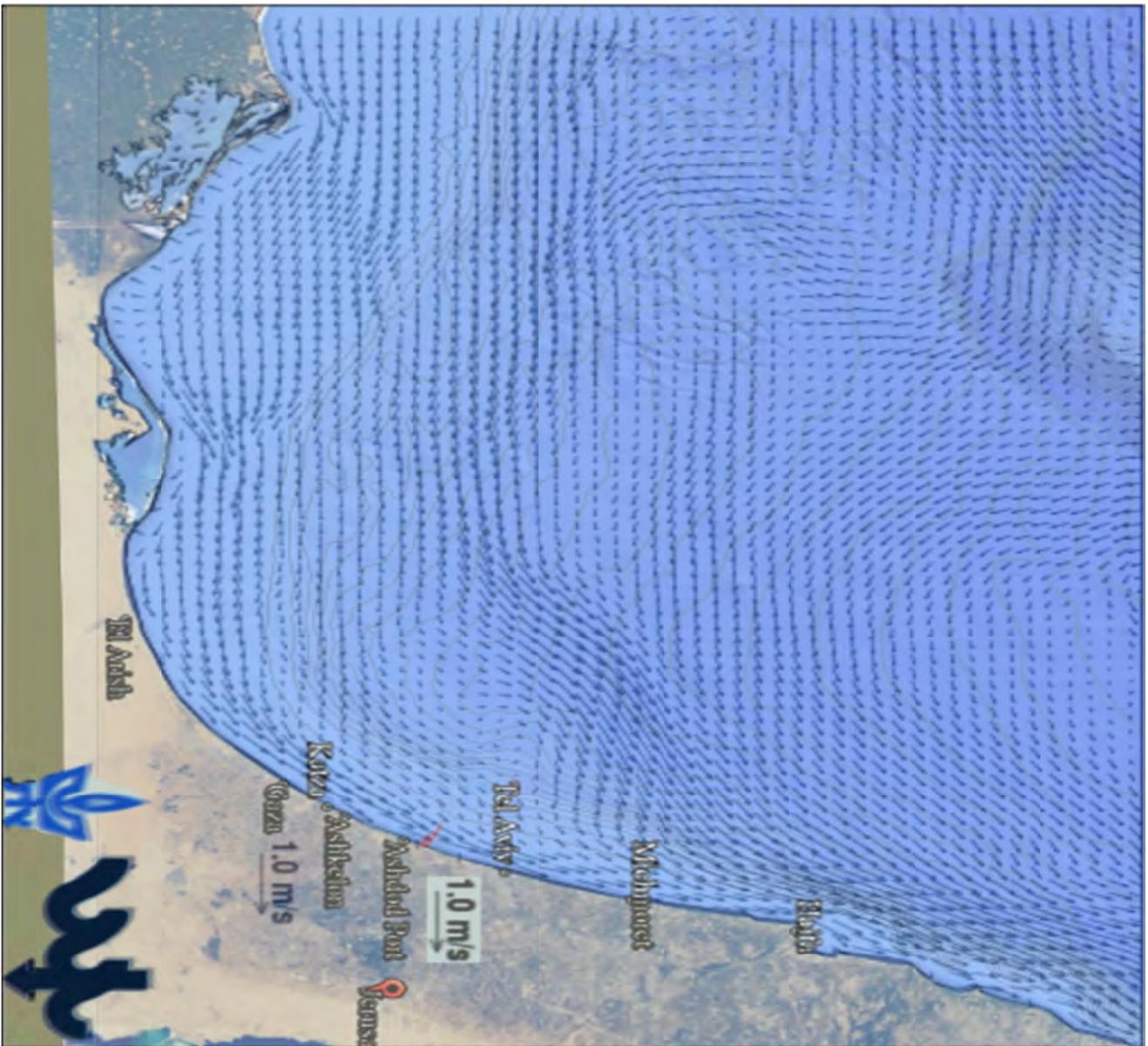
איור מס' 5.4



איור מס' 5.5



איור מס' 5.6



Select Period and Time:

SELIPS

2013-01-07

Stop

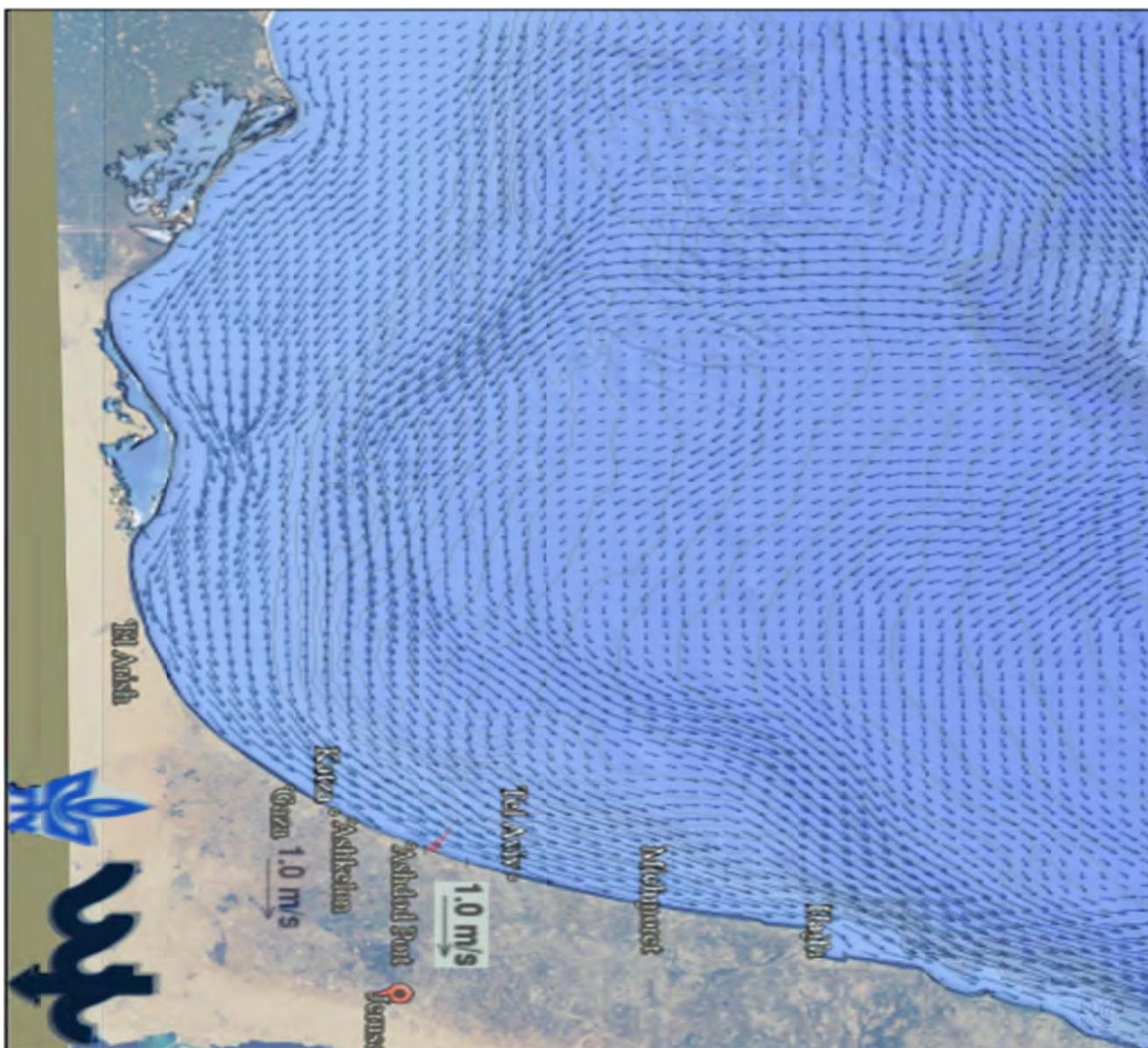
Show:

- Chlorophyll a Case1-Case2
- Generated using [Copernicus products](#) [2]
- SELIPS daily averaged currents [2]
- Finite Size Lyapunov Exponent
- Unstable  Stable [2]

[About the project](#)

נא לשים לב לשלושת הקווים  
הניצבים לחוף, צפופים לאשדוד  
הם מציגים מרחקים של 2.5, 5.0, 10.0 ק"מ

איור מס' 5.7 – תבנית הזרמים היומית הממוצעת בפני הים ב-7-1-2013 לפי מודל SELIPS (מקור: אתר <http://isramar.ocean.org.il/isramar2009/selips>, עיבוד תמונות – ס'ד' רוזן, ראה גם נספח 6)



Select Project and Time:

SELIPS

2013-01-09

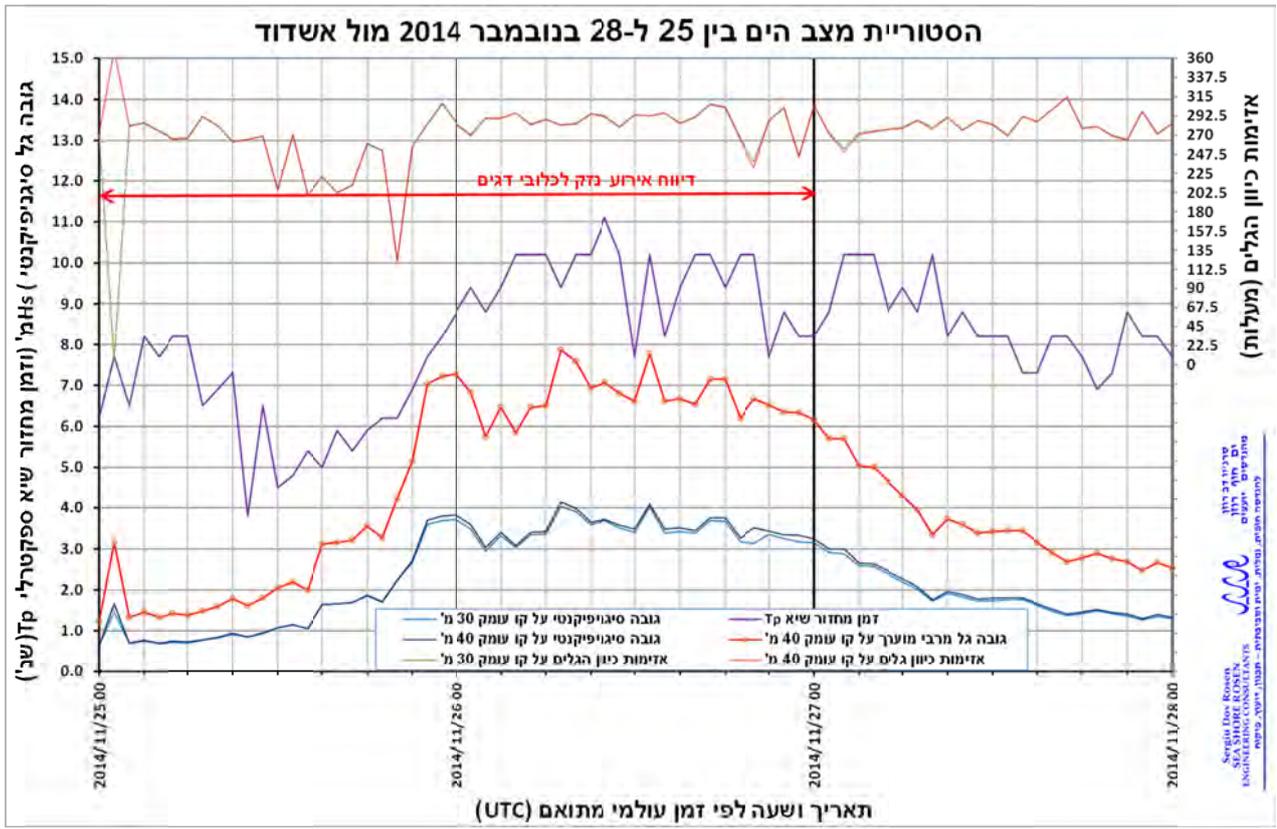
Show:

- Chlorophyll a Case1-Case2
- Generated using [Copernicus products](#) [?]
- SELIPS daily averaged currents [?]
- Finite Size Lyapunov Exponent
- Unstable*  *Stable* [?]

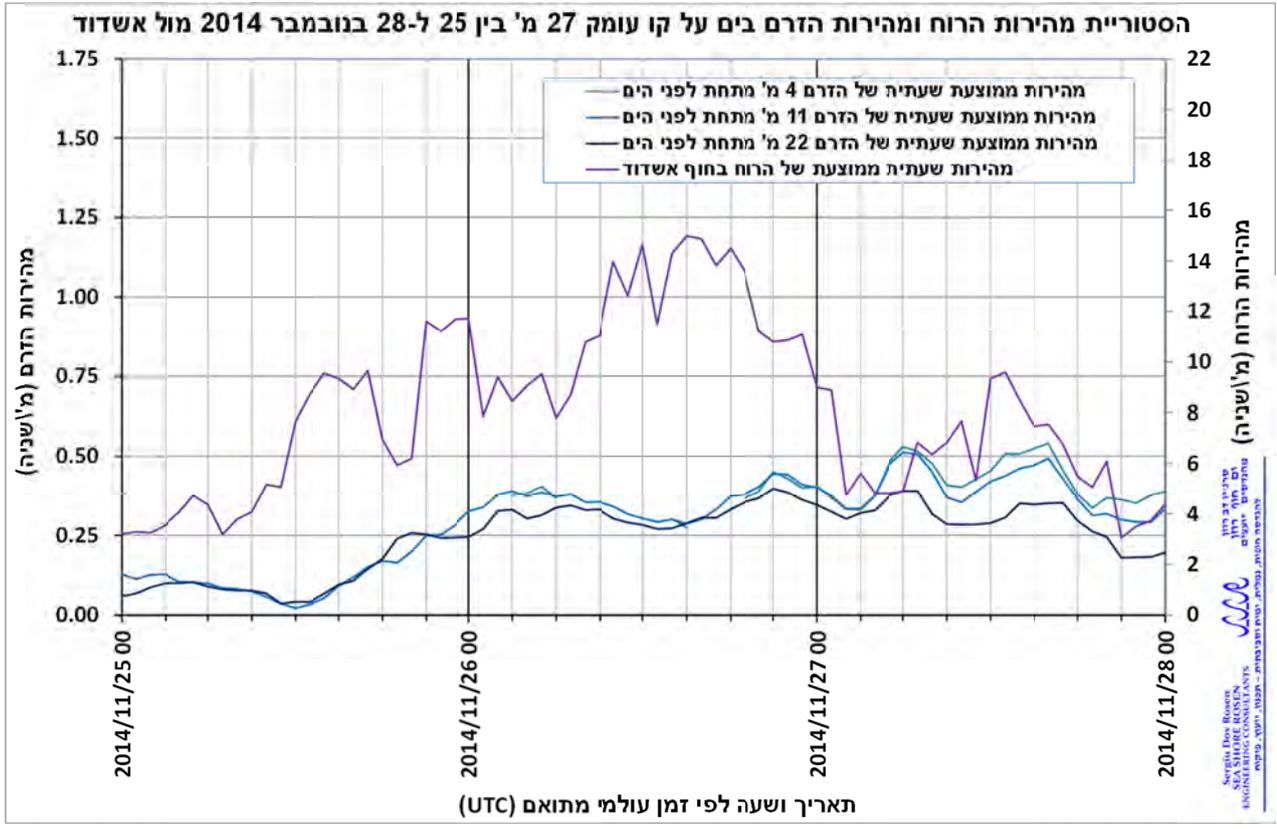
[About the project](#)

בא לישים זר לשלשות הקווים  
 הניצבים לחוף, צפונית לאשדוד  
 הם מיצגים מרחקים של 2.5, 5.0, 10.0 ק"מ

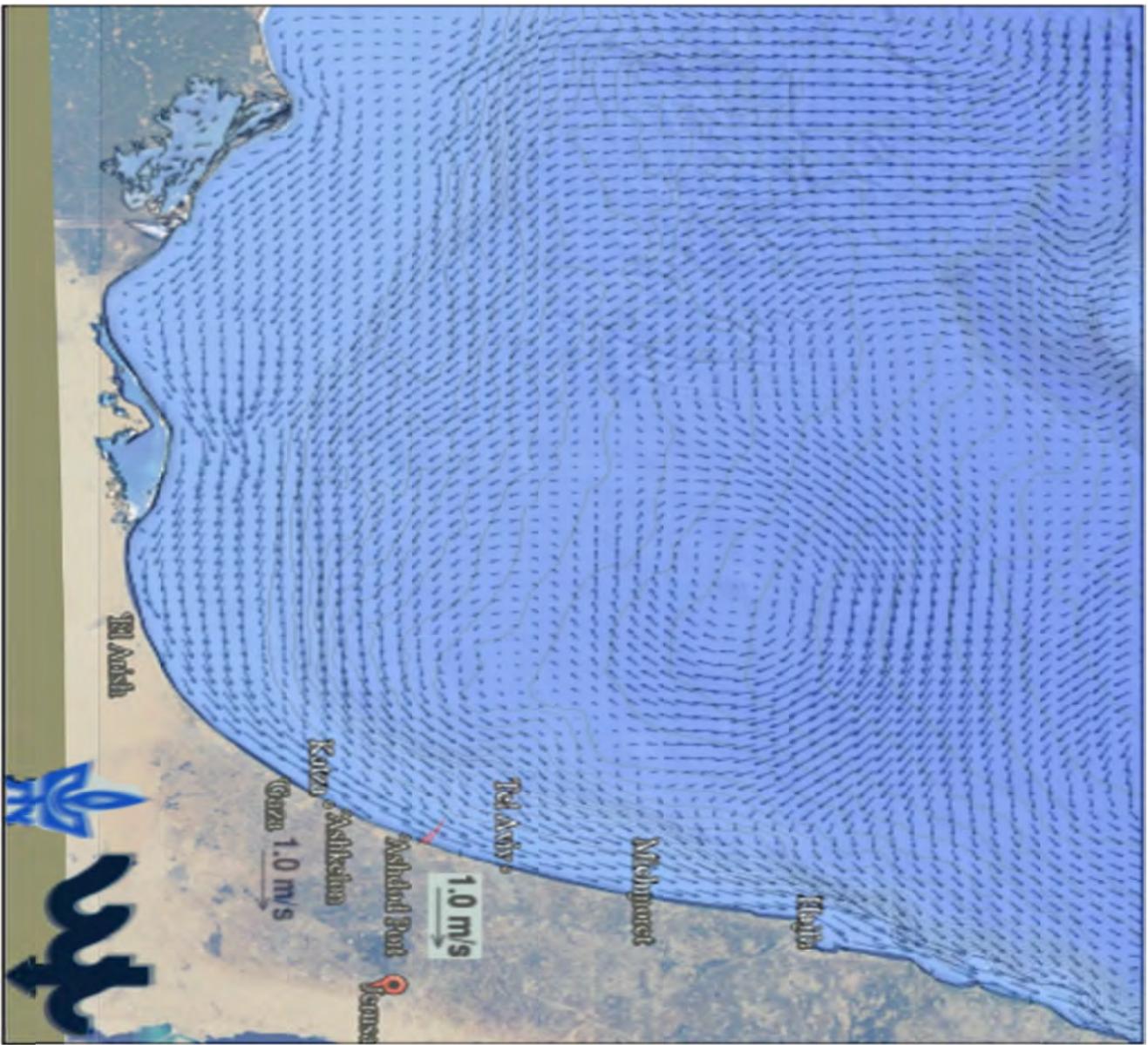
איור מס' 5.8 – תבנית הזרמים היומית הממוצעת בפני הים ב-1-9-2013 לפי מודל SELIPS (מקור: אתר <http://isramar.ocean.org.il/isramar2009/selips>, עיבוד תמונות – ס'ד' רוזן, ראה גם נספח 6)



איור מס' 5.9



איור מס' 5.10



Select Product and Time:

SELIPS

|< < 2014-11-26 > >|

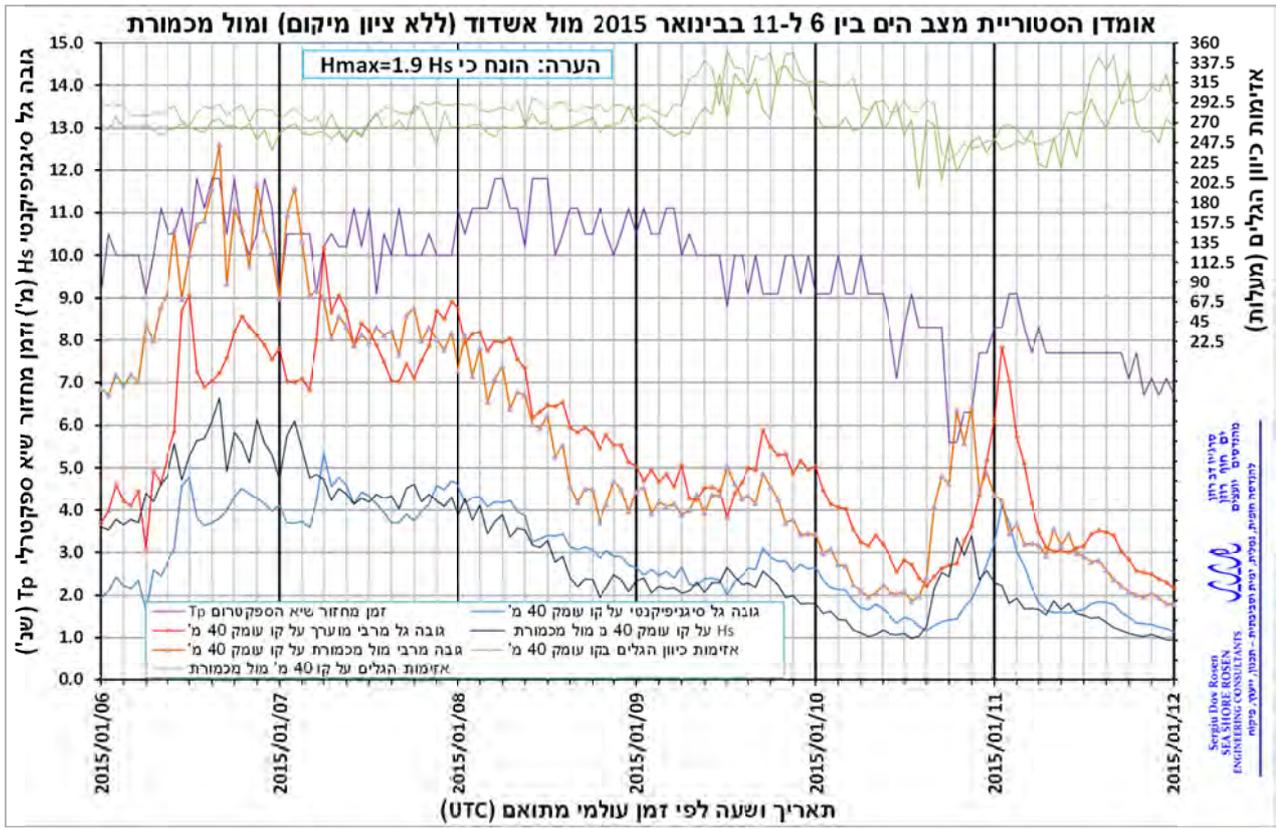
Show:

- Chlorophyll a Case1-Case2
- Generated using Copernicus products [?]
- SELIPS daily averaged currents [?]
- Finite Size Lyapunov Exponent
- Unstable  Stable [?]

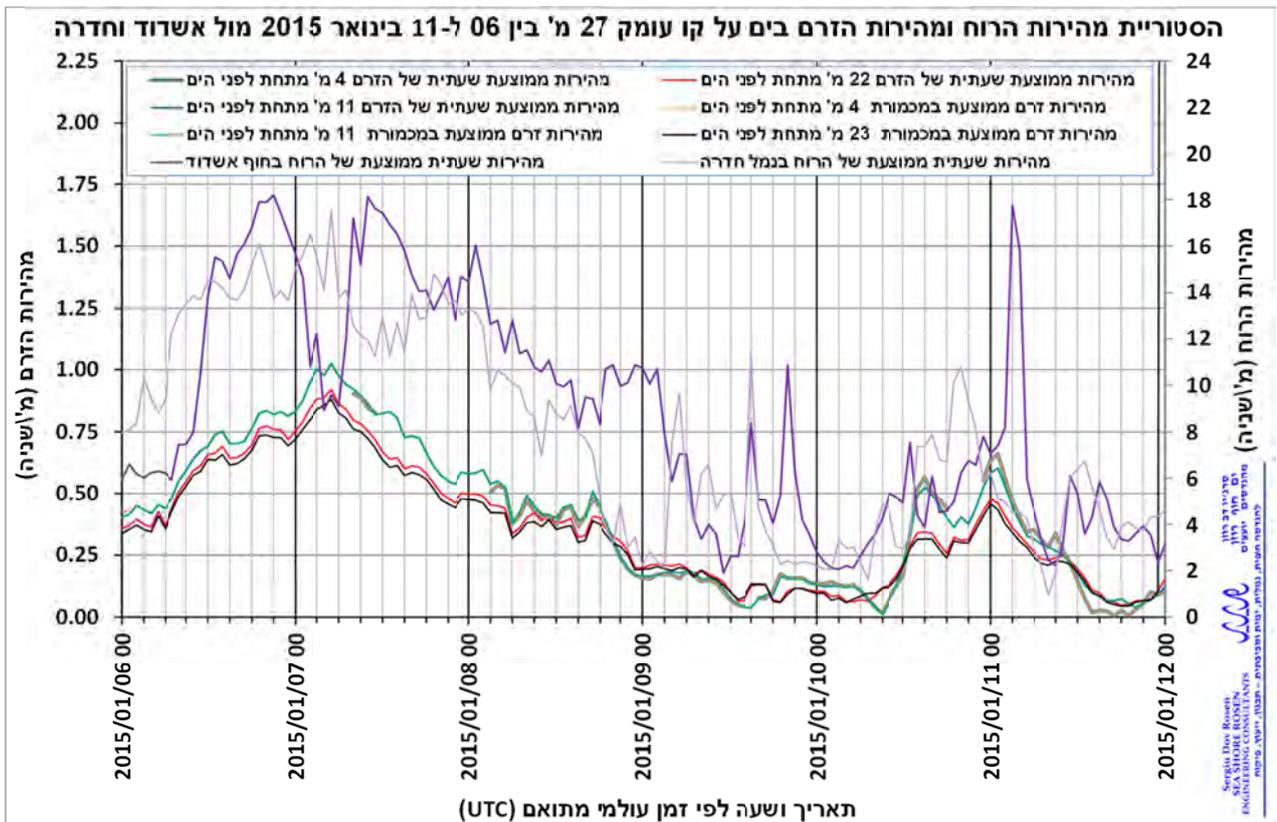
[About the project](#)

לא לשים לב לשלשות הקווים  
 המצביים לחוף, צפונית לאשדוד  
 הם מציגים מרחקים של 2.5, 5.0, 10.0 ק"מ

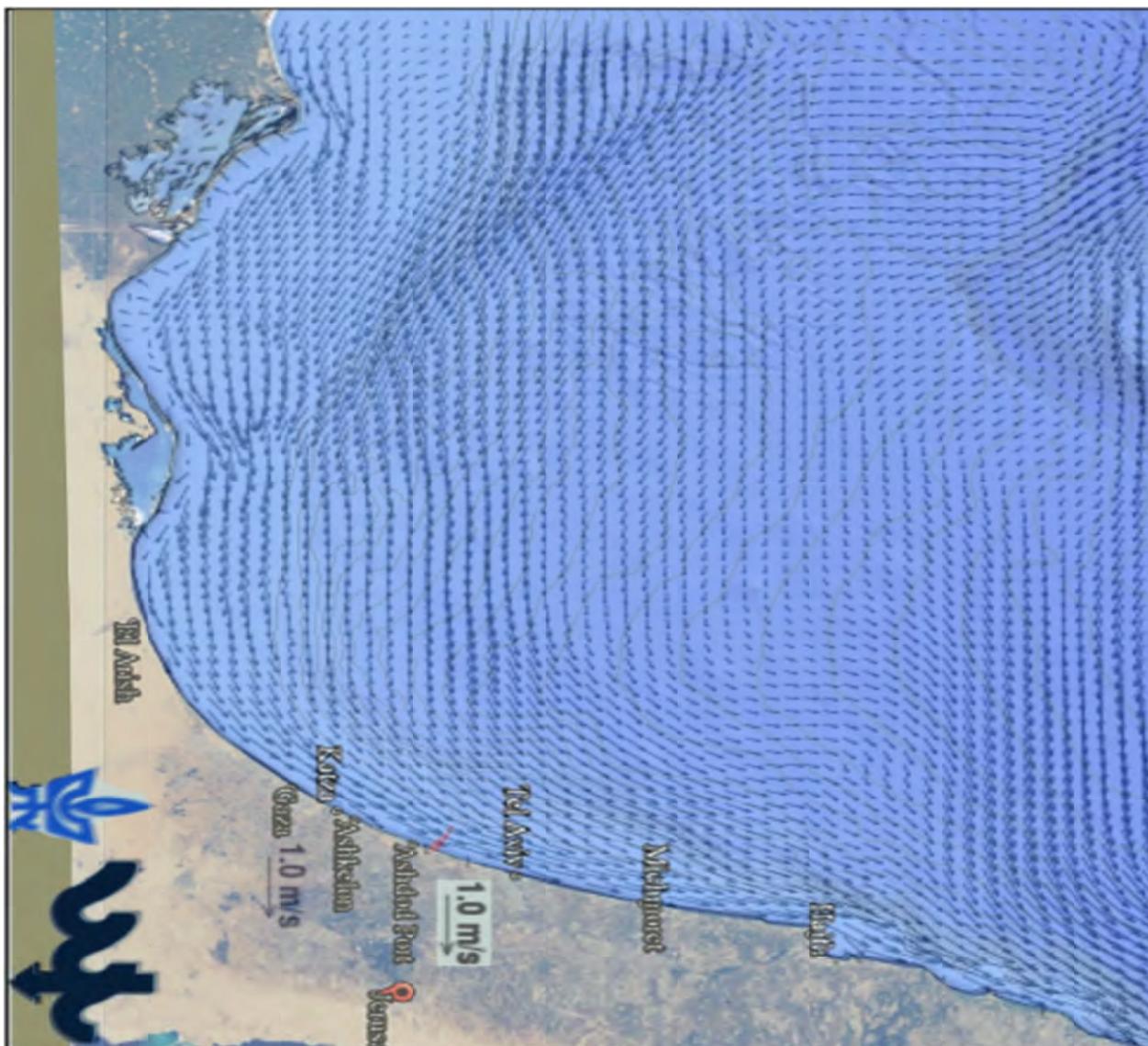
איור מס' 5.11 – תבנית הזרמים היומית הממוצעת בפני הים ב-26-11-2014 לפי מודל SELIPS (מקור: אתר <http://isramar.ocean.org.il/isramar2009/selips>, עיבוד תמונות – ס'ד' רוזן, ראה גם נספח 6)



איור מס' 5.12



איור מס' 5.13



Select Period and Time:

SELIPS

2015-01-06

Stop

Show:

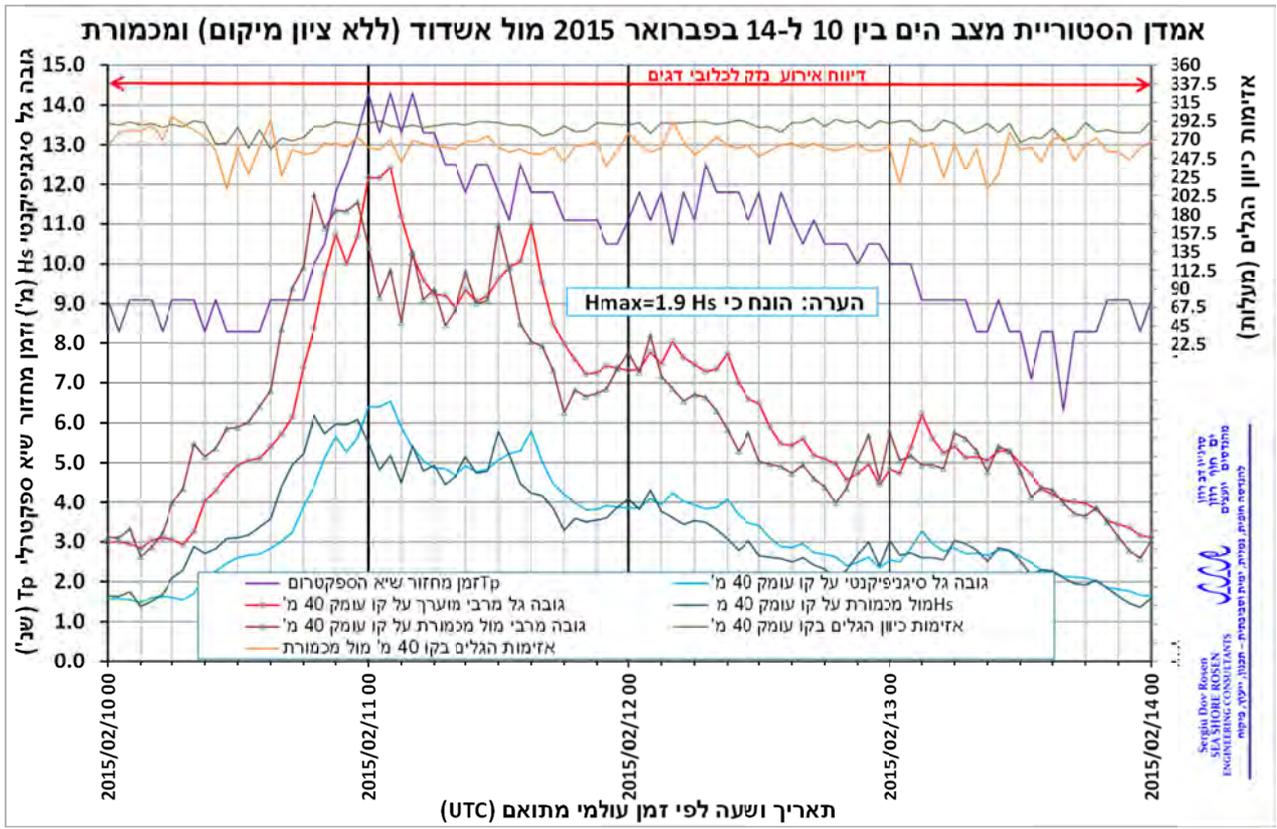
- Chlorophyll a Case1-Case2
- Generated using Copernicus products [?]
- SELIPS daily averaged currents [?]
- Finite Size Lyapunov Exponent
- Unstable  Stable [?]

[About the project](#)

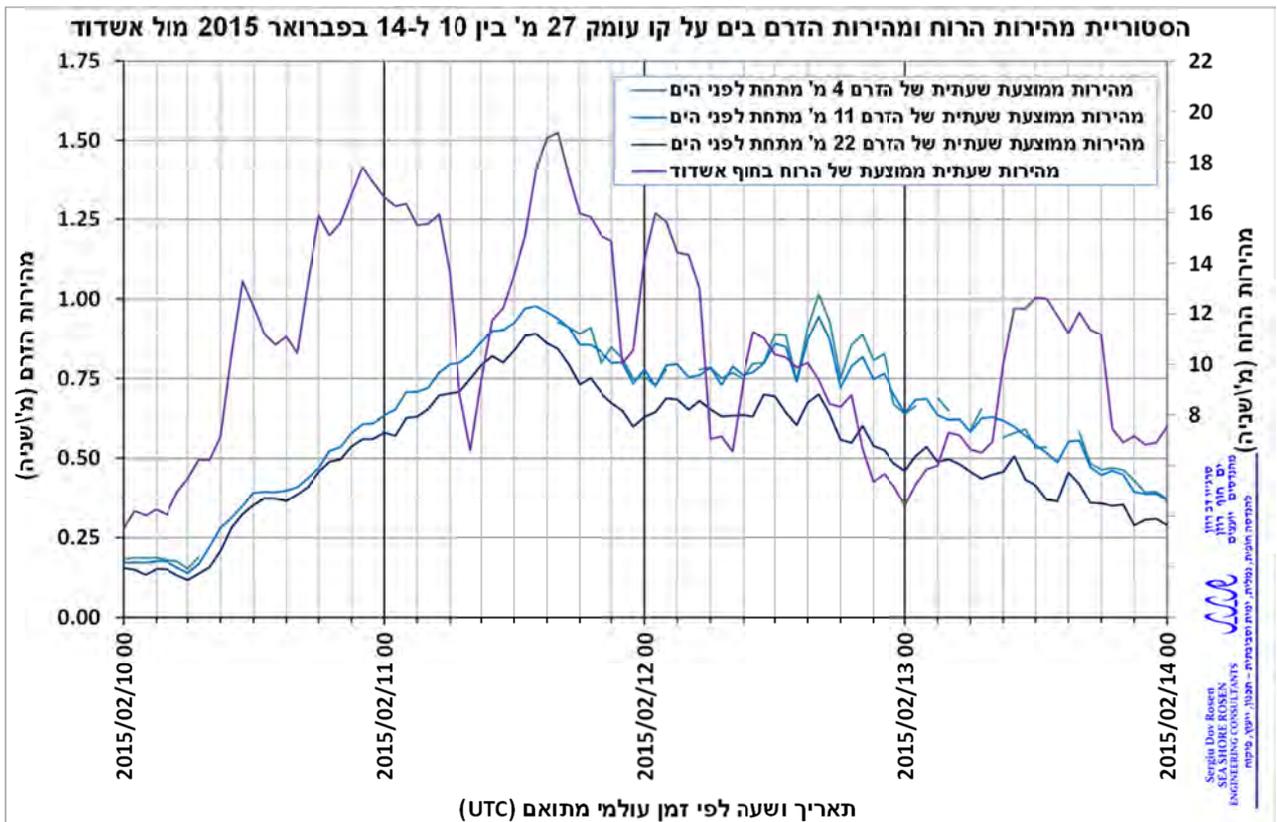
נא לשים לב לטולשת הקווים  
 התייבס לחוף, צפונת לאשרד  
 רס מייגים מרחקים של 2.5, 5.0, 10.0 ק"מ

איור מס' 5.14 – תבנית הזרמים היומית הממוצעת בפני הים ב-1-2015-6 לפי מודל SELIPS (מקור: אתר <http://isramar.ocean.org.il/isramar2009/selips>, עיבוד תמונות – ס'ד' רוזן, ראה גם נספח 6)

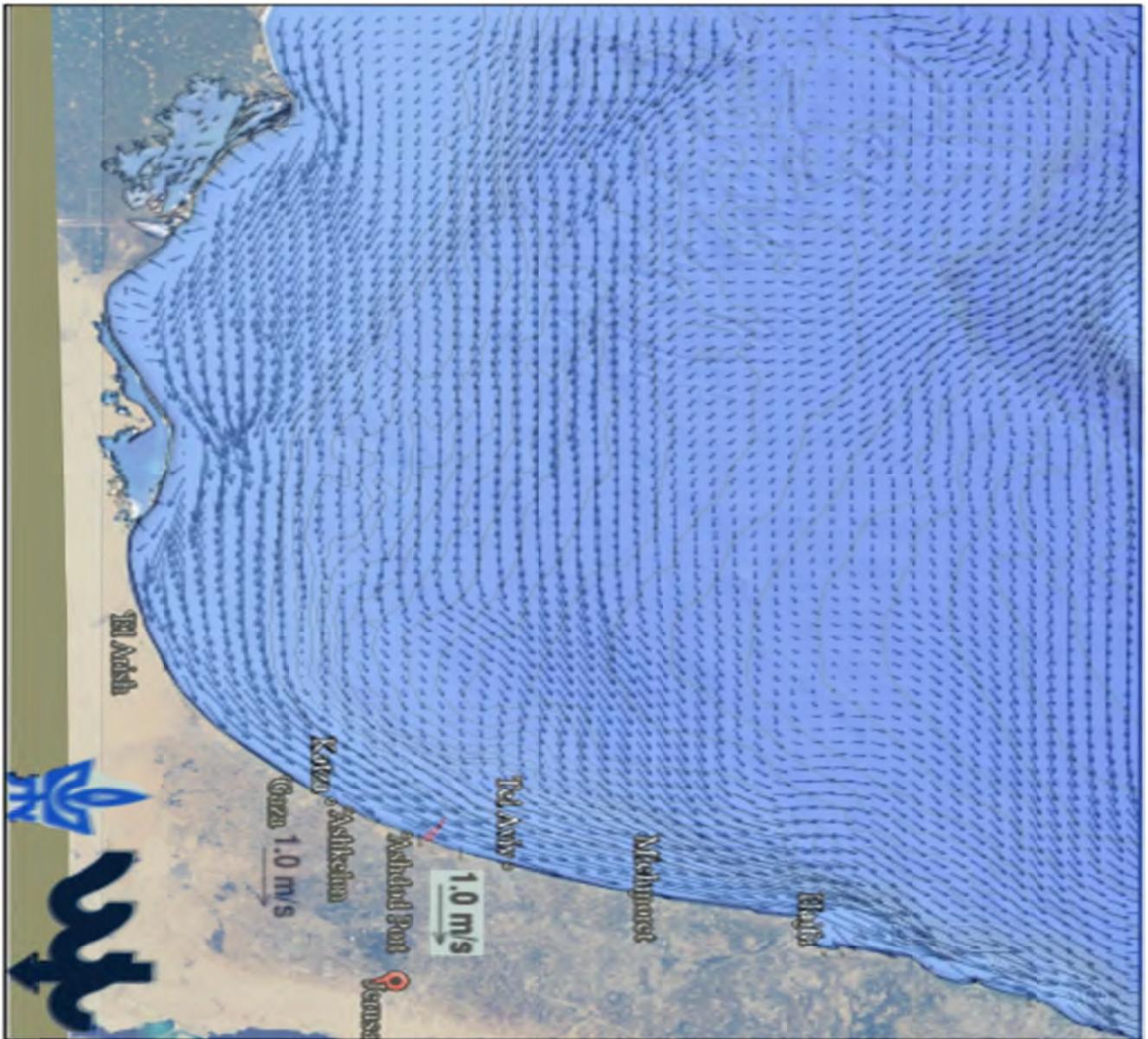




איור מס' 5.15



איור מס' 5.16



Select Procur and Time:

SELIPS

2015-02-11

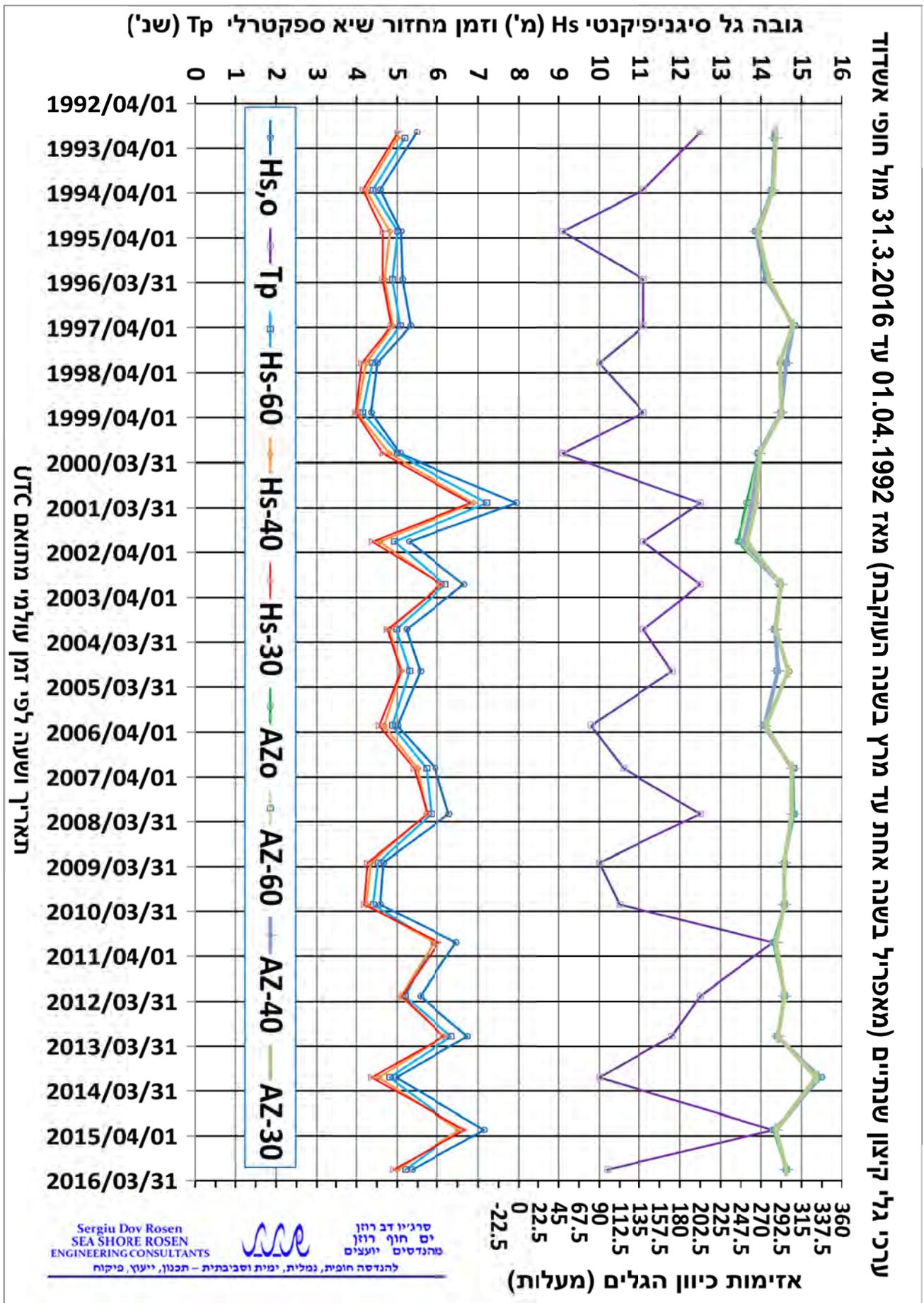
Show:

- Chlorophyll a Case1-Case2
- Generated using [Copernicus products](#) [?]
- SELIPS daily averaged currents [?]
- Finite Size Lyapunov Exponent
- Unstable*  *Stable* [?]

[About the project](#)

א לשים לב לשלושת הקווים  
המייצגים לחוף, צפונות לאשדוד  
הם מייצגים מרחקים של 2.5, 5.0, 10.0 ק"מ

איור מס' 5.17 – תבנית הזרמים היומית הממוצעת בפני הים ב-2-2015 לפי מודל SELIPS (מקור: אתר <http://isramar.ocean.org.il/isramar2009/selips>, עיבוד תמונות – ס'ד' רוזן, ראה גםנספח 6)



איור מס' 5.18

## 5.1 ניתוח אירועי הסערות בינואר ופברואר 2015 מבחינת גלים וזרמים ושכיחותן של מצבים אלה

### 5.1 א נזקים לכלובי דגים שהוצבו בים הפתוח

אפשר לומר שלאור המידע הגרפי שהצגנו בסעיף 5.0, ברור כעת מתי התרחשו אירועי סערות, ומה היה המצב המטאור-ימי באותם זמנים ומה היו הערכים המרביים של הגלים והזרמים באותן סערות. להלן נקשר את הדיווחים של נזקים לכלובים עם הערכים המרביים שהתרחשו באותן אירועים ואז מצופה שנוכל להסביר מה קרה. אנו נטפל בכל אירוע שזוהה בנפרד.

על פי הנתונים שהוצגו אפשר לומר כי הסערה המשמעותית הראשונה התרחשה בין 6 עד 11 לינואר 2015. גובה הגל הסיגניפיקנטי המרבי על קו עומק 60- מ' הגיע לכ-5.63 מ' והמרבי לכ-10.7 מ', זמן מחזור השיא בשיא הסערה היה כ-10.2 שני' וכיוון הגלים היה מערבי. על פי נתונים אלה וטבלה 5-1 אפשר לאמוד את תקופת החזרה הממוצעת של הגלים ל-4 שנים, בקו העומק 60- מ' בקרוב בו שהו הכלובים מצפון מערב לאשדוד.

באותה עת שררו זרמים בעלי מהירות של כ-0.9 מ'שני' ורוחות שהגיעו עד למהירות ממוצעת שעתית של כ-20 מ'שני'. תקופת החזרה של הזרמים מתאימה לכ-8 שנים ושל הרוח לתקופת חזרה של כ-5 שנים.

הסערה השניה התרחשה בין 10 עד 14 בפברואר 2015. גובה הגל הסיגניפיקנטי המרבי הגיע לכ-6.5 מ' והמרבי לכ-12.4 מ', זמן מחזור השיא בשיא הסערה היה כ-14.3 שני' וכיוון הגלים היה מערב-צפון מערב, כלומר כמעט ניצב לקווי העומק ולזרם. על פי נתונים אלה וטבלה 5-1 אפשר לאמוד את תקופת החזרה הממוצעת של הגלים ל-23 שנה.

באותה עת שררו זרמים בעלי מהירות של כ-0.55 מ'שני' שעלתה בתוך 12 שעות עד כ-0.9 מ'שני' ורוחות שהגיעו עד למהירות ממוצעת שעתית של 21 מ'שני'. תקופת החזרה של הזרמים מתאימה לכ-5 עד 10 שנים ושל הרוח לתקופת חזרה של כ-3 עד 7 שנים.

על פי הדיווחים הכלליים שסקרנו בעיתונות, נראה שבסערה של ינואר היתה מעט יותר חלשה מאשר זאת של פברואר, והנזקים שדווחו היו מצומצמים יותר מאשר אלה שנגרמו בפברואר, כאשר התרחשו גלים ארוכים יותר בהם יש אנרגיה רבה יותר.

כאמור ללא פרטים מפורטים על הנזקים שנמצאו לכלובים לא ניתן להתייחס באופן יותר מפורט כדי להבין היכן היתה החוליה החדשה במערכת הכלובים והעגינה. סביר להניח שהנזקים נגרמו משילוב של כמה השפעות. הנתונים מצביעים על יכולת השרידות של הכלובים שהיו בים באותה העת לתקופת חזרה של כ-10 שנים. זה נותן כיוון לגבי הסיכונים שיזם יכול לקחת בהקמת והפעלת חוו כלובי דגים.

### 5.1 ב נזקים לכלובי דגים שהוצבו בנמל אשדוד

נזקים בנמל אשדוד דווחו בעיקר בסערה בפברואר 2015 שפרטיה פורטו לעיל. לדעתנו הנזקים לכלובים נגרמו בגלל התפתחות גלים עומדים ארוכים בנמל עם נקודת נד באזור הכלובים שניזוקו וכן בגלל הצפה משמעותית מעל שובר הגלים, מה שנקרא "green water" שצנחו ישר על כלובי הדגים בגלל הסמיכות הגדולה מדי לשובר הגלם באזור שובר הגלים הבנוי עם יחידות שריון אנטיפר ומקפצות להרחקת המים העוברים את שובר הגלים מהשיפוע האחורי של שובר הגלים (צד פנים הנמל).

## 5.2 ניתוח אירועי הסערות בשנים 2009-2014 מבחינת גלים וזרמים ושכיחותן של מצבים אלה

להלן נביא תמצית של הסערות בתקופה 2009 עד 2014 שנבחנו באיורים שהוצגו מקודם. סיכום ערכי הקיצון מוצג בטבלה 5.2. בתקופה שנבחנה מצאנו 4 אירועי סערות גלים משמעותיות, בין 16 עד 31 לדצמבר 2009, בין 11 עד 15 לדצמבר 2010 (שעבורה לא מצאנו דיווחים על נזקים לכלובים ויתכן שאז לא היו כלובים בים), בין 5 עד 10 בינואר 2013 ובין 25 עד 28 בנובמבר 2014.

לגבי הסערה שהתרחשה בין 16 ל-31 בדצמבר 2009, אנו יכולים לציין כי על פי הנתונים שהוצגו אפשר לומר כי גובה הגל הסיגניפיקנטי המרבי הגיע לכ-3.7 מ' והמרבי לכ-7.03 מ', זמן מחזור השיא בשיא הסערה היה כ-10.0 שני וכיוון הגלים היה מערב. על פי נתונים אלה וטבלה 5-1 אפשר לאמוד את תקופת החזרה הממוצעת של הגלים כשנה במיקום הכלובים על קו עומק 60- מ' בקרוב.

באותה עת שררו זרמים בעלי מהירות של כ-0.5 מ'שני ורוחות שהגיעו עד למהירות ממוצעת שעתית של 15.5 מ'שני. תקופת החזרה של הזרמים מתאימה לאחת לשנה וגם של הרוח לתקופת חזרה של אחת לשנה.

ידוע לנו על פי מידע שקיבלנו ב-2013 ממשרד עו"ד למתן חוות דעת, שלא ניתנה בסופו שלדבר עקב פשרה בין הצדדים. על פי מסמך שהכין השמאים, שלא היה בידנו אפשרות לאמתו, נטען כי בזמן הסערה היו בים מול צפון אשדוד על קווי עומק 55 עד 60 מ' שתי מערכות כלובי דגים מסוג סאבפלקס בעלי קוטר של 16 מ' כל אחד, ושלקראת הסערה הכלובים הורדו עד קרבת הקרקעית (כ-6 מ' מעל הקרקעית). בעקבות הסערה, כבר ב-20.12.2009 התגלה נזק באחת משתי מערכות הכלובים, שנמצאה מסובבת ומעוותת. לפי אותו מסמך במערכת היו במקור, 6 הכלובים שהיו בקו ישר, אך לאחר הסערה נמצאו במצב שבו כלוב 5 נוגע בכלוב מס' 1 שנמצא כי נדחף ונוגע במסגרת המתיחה המרובעת. דווח כי הכלובים 1, 2, 3 ו-5 נלחצו אחד כנגד השני תוך הקטנת נפחים ותמותה ניכרת של הדגים בכלובים. המסקנות של השמאים היו שככל הנראה עקב הסערה המסגרת ושרשרותיה נתקעו בקרקעית ועם שוך הסערה ושינוי הכיוון של הכוחות הפועלים היא לא השתחררה מהקרקעית ולכן הכלובים הסתבכו והתעוותו. בהנחה כי המידע מהימן, אפשר לתת הסבר אחר לממצא של מצב הכלובים לאחר הסערה. לדעתנו, התיאור מתאים מאוד למצב של התנזלות הקרקעית ושקיעת הכלובים והשרשרות והמסגרת לתוך הקרקעית ולכידתם עם שוך הסערה ושינוי כיוון התקרבות הגלים.

לגבי הסערה שהתרחשה בין 11 ל-15 בדצמבר 2010, אנו יכולים לציין שזאת אחת הסערות החזקות ביותר שנמדדו ושבמהלכה גם לראשונה נמדדו מהירויות שיא של זרמים. בעבר נשמעו דיווחי דייגים על אירועי קיצון במאה העשרים של זרמים נדירים של כ-3 עד 4 קשר אך לא מצאנו כל דרך לאמתם, אך הפעם אכן נרשמו מהירויות של קרוב ל-3 קשר בשכבת המים העליונה. על פי הנתונים שהצגנו אפשר לומר כי גובה הגל הסיגניפיקנטי המרבי על קו עומק 60 מ' הגיע לכ-5.9 מ' והמרבי לכ-11.2 מ', זמן מחזור השיא בשיא הסערה היה כ-14.3 שני וכיוון הגלים היה מערב-צפון מערב בקרוב. על פי נתונים אלה וטבלה 5-1 אפשר לאמוד את תקופת החזרה הממוצעת של הגלים ל-6 שנה במיקום הכלובים.

באותה עת האומדן לקו עומק 60- מ' הוא של זרמים בעלי מהירות של כ-1.10 מ'שני ורוחות שהגיעו עד למהירות ממוצעת שעתית של 24 מ'שני. תקופת החזרה של הזרמים מתאימה לאחת ל-50 שנים וגם של הרוח לתקופת חזרה של אחת ל-20 שנה. כאמור, לא מצאנו דיווחים על נזקים לכלובי דגים בתקופת סערה זו אך היא מראה כי באופן עקרוני בחישובי התכן להישרדות, יש צורך להתחשב גם בהנחיית התקן הבינלאומי לבדיקה למצב של גלים עם תקופת חזרה של 10 שנים וזרמים עם תקופת חזרה של 50 שנה. במציאות בחופי ישראל, בגלל אפייני הגלים, לגלים עם תקופת חזרה של 50 שנה וזרמים עם תקופת חזרה של 10 שנים יתנו תמיד כוחות גדולים יותר מהמצב שהיה באירוע זה.

לגבי הסערה שהתרחשה בין 5 ל-10 בדצמבר 2013, אנו יכולים לציין על פי הנתונים שהוצגו כי בתקופה זאת התרחשו שתי סערות חזקות סמוכות, כשכל אחת של נמשכה כ-7 שעות. בסערה הראשונה ב-7/01/2013 גובה הגל הסינגניפיקנטי המרבי על קו עומק 60 מ' הגיע לכ-5.0 מ' והמרבי לכ-9.5 מ', זמן מחזור השיא בשיא הסערה היה כ-10.0 שני וכיוון הגלים היה מערבי. בסערה השנייה ב-9/01/2013 גובה הגל הסינגניפיקנטי המרבי על קו עומק 60 מ' הגיע לכ-6.34 מ' והמרבי לכ-12.0 מ', זמן מחזור השיא בשיא הסערה היה כ-11.8 שני וכיוון הגלים היה מערב-צפון מערבי. על פי נתונים אלה וטבלה 5-1 אפשר לאמוד את תקופת החזרה הממוצעת של הגלים ל-2 שנים ו-11 שנים בהתאמה.

בסערה הראשונה שררו זרמים עם מהירויות של לפחות 0.6 מ'שני (אין מידע בשיא הסערה) ורוחות עם מהירויות של כ-22 מ'שני. בסערה השנייה שררו זרמים בעלי מהירות של כ-0.2 מ'שני ורוחות שהגיעו עד למהירות ממוצעת שעתית של 20 מ'שני. תקופת החזרה של הזרמים בסערה הראשונה מתאימה לפחות לאחת ל-2 שנים ושל הרוח לתקופת חזרה של אחת ל-10 שנה. לסערה השנייה תקופת החזרה של הזרמים היא אחת לשנה ושל הרוח של אחת ל-5 שנים. הדיווחים בעיתונות לא מאפשרים לנתח מה קרה לכלובים שניזוקו באירוע זה.

לגבי הסערה שהתרחשה בין 25 ל-28 בנובמבר 2014, על פי הנתונים שהוצגו אפשר לומר כי גובה הגל הסינגניפיקנטי המרבי על קו עומק 40 מ' הגיע לכ-4.14 מ' והמרבי לכ-8 מ', זמן מחזור השיא בשיא הסערה היה כ-10.0 שני וכיוון הגלים היה מערבי. על פי נתונים אלה וטבלה 5-1 אפשר לאמוד את תקופת החזרה הממוצעת של הגלים לפעם בשנה.

באותה עת שררו זרמים בעלי מהירות של כ-0.3 מ'שני ורוחות שהגיעו עד למהירות ממוצעת שעתית של 16.5 מ'שני. תקופת החזרה של הזרמים מתאימה לאחת לשנה וגם של הרוח לתקופת חזרה של אחת ל-שנה. כאמור, המידע על נזקים לכלובים שפורסם בעיתונות לא מאפשר ניתוח סיבת הנזקים.

**טבלה 5.2 - ערכי קיצון מטאורימיים באירועי הסערות שתוארו לעיל מאז 12/2009 עד 03/2015 מצפון מערב לאשדוד**

תקופת הסערה בין התאריכים	תאריך ושעת אירוע ערבי השיא של הגלים	אפיוני הגלים במים עמוקים									אפיוני הגלים על קו עומק 60 מ'				אפיוני הגלים על קו עומק 40 מ'				אפיוני הזרם ותקופת החזרה הממוצעת על קו עומק 60 מ'			אפיוני הרוח וקופת החזרה הממוצעת		
		$T_R$	$Az_{w_0}$	$H_{max_0}$	$Hs_0$	$Az_{w_60}$	$H_{max_60}$	$Hs_{60}$	$T_R$	$Az_{w_40}$	$H_{max_40}$	$Hs_{40}$	$T_R$	$Az_{w_30}$	$H_{max_30}$	$Hs_{30}$	$T_R$	$Az_{w_22}$	$V_{c_22}$	$V_w$	$Az_w$	$V_w$		
	UTC	מ'	מ'	מ'	מעלות	מ'	מ'	מ'	מעלות	מ'	מ'	שנים	מעלות	מ'	מ'	שנים	מעלות	מ'שני	מעלות	מעלות	מעלות	שנים		
16-31 Dec. 2009	17/12/2009 11	3.81	7.24	10.00	275	3.70	7.03	275	1	275	7.03	3.70	1	277	6.59	3.47	1	276	6.75	3.55	1	198.2	15.5	
11-15 Dec. 2010	12/12/2010 05	6.46	12.27	14.30	284	5.90	11.21	285	6	287	11.23	5.91	6	287	11.46	6.03	6	287	11.23	5.91	6	197.6	24.0	
05-10 Jan. 2013	09/01/2013 16	6.74	12.81	11.80	288	6.34	12.05	288	11	288	11.70	6.16	10	289	11.70	6.16	10	289	11.70	6.16	10	263.4	20.0	
25-28 Nov. 2014	26/11/2014 07	4.38	8.32	10.20	281	4.30	8.17	281	1	281	7.87	4.14	1	282	7.66	4.03	1	282	7.87	4.14	1	233.3	10.0	
05-12 Jan. 2015	07/01/2015 06	5.84	11.10	10.20	259	5.63	10.70	260	4	260	10.17	5.35	4	262	9.86	5.19	4	262	10.17	5.35	4	186.0	20.0	
10-14 Feb. 2015	11/02/2015 02	7.15	13.59	14.30	284	6.53	12.41	285	15	285	12.43	6.54	15	287	12.67	6.67	18	287	12.43	6.54	15	224.9	21.0	

## 6. אפיון מצבי קיצון מטאו-ימיים לגבי תנאי זרימה, גלים וכוחות שיפעלו על כלוב דגים בים

### 6.1 בחירת מאפייני הגלים, הזרמים והרוחות לביצוע הדמיות של מהירויות ותאוצות על כלוב שקוע במצבי קיצון

בהתאם לתכנית לביצוע הדמיות של 16 תרחישים של מצבי גלים, זרמים ורוחות, בטבלה 1-6 מוצגים מצבי הקיצון שנבחרו לצורך הרצת ההדמיות. העקרונות לבחירת התרחישים היו שידמו מצבי קיצון הידרודינמיים העומדים בהמלצות תקן ISO 16488: 2015 לבדיקת כלובי דגים במצבי קיצון. על פי המלצות אלה, יש לבדוק עמידות הכלובים בשני מצבים עקרוניים:

(א). גובה גל מרבי המתאים לגל סיגניפיקנטי קיצון עם תקופת חזרה ממוצעת של 50 שנה בשילוב עם מהירות זרם בעלת תקופת חזרה ממוצעת של 10 שנה ועם רוח בעלת תקופת חזרה ממוצעת של 50 שנה.

(ב) גובה גל מרבי המתאים לגל סיגניפיקנטי קיצון עם תקופת חזרה ממוצעת של 10 שנה בשילוב עם מהירות זרם בעלת תקופת חזרה ממוצעת של 50 שנה ועם רוח בעלת תקופת חזרה ממוצעת של 50 שנה.

כפי שצוין מקודם, השפעת הרוח כבר משולבת בתוך מדידות הזרמים, ומכיוון שתרומתה לזרם תהיה בסדר גודל של כ-25 ס"מ/שני, ברור שעיקר הזרם שנמדד ושימש לחישוב ערכי קיצון בעמקים בהם אמורים להימצא הכלובים בעת מצבי קיצון (6 מ' מעל הקרקעית, על קווי עומק 40 – מ' ושל 60- מ') הינו חלק הזרם הכללי הגיאוסטרופי. שנית, תרומת המהירות האורביטלית היא הרבה יותר גדולה במצבי קיצון של גלים עם תקופת חזרה ממוצעת בחופי ישראל, ולכן לא היה טעם לבדוק מצבי קיצון לפי הקריטריון ב' דלעיל.

ואולם, מכיוון שתקופת אורך החיים הכלכלי של הכלובים לא הוגדרה ולמעשה כל בעל חוות כלובים יקבע מהו אורך החיים הכלכלי של החווה שלו ובאיזה תנאי ריסק הוא יעבוד, כל עוד הוא עומד בדרישות המינימום של משרד החקלאות ופיתוח הכפר, הוחלט לבצע ההדמיות גם לאזור מכמורת וגם לאזור אשדוד וכן לבצע ההדמיות עבור שני מצבים עקרוניים: א. לפי סעיף א' דלעיל. ב. לפי גובה גל מרבי המתאים לתקופת חזרה של גל סיגניפיקנטי של 100 שנה ומהירות זרם עם תקופת חזרה של 25 שנה.

כמו כן, מכיוון שמהירות הזרם הפועל על כלוב בעל גובה (שוקע) של 12 מ' תהיה מעט שונה, בוצעו הרצות של חישוב הערכים ההידרודינמיים פעם לרום התחתון של הכלוב (22- מ' לקו עומק 40- ו-42- לקו עומק 60- מ') ופעם לרום העליון במצב שקוע של הכלוב (34- מ' לקו עומק 40- מ' ו-54- מ' לקו עומק 60- מ').

עבור כל תרחיש קיצון כזה נעשה שימוש בקשרים המומלצים בפרק 2 בין גובה הגל הסיגניפיקנטי וגובה הגל המרבי במצבי קיצון וכן בין גובה הגל הסיגניפיקנטי הקיצון וזמן מחזור השיא שלו. נבדקו כמובן גם ערכים של זמן מחזור של הגל הקיצון לפי המלצות התקן, אך מאחר והם היו נמוכים מהערך שהתקבל על פי התנאים בחופי ישראל, הם לא נבחרו כנתוני בדיקה. ערכי הגלים, הזרמים והרוח שנבחרו להדמיות מצוינים הצבע אדום בטבלה. בטבלה מצוינים גם הערכים לקווי עומק 27- מ' עבור הזרמים, וכן במים עמוקים, וכמובן עבור ההדמיות שנבדקו לקווי עומק 40- מ' ו-60- מ', המסומנים ברקע צהוב.

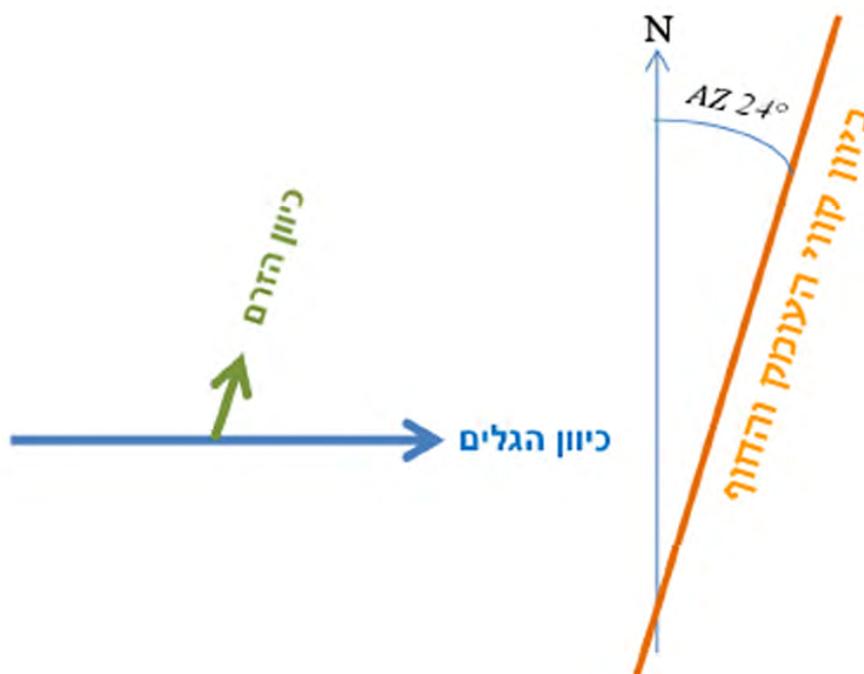




## 6.2 א' הצגת תוצאות ההרצות של ההדמיות של התנאים ההידרודינמיים המתפתחים במצבי קיצון על גוף שקוע בים במיקום המיועד לכלובי הדגים מול חופי צפון אשדוד

כפי שצוין בפרק 2 ההדמיות בוצעו באמצעות חבילת התוכנה ACES, תוך שימוש בשיטת החישוב של המאפיינים הקינמטיים בגלים בנוכחות זרם הנע באותו כיוון כמו הכיוון התקרבות הגלים במיקום הבדיקה או בכיוון הפוך לכיוון התקרבות הגלים. כמוכן שעבור מצבים בהם הזרם יוצר זווית עם כיוון ההתקרבות של הגל, הרכיב המקביל לכיוון ההתקרבות של הגל ייתן רכיב מהירות זרם נמוכה יותר שתתווסף למהירות האורביטלית האופקית של הגל, דבר שיקטין את כוח הגרר מאשר אם היה באותו כיוון כמו כיוון התקרבות הגל, אך לא יגדיל את כוח האינרציה היות והזרימה הנוספת קבוע (בקרום ראשון). כפי שהוסבר בפרק 2, חישוב מפורט ומדויק של הכוחות על כלובי דגים בחוות דגים הוא מאוד מורכב ולא היה במטלות העבודה הנוכחית. מאידך, השימוש בנתוני הקיצון המומלצים ע"י התקן הבינלאומי של הזרם והגלים והרוח כאשר פועלים באותו כיוון יכול לתת אומדן של הכוחות הצפויים בהנחה שלא נגרם עיוות לתצורה הגלילית של רשת הכלוב. זאת מאחר ואם נוצר עיוות בצורת הכלוב בהשפעת הכוחות שמפעילים הגלים והזרמים, ישתנה (יגדל) מקדם הגרר והעילוי במשוואת מוריסון ונקבל הגדלה של הכוחות הפועלים וכך הלאה עד למצב שיעבור מצב התכן לשרידות או ייפגע הכלוב על רשתו והדגים שבתוכה.

ובכן, במצב התכן לשרידות על פי התקינה הבינלאומית, כיוון הגלים באשדוד צפוי להיות מערבי וכיוון המהירות האורביטלית המרבית יהיה מזרחה בקרוב, כלומר  $AZ 90^\circ$ . במצב קיצון של הגלים צפויים גם לקבל מהירויות זרם כללי קרובות למהירות הזרם המומלצת לבדיקת שרידות (תקופת חזרה של 10 שנים) או אפילו גדולה יותר. בכל מקרה, כיוון הזרם במצב התכן לשרידות עבור אזור אשדוד אמור להיות מקביל בקרוב לקווי העומק באותו המקום כלומר כ-  $AZ 22.5^\circ$ . בתלות במיקום בעמודת המים כיוון הזרם עשוי להשתנות בכ- 10 עד 20 מעלות, כלומר  $AZ 12.5^\circ$  עד  $AZ 2.5^\circ$  בשכבות התחתונות של עמודת המים בין החלק העליון והחלק התחתון של הכלוב בעל גובה (שוקע) של 12 מ'. כדי להמחיש המשמעות, נתייחס לאיור 6.1 להלן.



איור מס' 6.1

לולא היה זרם (שמניחים אותו כקבוע לפחות לפרק הזמן של הגל המרבי (אבל מעשית גם למשך תקופה של כמה דקות עד שעה), אזי היינו מקבלים כוח גרר מושרה גלים על כלוב בכיוון הגלים, שנסמן אותו ב- $F_{DW}$  ובנוסף יפעל כח אינרציה מושרה גלים שנסמן אותו ב- $F_{IW}$ .

כעת נוסיף את הזרם הקבוע שהמהירות שלו קטנה מזו של המהירות האורביטלית האופקית של הגלים, וכיוונה בקרוב ניצבת לכיוון התקדמות הגלים. הזרם יוסיף כח גרר בלבד כי זהו זרם קבוע ונסמן כח הגרר מושרה הזרם ב- $F_{DC}$ .

אם נחשב את השקול של הכוחות, שהוא הכח שיופעל על העוגן נוכל לרשום כי הכח על העוגנים שנסמן את השקול שלהם ב- $F_A$  יהיה:

$$(6_1) \quad F_A^2 \cong F_{DC}^2 + (F_{IW} + F_{DW})^2 = F_{DC}^2 + F_{IW}^2 + F_{DW}^2 + 2F_{IW}F_{DW}$$

אם נניח כי הזרם נע באותו כיוון כמו הגלים כי אז נקבל מהירות גדולה יותר ואז ניתן יהיה לרשום כי הכוח השקול החדש  $F_{A1}$  הוא

$$(6_2) \quad F_{A1}^2 \cong F_{D(W+C)}^2 + F_{IW}^2 > F_A^2$$

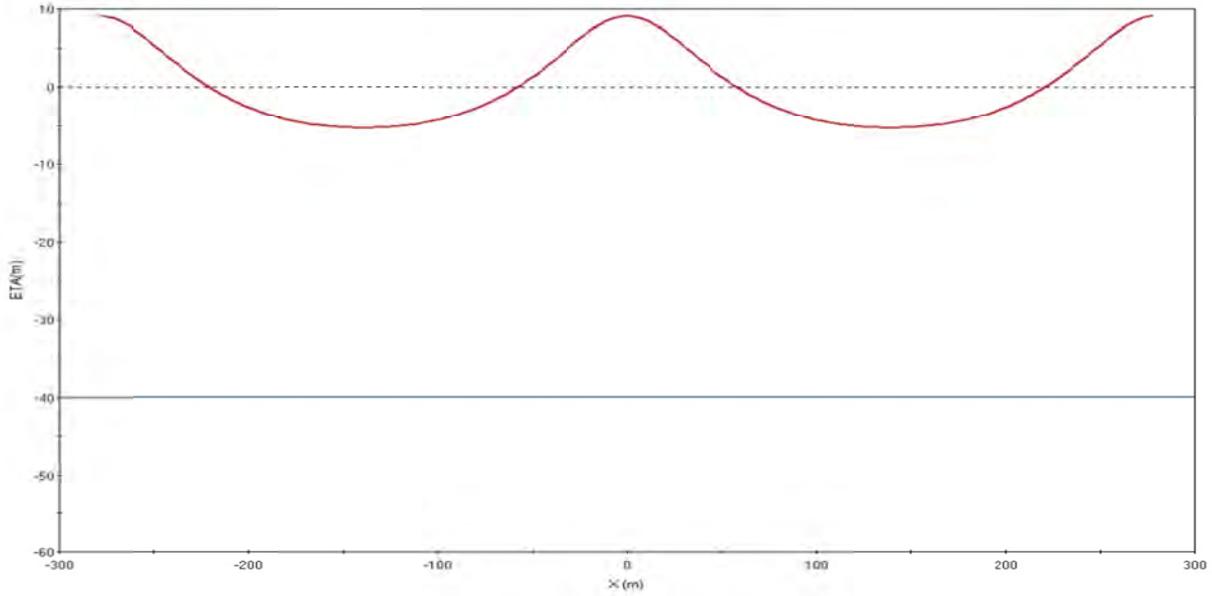
אולם ברור כי כח הגרר כאשר גם הזרם באותו כיוון עם הגלים  $F_{D(W+C)}$  הוא גדול בהרבה מסכום כוחות הגרר של הגלים בלבד ושל הזרם בלבד כי כוח הגרר יחסי לריבוע המהירות. לכן ההנחה כי הזרם הקבוע נע באותו כיוון עם כיוון תקיפת הגלים תוביל אותנו להערכה יותר שמרנית של הכוח השקול על העוגן, שעדיין הינה הערכה הגסה יותר ולהערכה אמינה ומדויקת יש צורך בעריכת מודלים כפי שהוסבר בפרק 2.

להלן נציג את התוצאות של ההדמיות לתנאי השרידות כפי שהוסבר מקודם, לאזור אשדוד, לקווי עומק של 60- מ' ושל 40- מ' שישמשו אותנו לאחר מכן לחישוב כח הגרר והאינרציה. אולם, כדי האומדן יהיה יותר אמין, נשתמש לנוסחאות האמפיריות שהציגו Aarnes et al. (1990) לחישוב מקדם המוצקות ומקדם הגרר לרשת כלוב, ומשם גם לחישוב הקטנת המהירות של הזרם עבור כלוב הנמצא בצל הכלוב הראשון. כמו כן, אפשר גם להתחשב ביתכנות צימדה על הרשת של הכלוב, דבר שיגדיל את הגרר ולשם כך נוכל להשתמש בתוצאות עבודתם של Gansel et al. (2015).





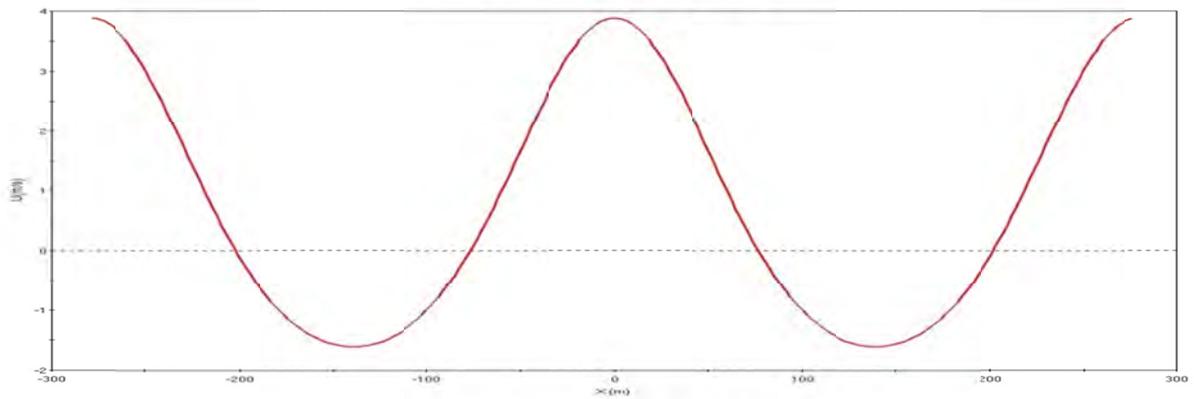
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Water Surface Elevation at -22.000 m

איור מס' 6.2 – תצורת הגל על פני שני מחזורים

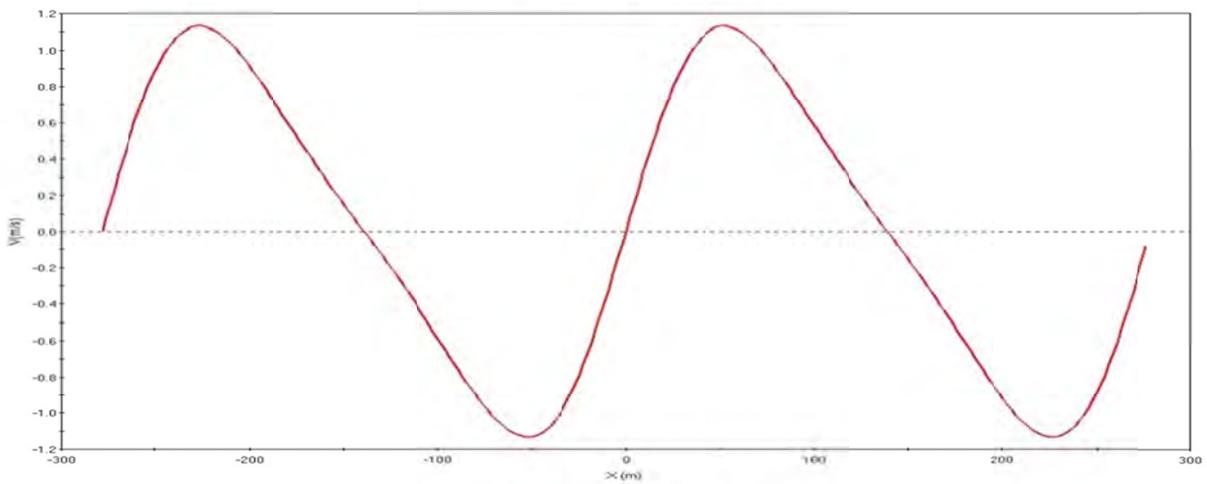
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) at -22.000 m

איור מס' 6.3 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים

Fenton's Fourier 20 Wave Theory

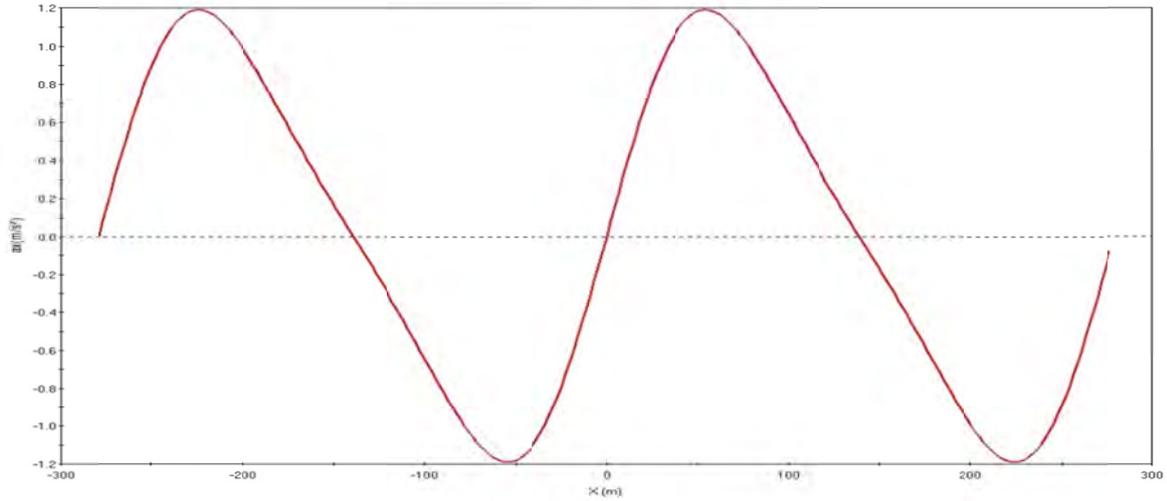


Vertical Velocity (W) at -22.000 m

איור מס' 6.4 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים



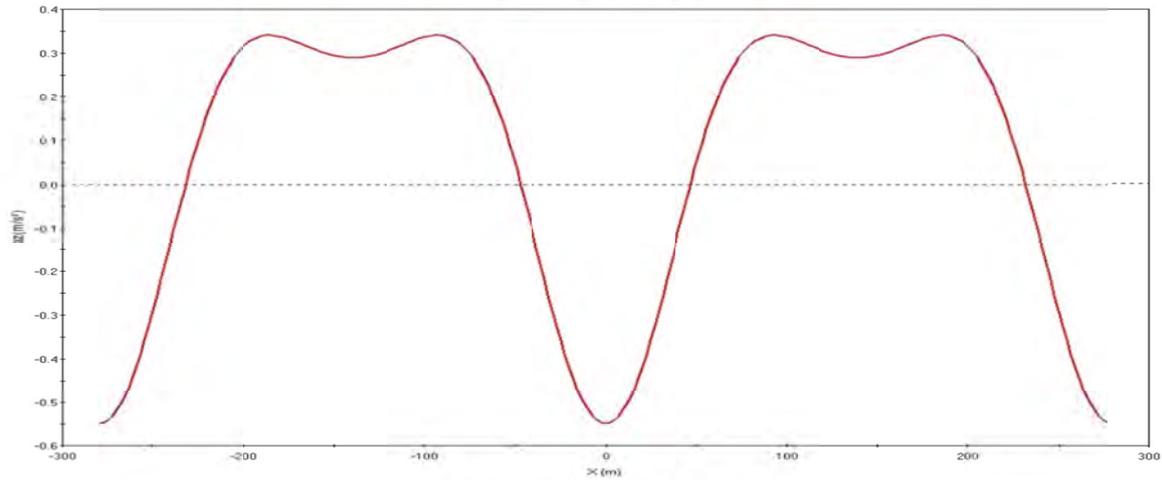
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -22.000 m

איור מס' 6.5 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים

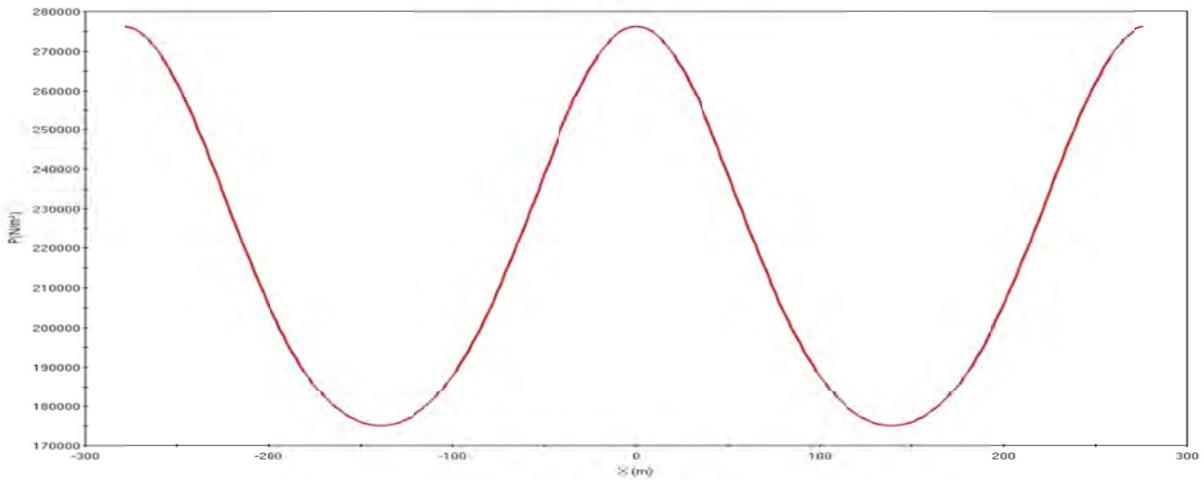
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -22.000 m

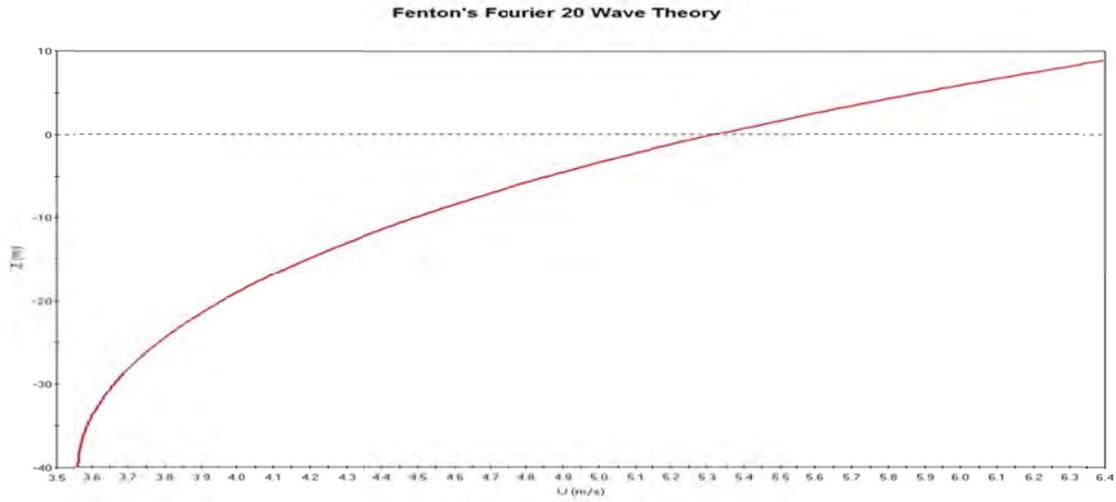
איור מס' 6.6 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים

Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Pressure (P) at -22.000 m

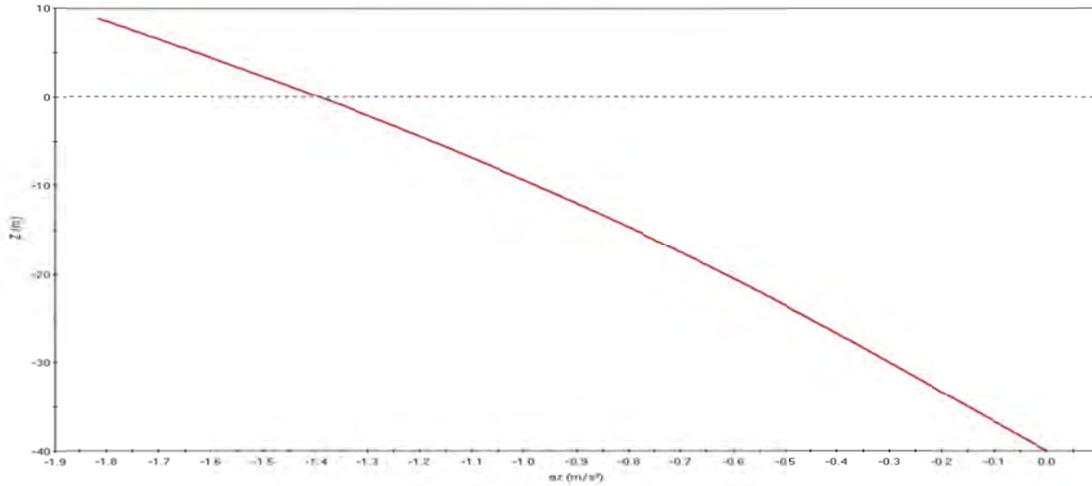
איור מס' 6.7 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים



Horizontal Velocity (U) Under Wave Crest

איור מס' 6.8 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים

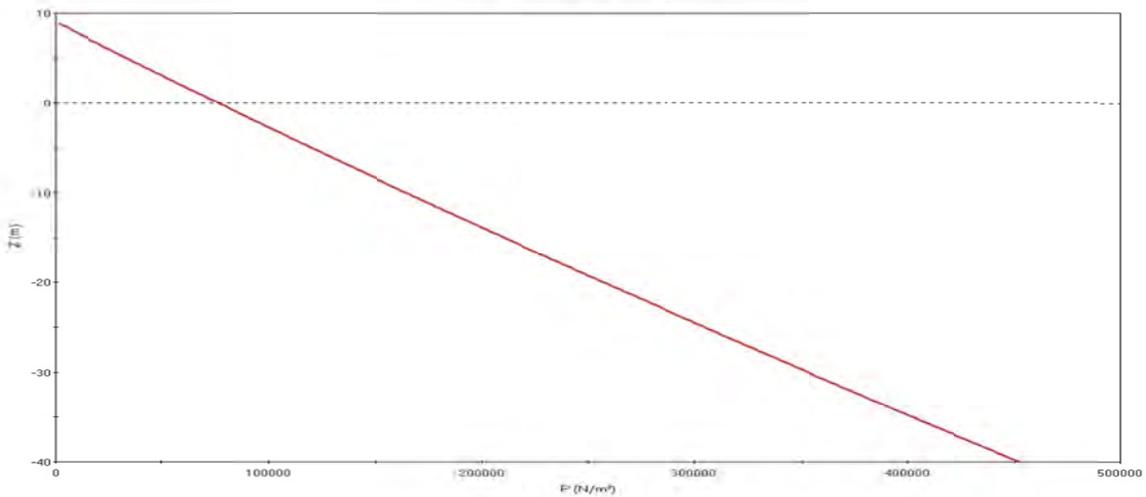
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) Under Wave Crest

איור מס' 6.9 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים

Fenton's Fourier 20 Wave Theory



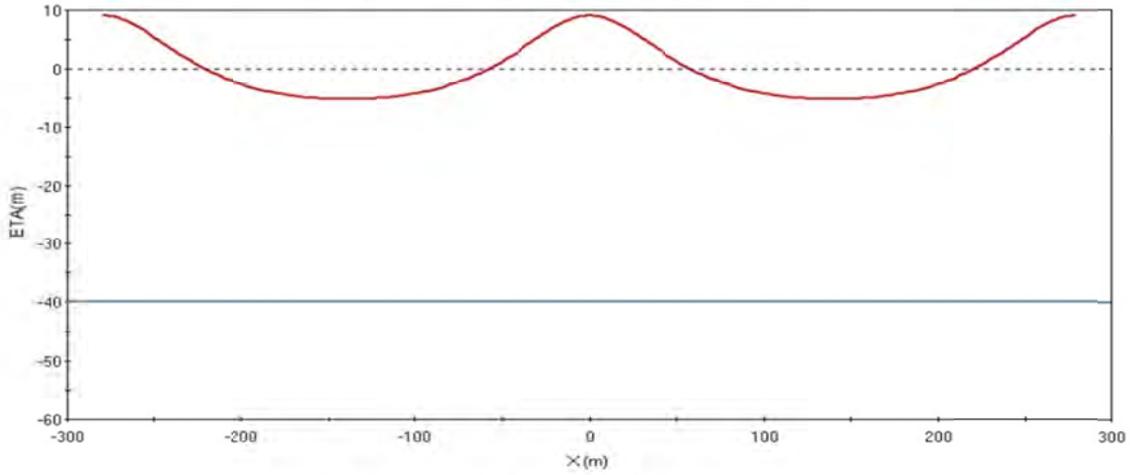
Pressure (P) Under Wave Crest

איור מס' 6.10 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים





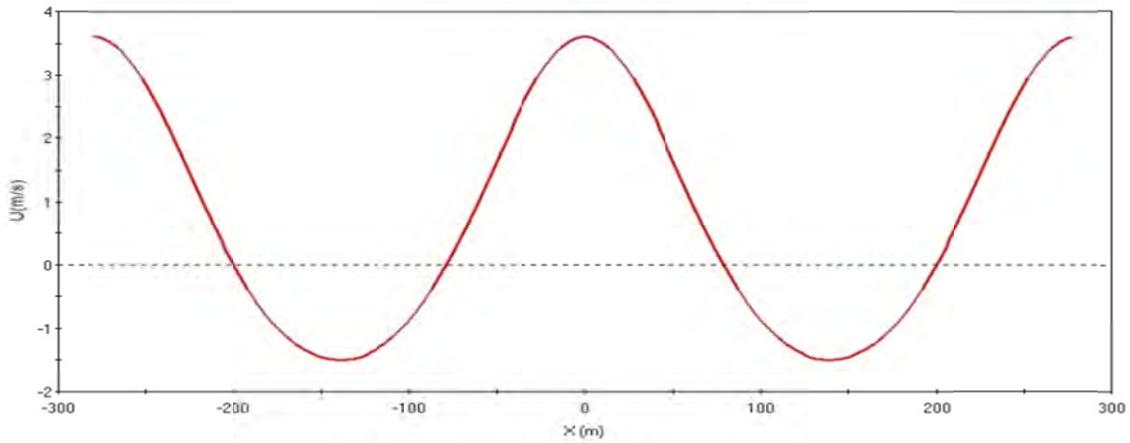
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Water Surface Elevation at -34.000 m

איור מס' 6.11 – תצורת הגל על פני שני מחזורים

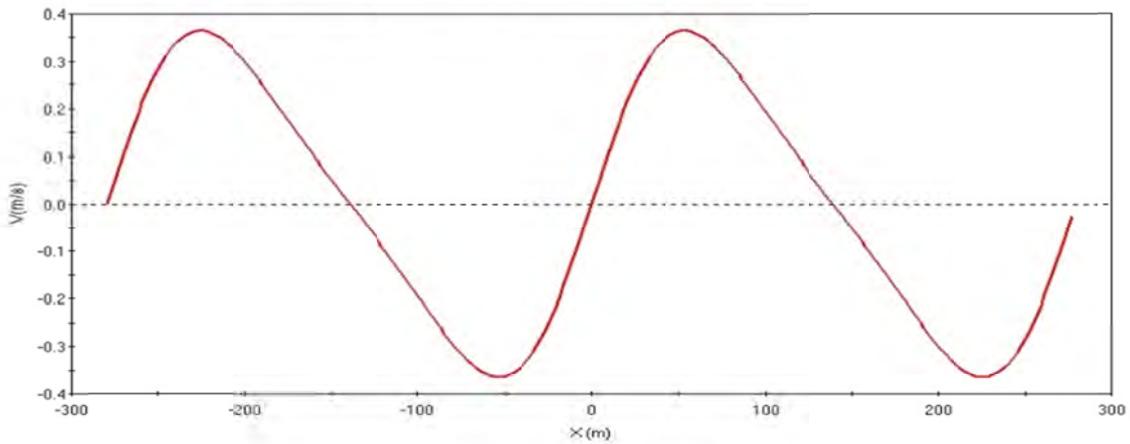
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) at -34.000 m

איור מס' 6.12 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים

Fenton's Fourier 20 Wave Theory



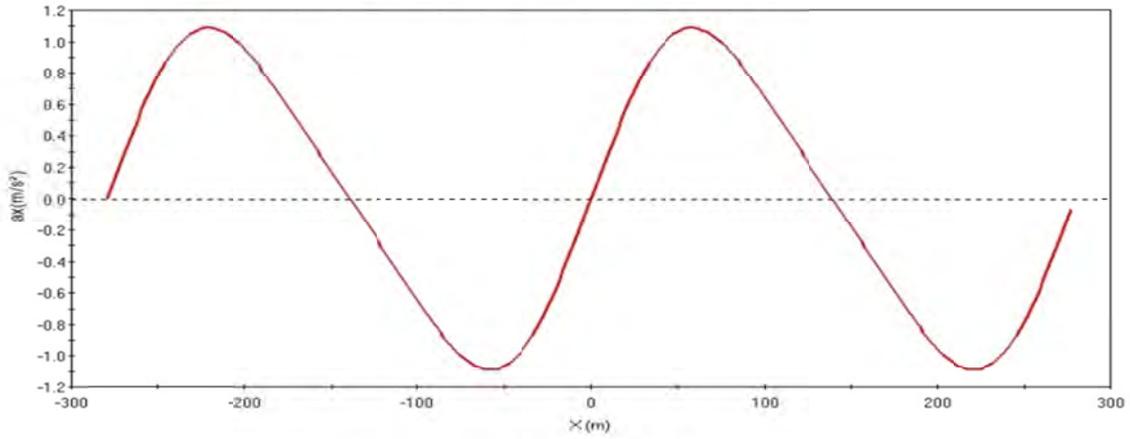
Vertical Velocity (W) at -34.000 m

איור מס' 6.13 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים





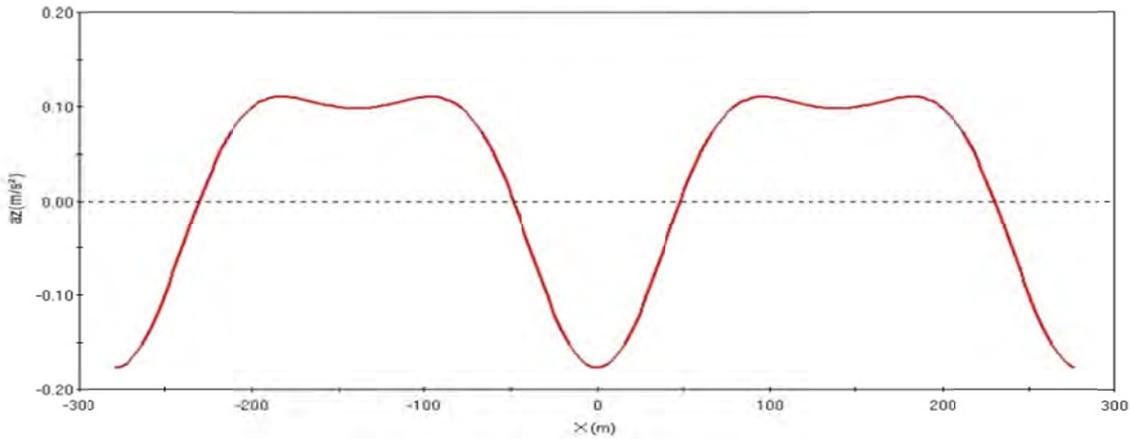
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -34.000 m

איור מס' 6.14 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים

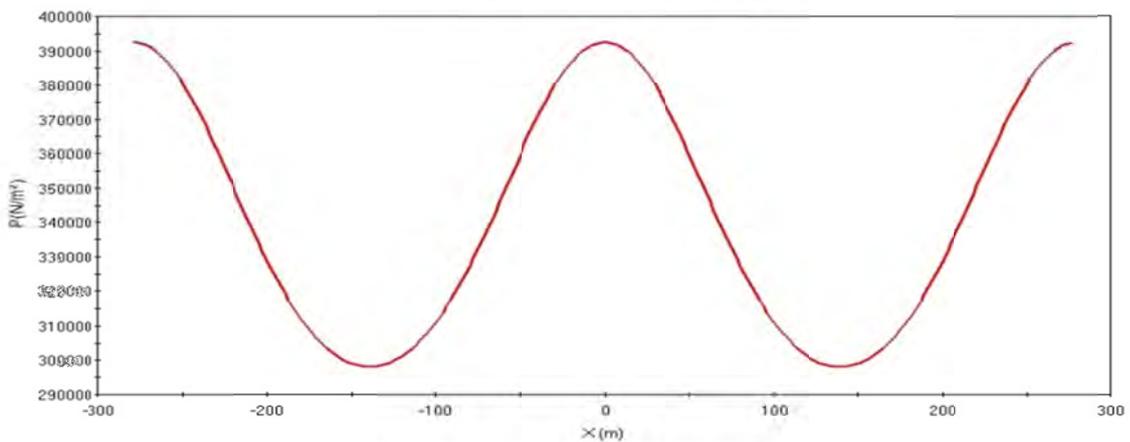
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -34.000 m

איור מס' 6.15 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים

Fenton's Fourier 20 Wave Theory

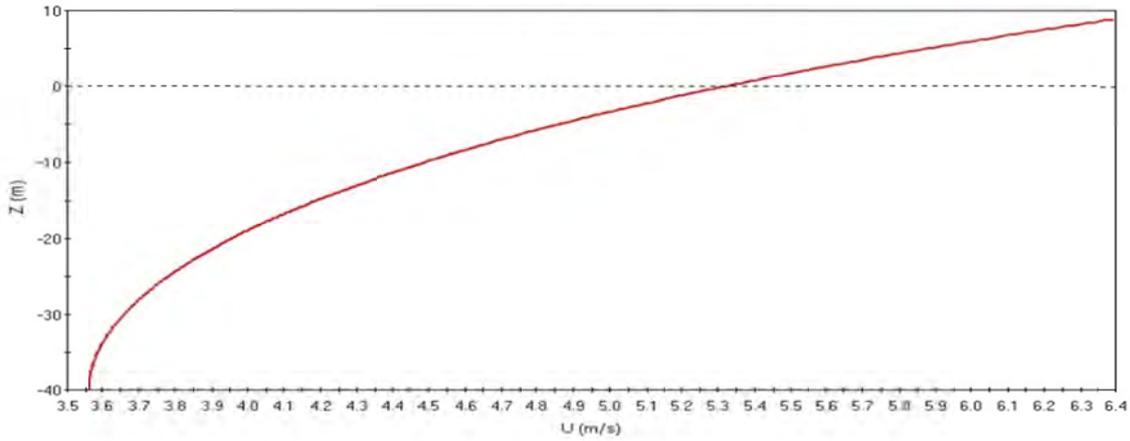


Pressure (P) at -34.000 m

איור מס' 6.16 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים



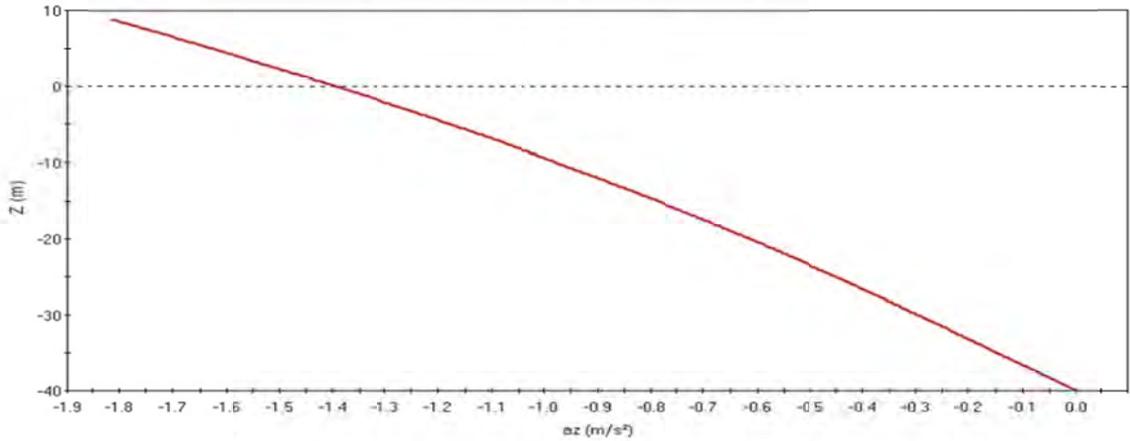
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) Under Wave Crest

איור מס' 6.17 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים

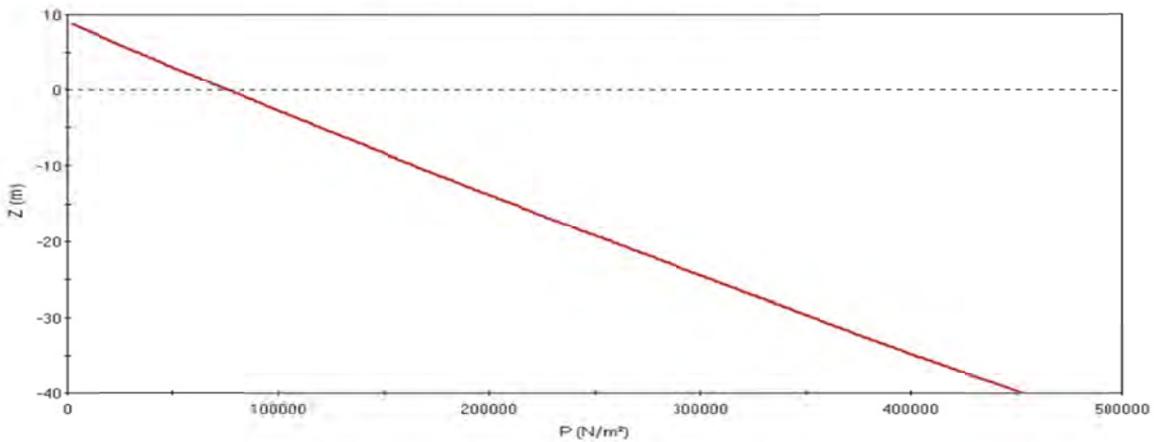
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration (az) Under Wave Crest

איור מס' 6.18 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים

Fenton's Fourier 20 Wave Theory



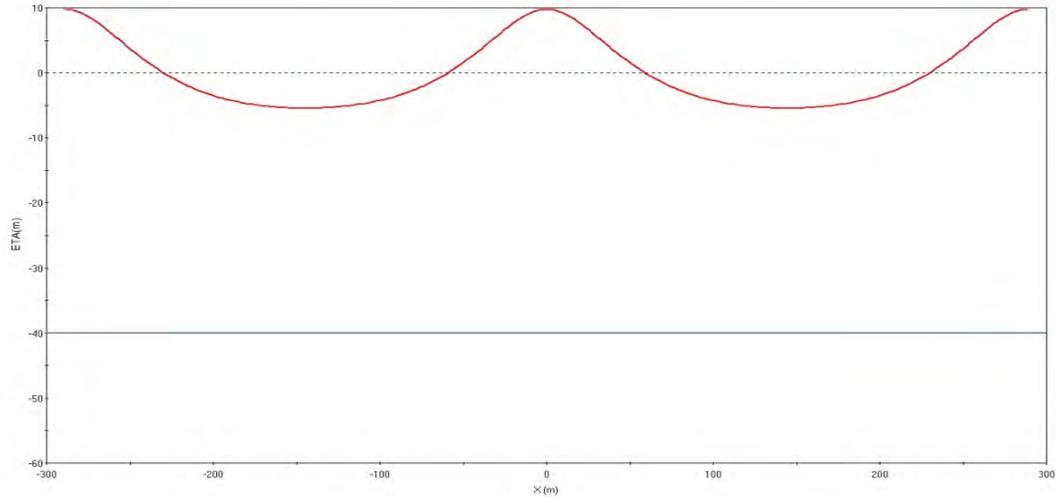
Pressure (P) Under Wave Crest

איור מס' 6.19 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים





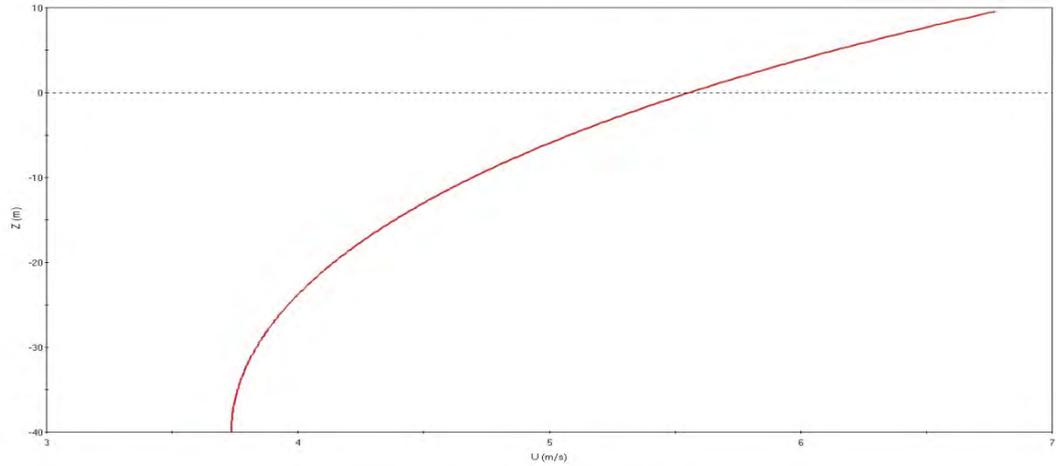
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Water Surface Elevation at -22.000 m

### איור מס' 6.20 – תצורת הגל על פני שני מחזורים

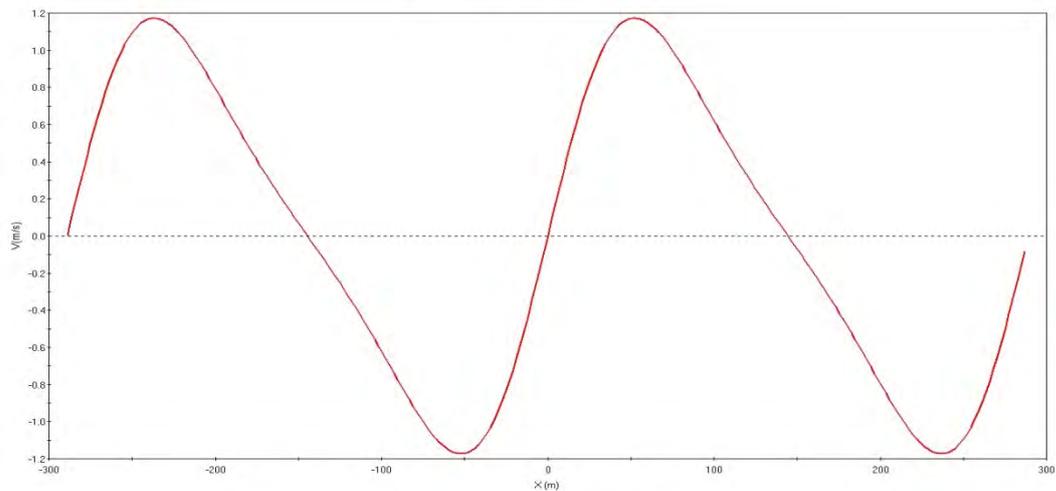
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) Under Wave Crest

### איור מס' 6.21 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים

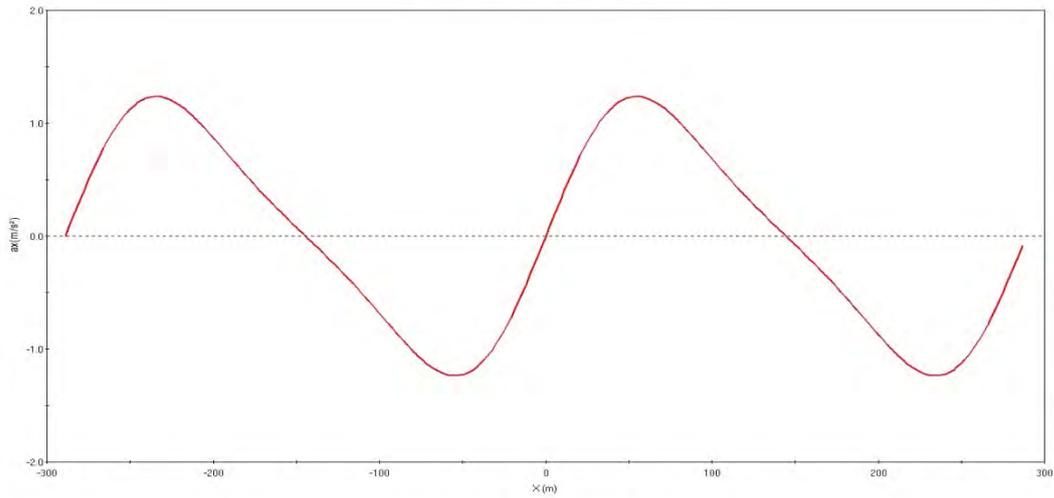
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Velocity (W) at -22.000 m

### איור מס' 6.22 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים

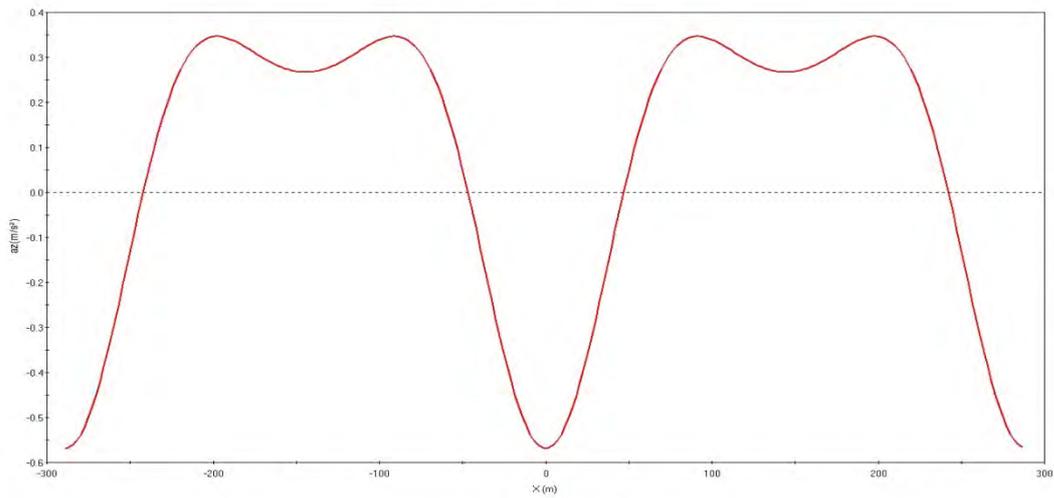
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -22.000 m

**איור מס' 6.23 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים**

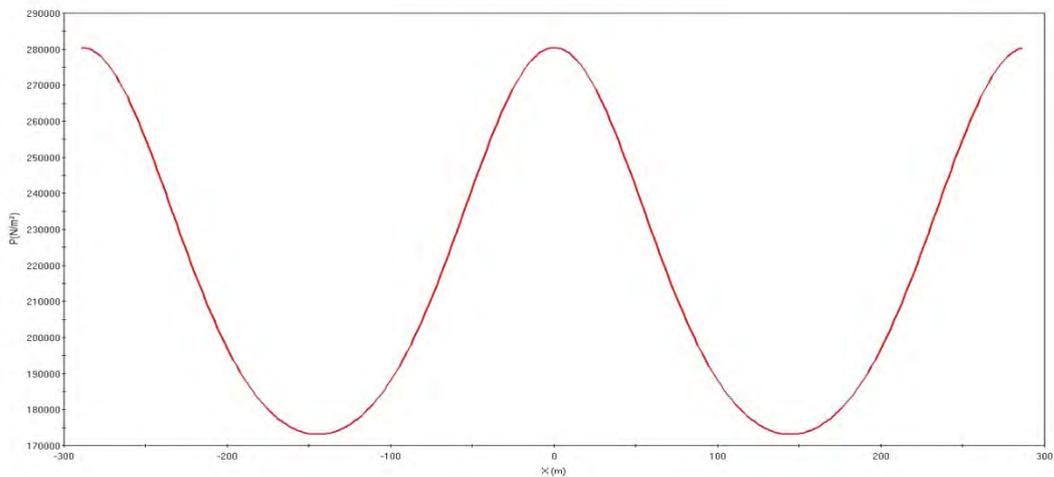
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -22.000 m

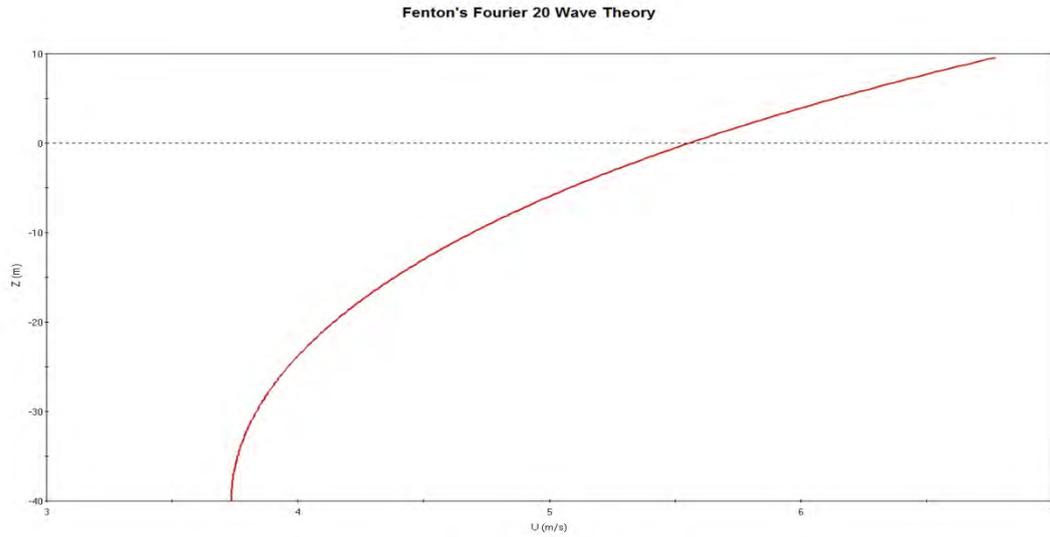
**איור מס' 6.24 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים**

Fenton's Fourier 20 Wave Theory

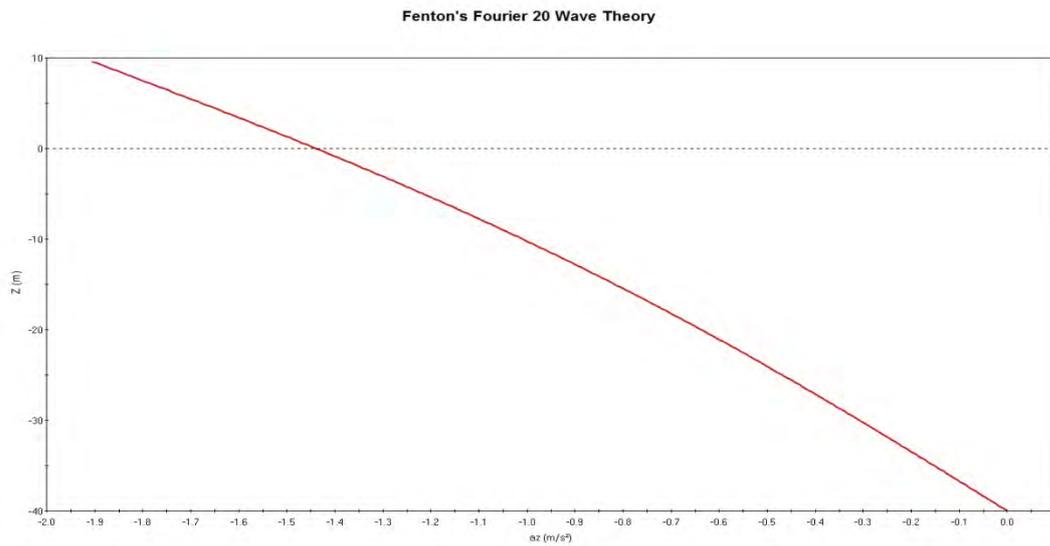


Pressure (P) at -22.000 m

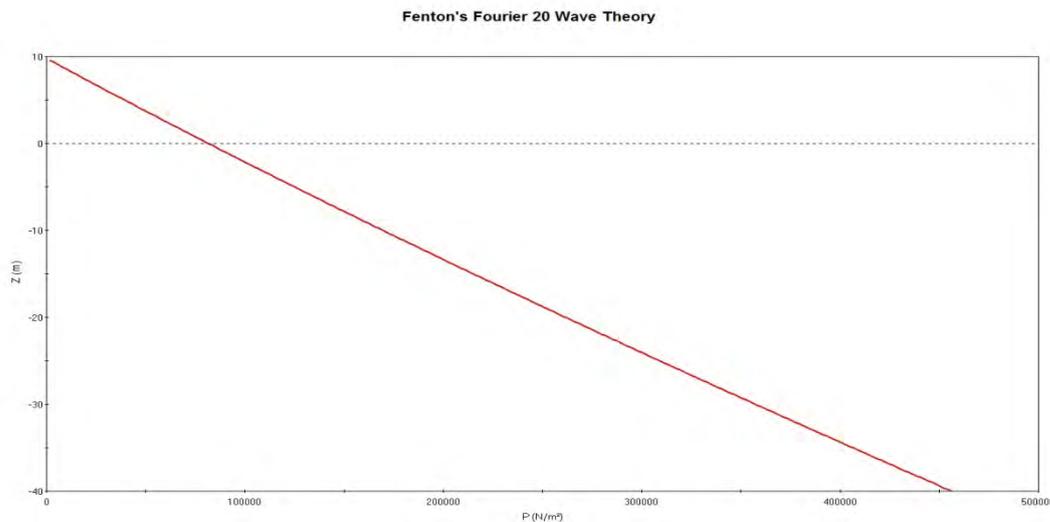
**איור מס' 6.25 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים**



**איור מס' 6.26 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים**



**איור מס' 6.27 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים**



**איור מס' 6.28 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים**



טבלה מס' 5-6

הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 15.2 מ', זמן מחזור של 15.0 שני, זרם כללי של 1.10 מ/שני,  $x=0$  בעומק 34 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה

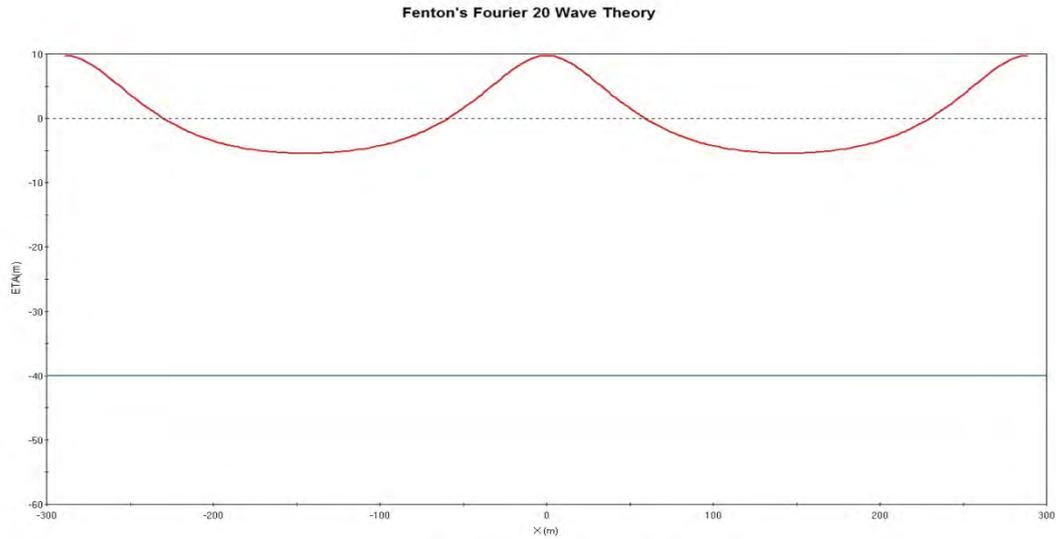
Kinematics/derived values		Units	
Horizontal	Vertical		
Interest point (x/L,z)	0	-34	m
Velocity:	5.40067	0	m/sec
Acceleration:	0	-1.37015	m/sec <sup>2</sup>
	Pressure: 94601.1		N/m <sup>2</sup>
	Water surface elevation: 9.77463		m

Integral Parameters		# of steps in wave height ramping:	
Impulse (I):	45103.9		10
Kinetic energy (EK):	160322 N-m/m <sup>2</sup>	Radiation stress (Sxx):	345880 N-m/m <sup>2</sup>
Potential energy (EP):	132564 N-m/m <sup>2</sup>	Energy flux (F):	4.59685e+006 N-m/s-m
Energy density (EK+EP):	292887 N-m/m <sup>2</sup>	Volume flux (Q):	726.66 m <sup>2</sup> /sec
Mean square of bed velocity (Ub):	4.114 m/sec	Bernoulli constant (R):	565.69 m <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
Solution surface elevation (crest...trough):			
Fourier coefficients b(j)	1..20	9.77463	-5.42537 m

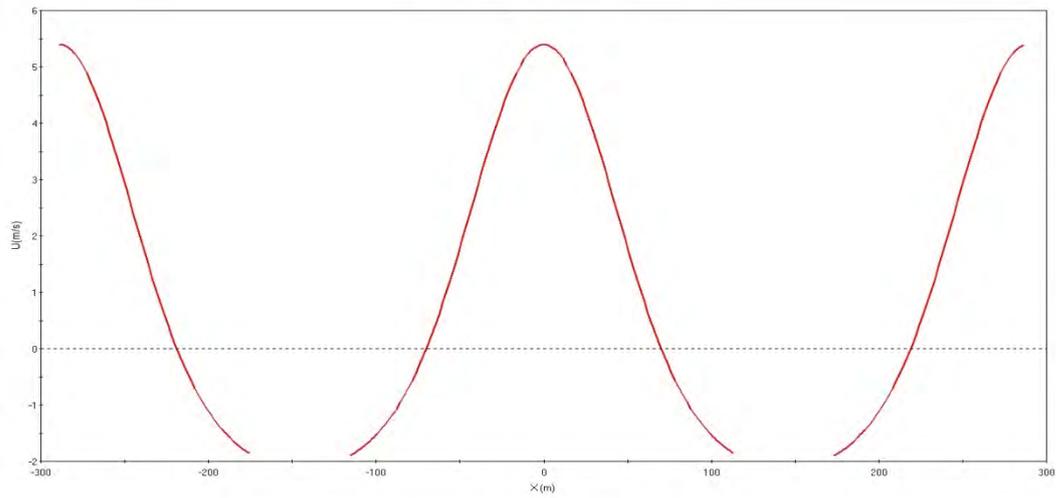
Fourier Series Wave Theory		Celerity (C):	
Wave height (H):	15.200 m		19.267 m/sec
Wave period (T):	15.000 sec	Mean eulerian flood velocity:	0.736 m/sec
Water depth (d):	40.000 m	Mean mass transport velocity:	1.100 m/sec
Celerity def:	Stokes	Mean velocity relative to wave:	18.530 m/sec
Mean velocity (u):	1.100 m/sec	Volume flux due to wave:	14.554 m <sup>2</sup> /sec
Breaking criteria:	0.780	Bernoulli constant:	173.473 m <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
Wave length (L):	288.998 m		
# of terms in Fourier series:	20		



Water Surface Elevation at -34.000 m

**איור מס' 6.29 – תצורת הגל על פני שני מחזורים**

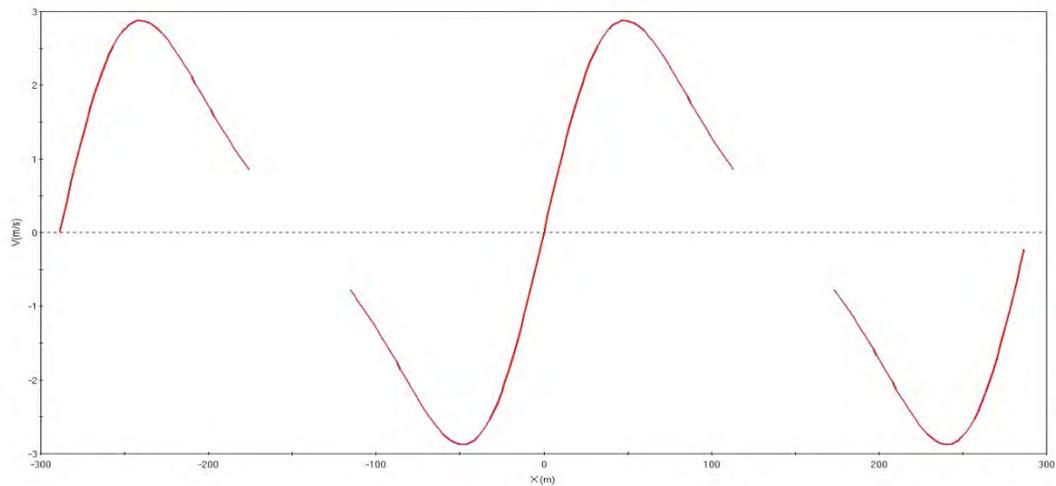
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) at -34.000 m

**איור מס' 6.30 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים**

Fenton's Fourier 20 Wave Theory

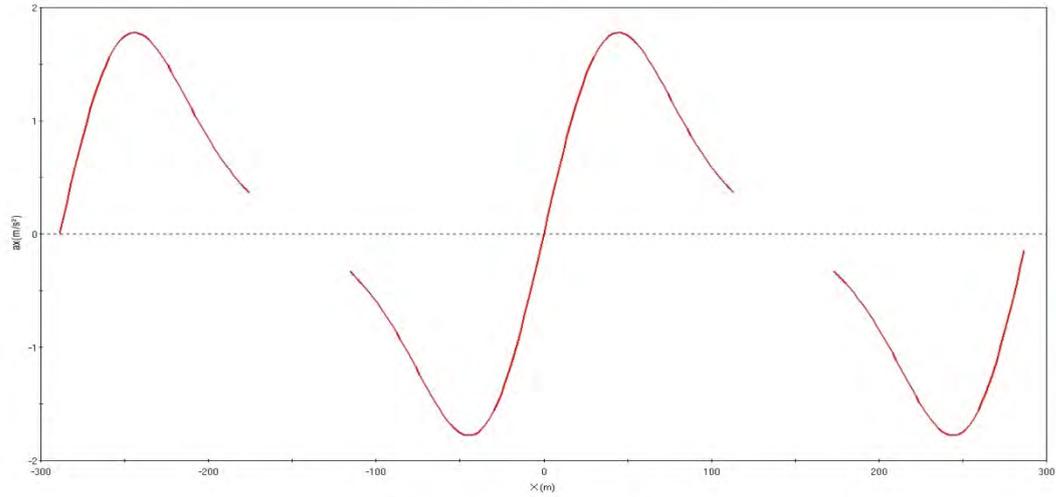


Vertical Velocity (W) at -34.000 m

**איור מס' 6.31 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים**



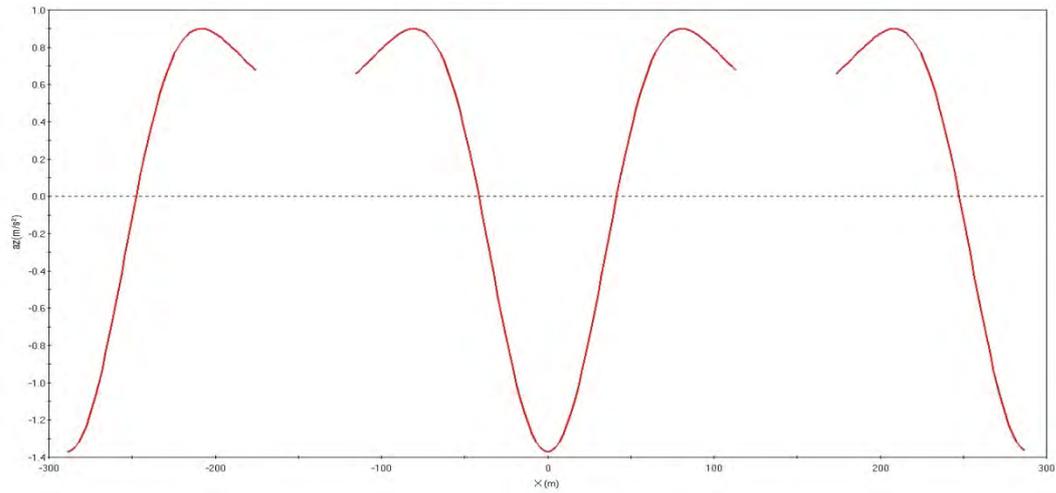
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -34.000 m

**איור מס' 6.32 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים**

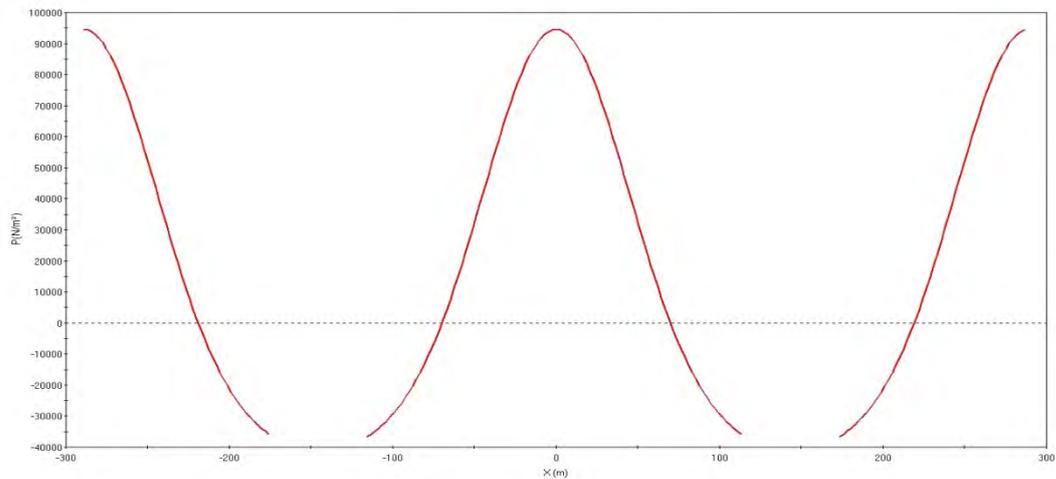
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -34.000 m

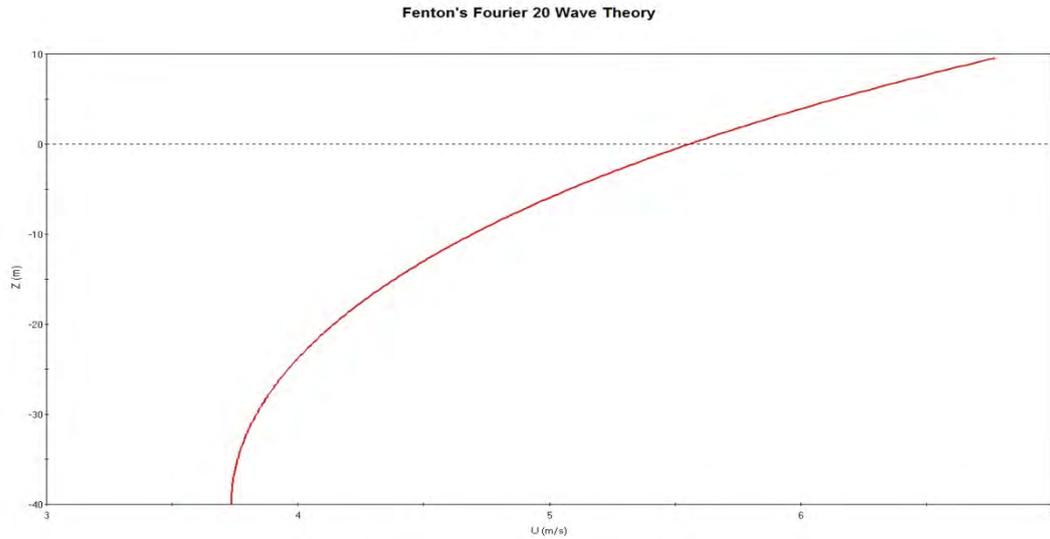
**איור מס' 6.33 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים**

Fenton's Fourier 20 Wave Theory

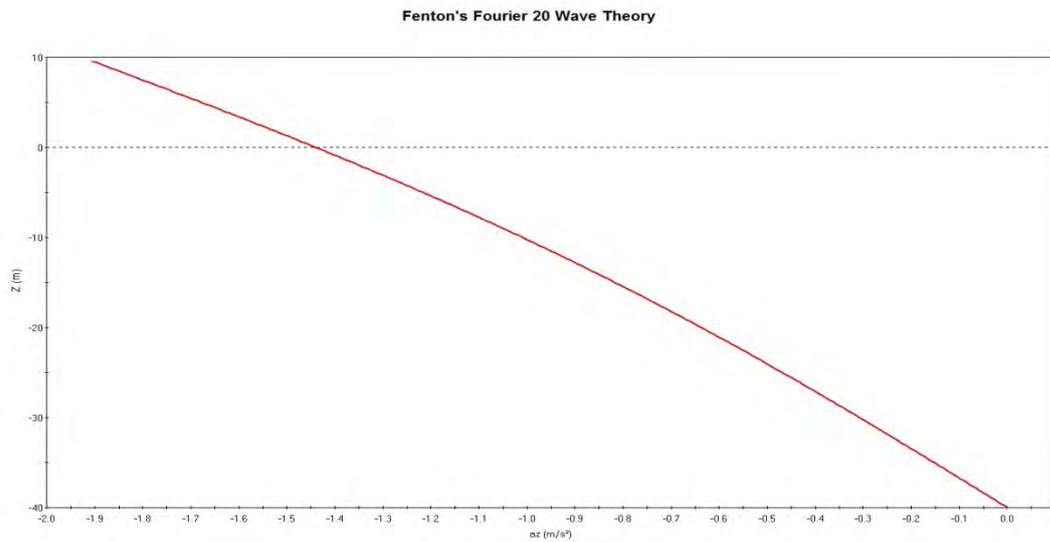


Pressure (P) at -34.000 m

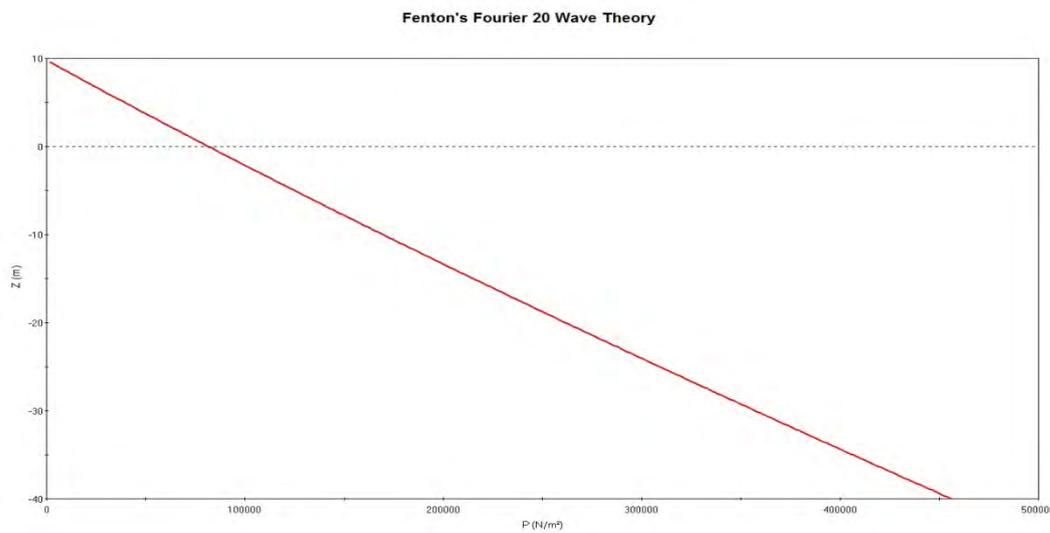
**איור מס' 6.34 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים**



**איור מס' 6.35 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים**



**איור מס' 6.36 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים**



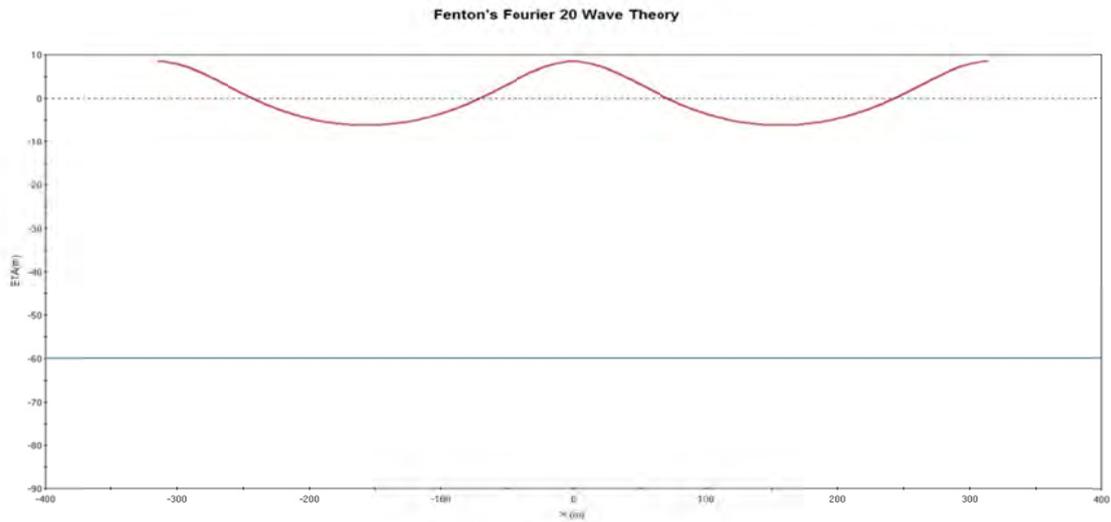
**איור מס' 6.37 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים**



טבלה מס' 6-6

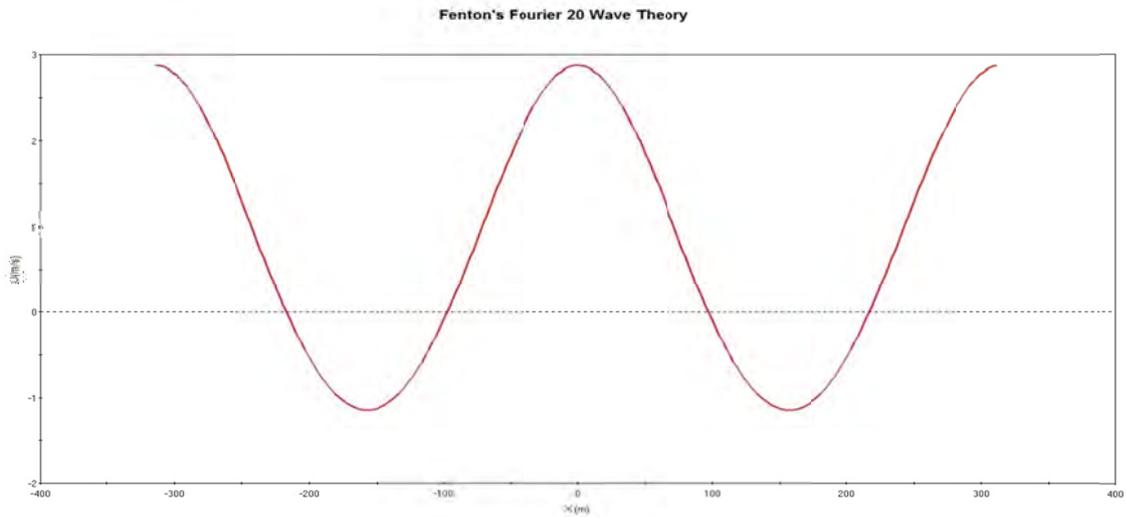
הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 60 מ', גובה גל מרבי 14.6 מ', זמן מחזור 14.7 שני, זרם כללי של 1.00 מ'/שני, x=0, בעומק 42 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה

Fenton's Fourier Series Wave Theory					
Wave height (H):	14.600 m	Celerity (C):	21.365 m/sec		
Wave period (T):	14.700 sec	Mean Eulerian flood velocity:	0.791 m/sec		
Water depth (d):	60.000 m	Mean mass transport velocity:	1.000 m/sec		
Celerity def:	Stokes	Mean velocity relative to wave:	20.575 m/sec		
Mean velocity (u):	1.000 m/sec	Volume flux due to wave:	12.556 m <sup>2</sup> /sec		
Breaking criteria:	0.780	Bernoulli constant:	212.546 m <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>		
Wave length (L):	314.071 m				
# of terms in Fourier series:	20	# of steps in wave height ramping:	10		
Integral Parameters					
Impulse (I):	61505.3	N-s/m <sup>2</sup>			
Kinetic energy (EK):	161812	N-m/m <sup>2</sup>	Radiation stress (Sxx):		
Potential energy (EP):	130003	N-m/m <sup>2</sup>	Energy flux (F):		
Energy density (EK+EP):	291875	N-m/m <sup>2</sup>	Volume flux (Q):		
Mean square of bed velocity (Ub):	2.40085	m/sec	Bernoulli constant (R):		
Solution surface elevation (crest...trough):			8.37825		
m			-6.22175		
Fourier coefficients b(I)		1.20			
	0.154081	0.00782305	7.49448e-005	-1.79037e-005	-8.56414e-008
	1.4751e-007	4.68525e-009	-1.00738e-009	-4.68966e-011	9.30683e-012
	6.5944e-013	-7.75839e-014	-7.77219e-015	6.90519e-016	1.05074e-016
	-1.24171e-017	4.86311e-018	-4.45664e-018	5.29048e-018	-2.95856e-018
Kinematics/derived values					
Interest point (x/L,z)		Horizontal	Vertical	Units	
Velocity:	2.87715	0	-42	m	
Acceleration:	0	0	-0.292758	m/sec	
Pressure:	464842			N/m <sup>2</sup>	
Water surface elevation:	8.37825			m	



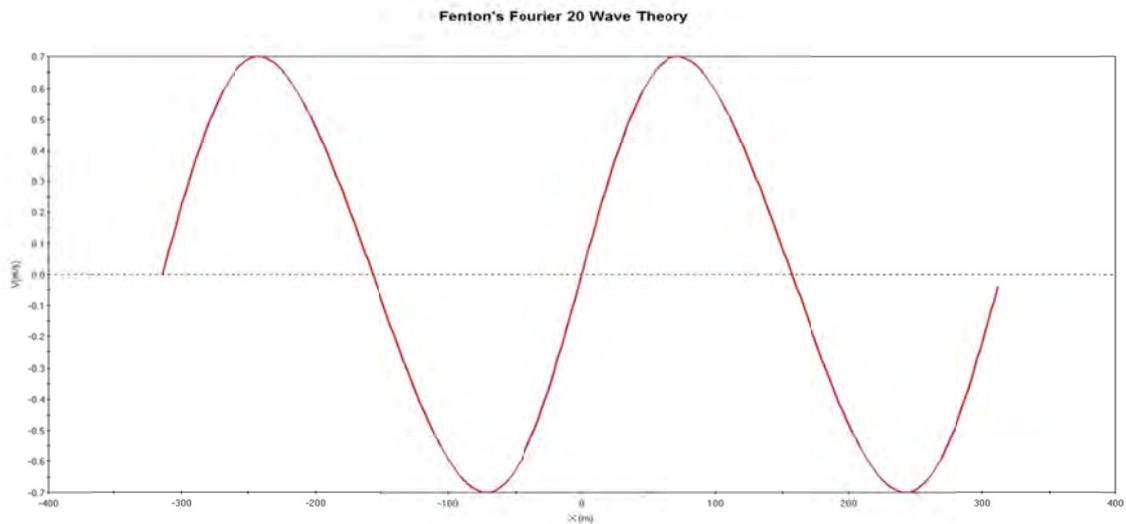
Water Surface Elevation at -42.000 m

**איור מס' 6.38 – תצורת הגל על פני שני מחזורים**



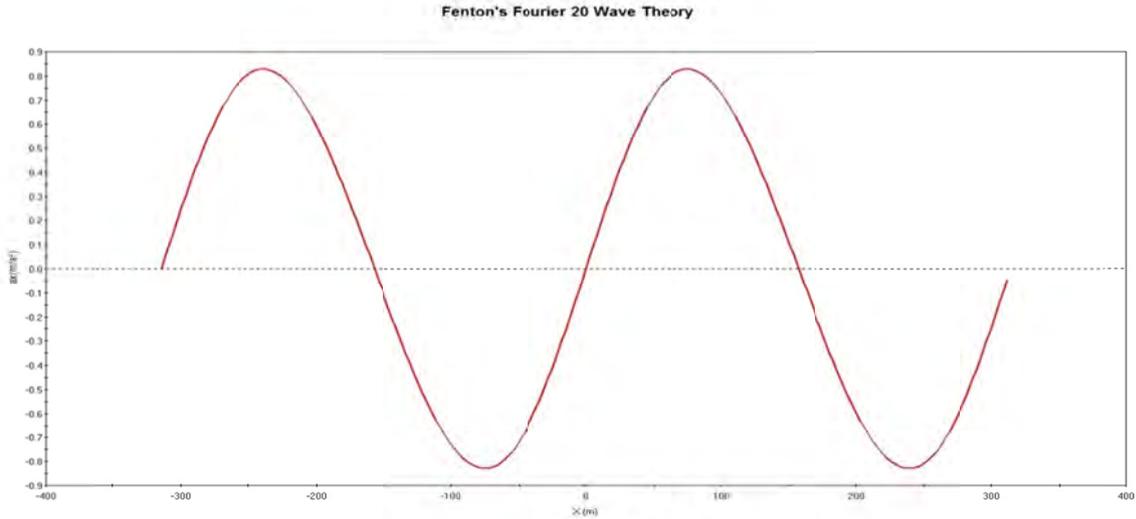
Horizontal Velocity (U) at -42.000 m

**איור מס' 6.39 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים**



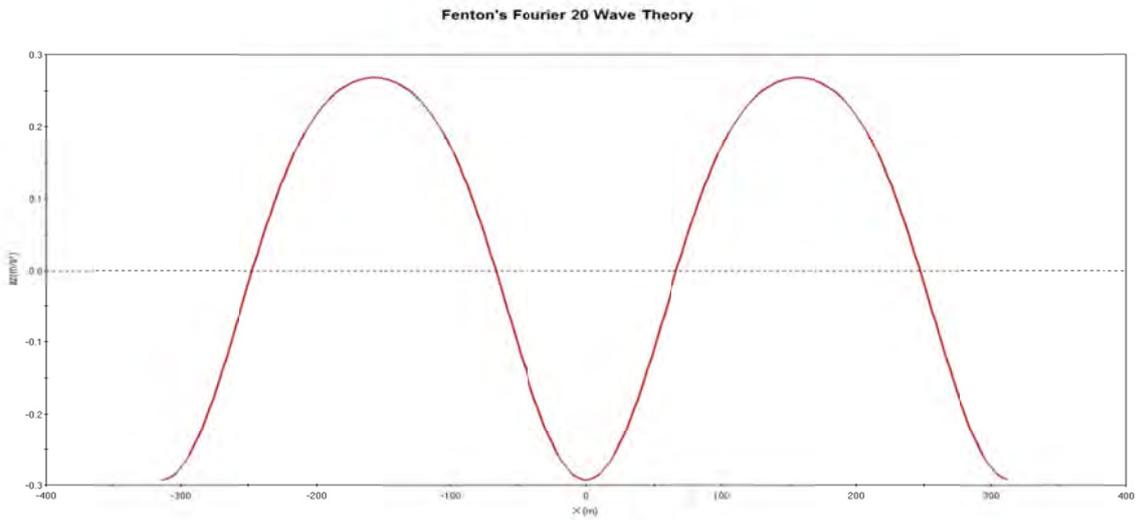
Vertical Velocity (W) at -42.000 m

**איור מס' 6.40 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים**



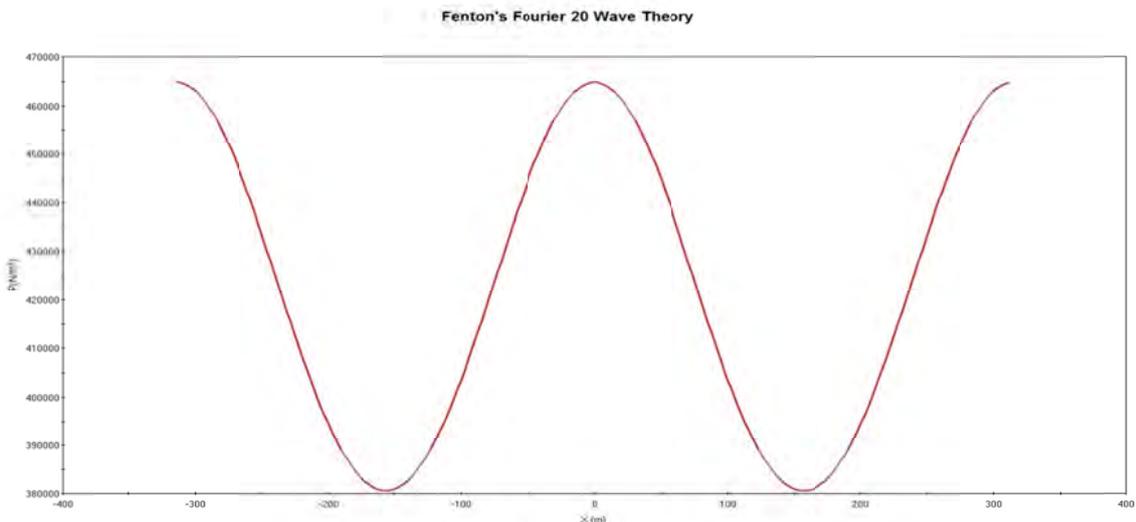
Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -42.000 m

**איור מס' 6.41 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים**



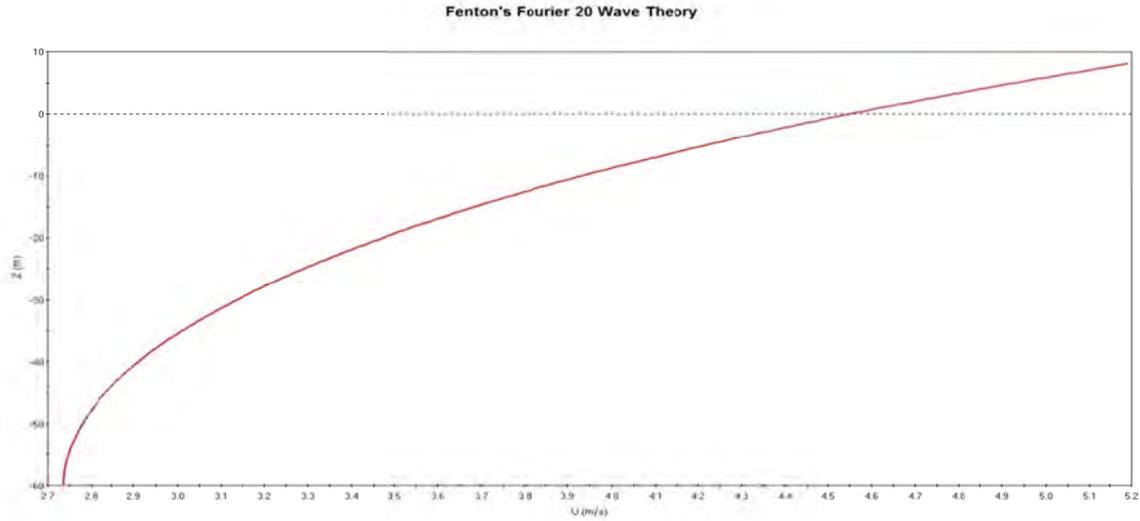
Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -42.000 m

**איור מס' 6.42 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים**



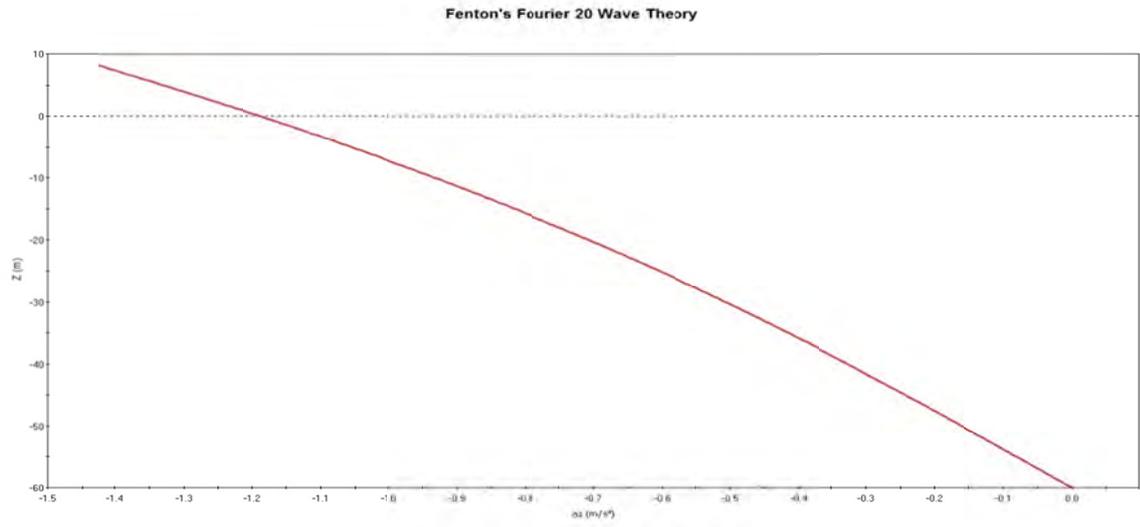
Pressure (P) at -42.000 m

**איור מס' 6.43 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים**



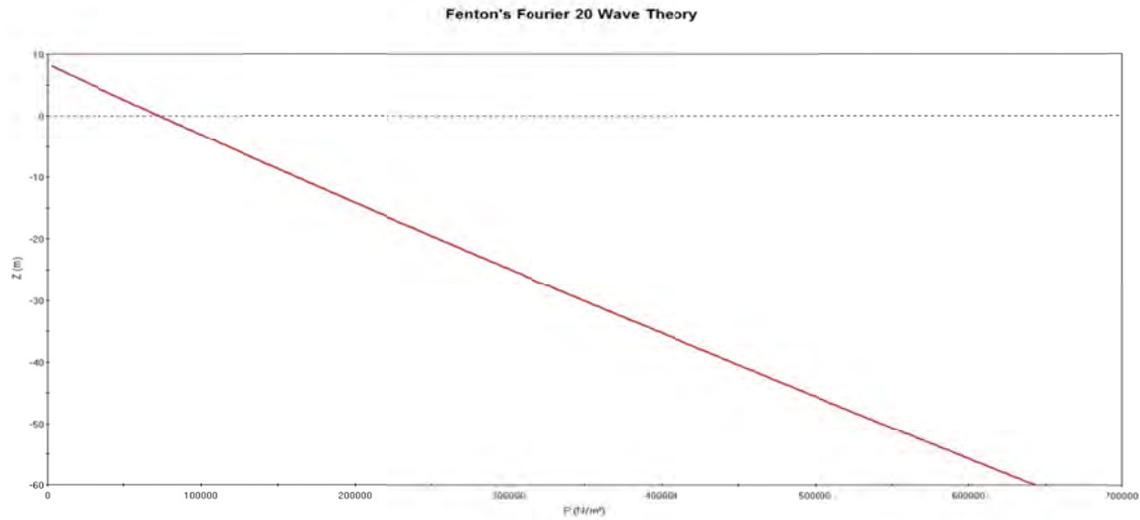
Horizontal Velocity (U) Under Wave Crest

**איור מס' 6.44 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים**



Vertical Acceleration (az) Under Wave Crest

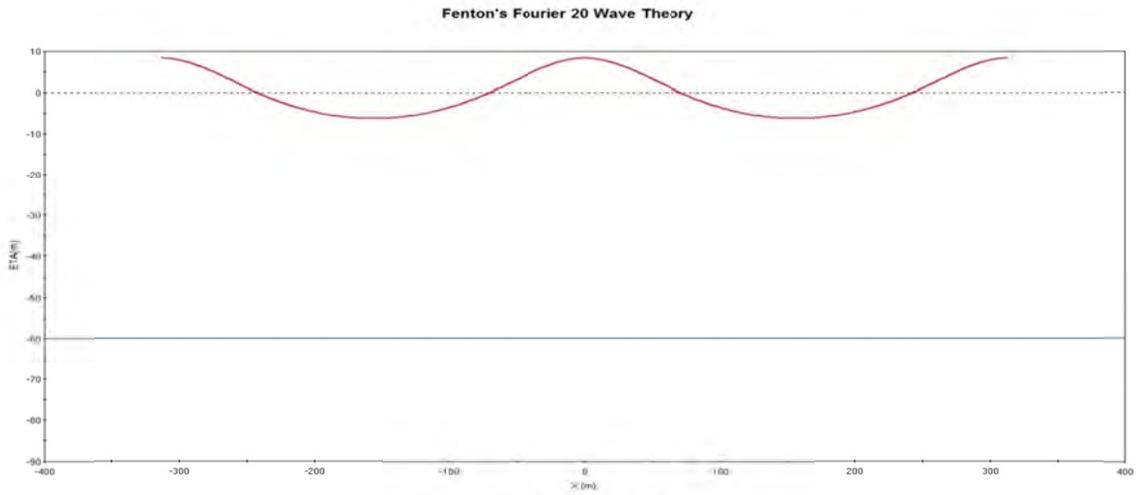
**איור מס' 6.45 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים**



Pressure (P) Under Wave Crest

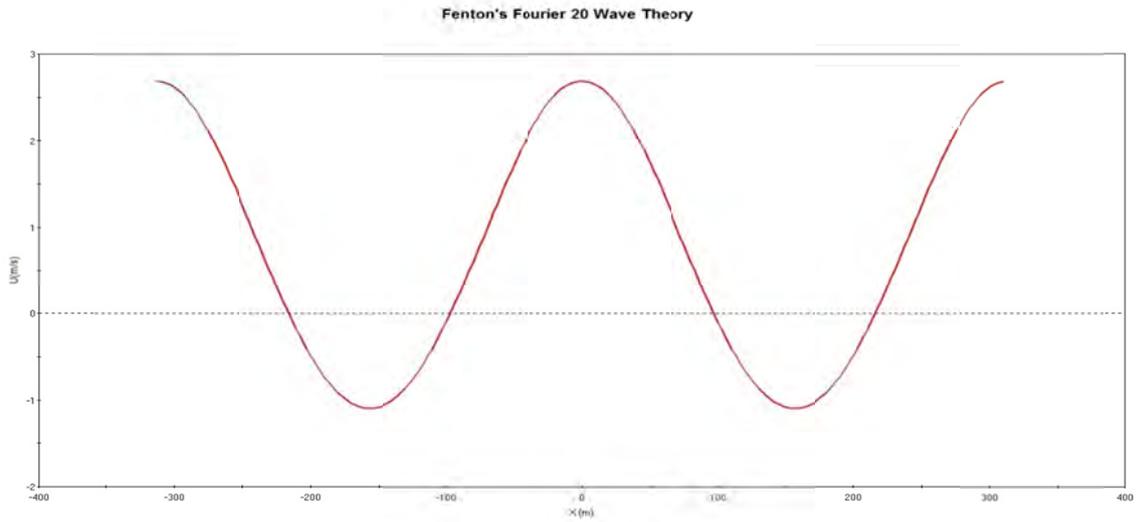
**איור מס' 6.46 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים**





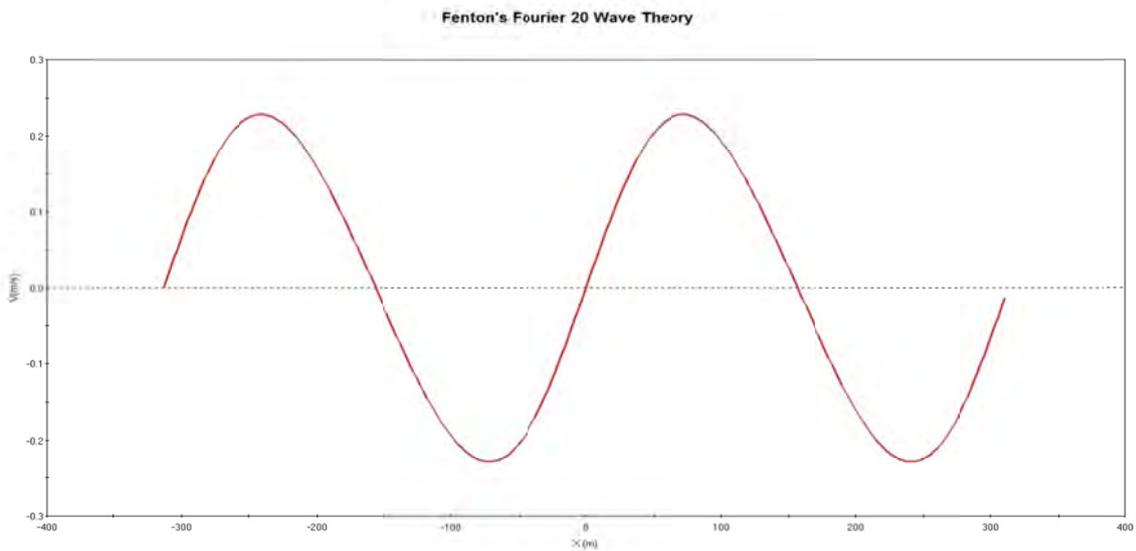
Water Surface Elevation at -54.000 m

**איור מס' 6.47 – תצורת הגל על פני שני מחזורים**



Horizontal Velocity (U) at -54.000 m

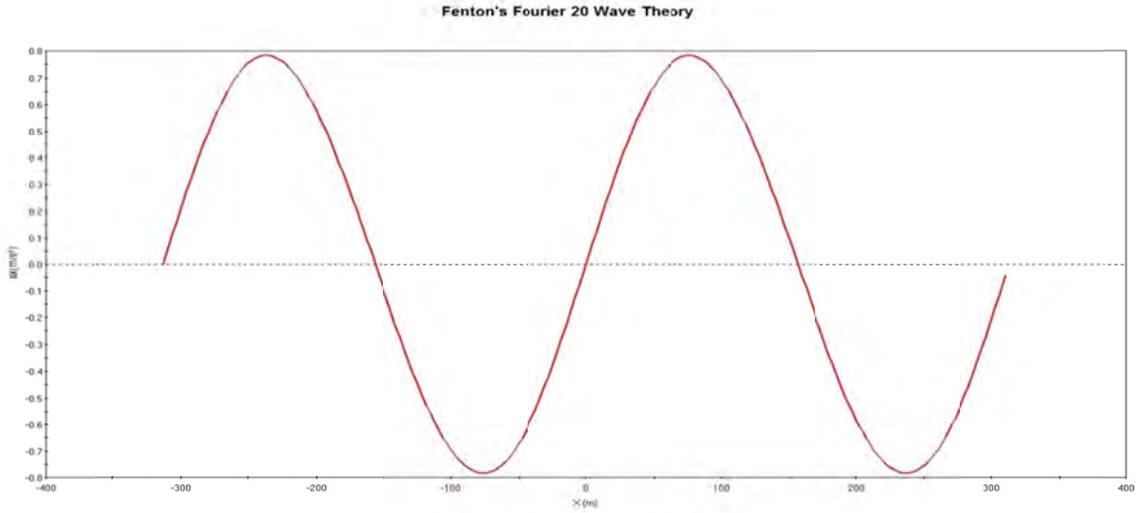
**איור מס' 6.48 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים**



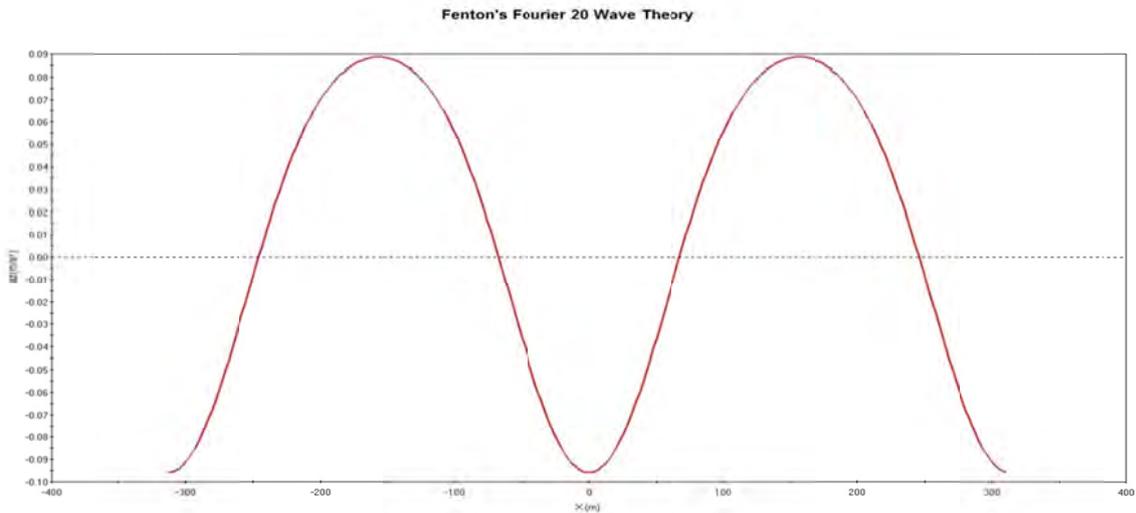
Vertical Velocity (W) at -54.000 m

**איור מס' 6.49 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים**





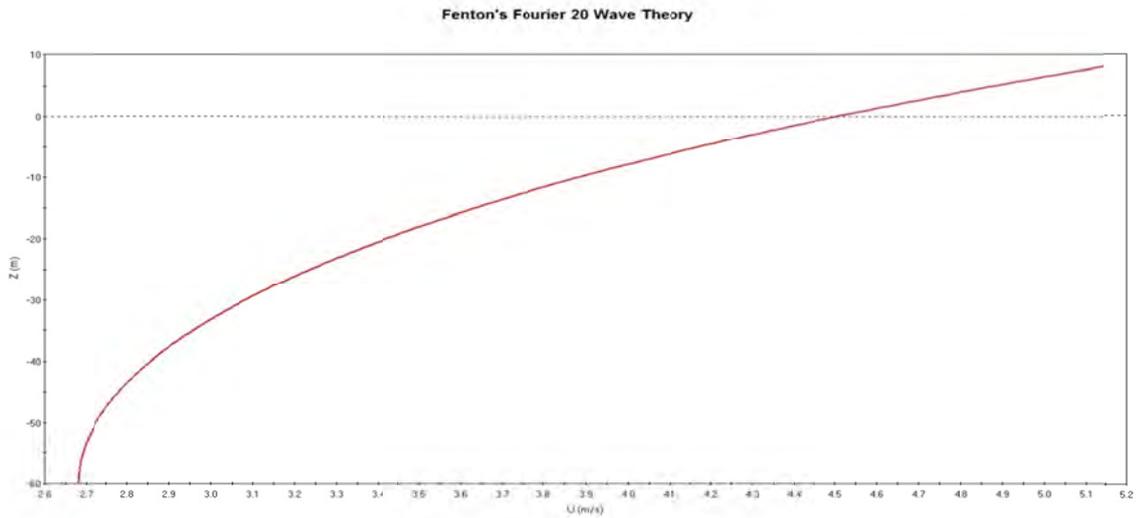
Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -54.000 m  
איור מס' 6.50 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים



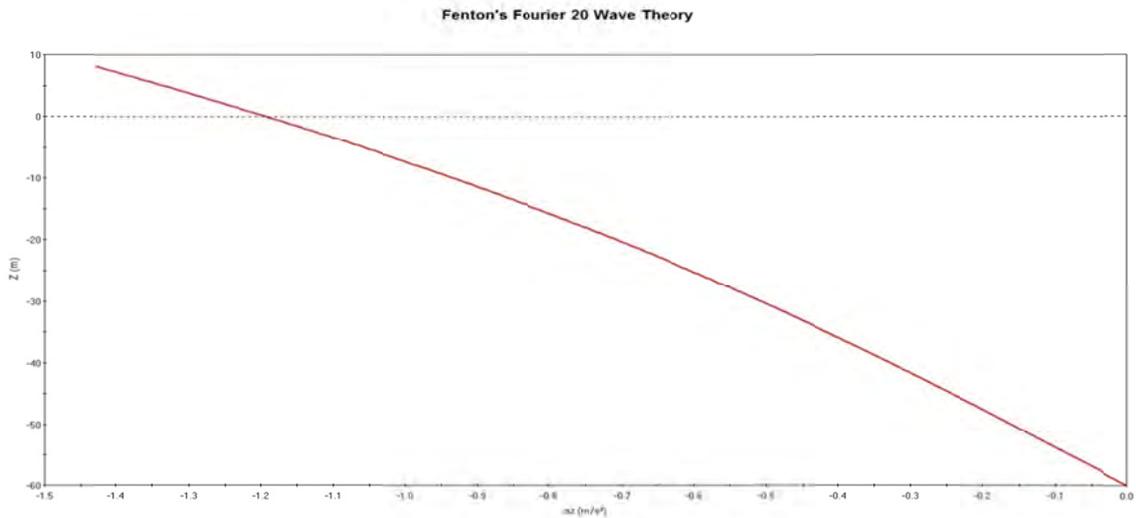
Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -54.000 m  
איור מס' 6.51 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים



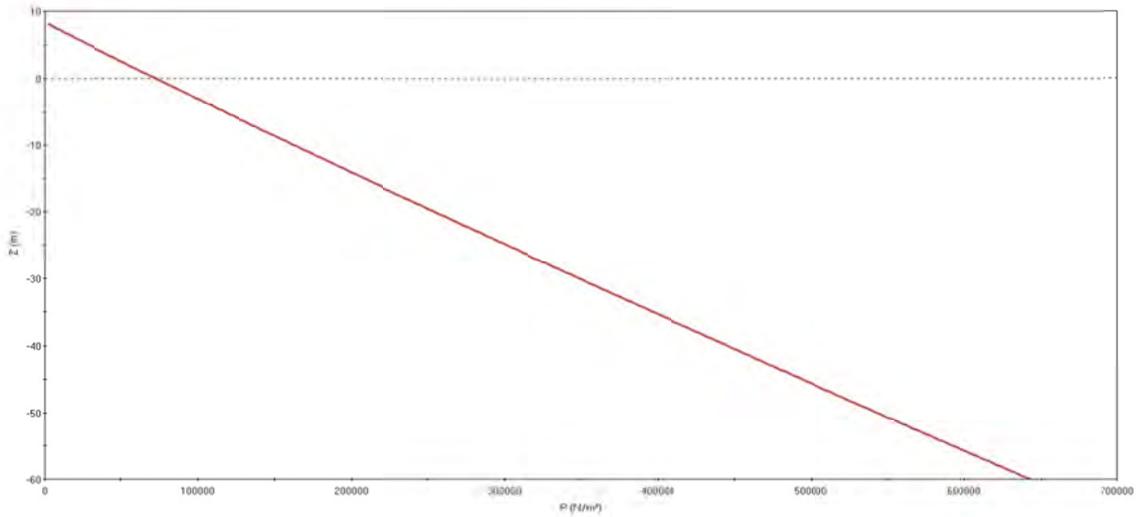
Pressure (P) at -54.000 m  
איור מס' 6.52 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים



**איור מס' 6.53 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים**



**איור מס' 6.54 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים**



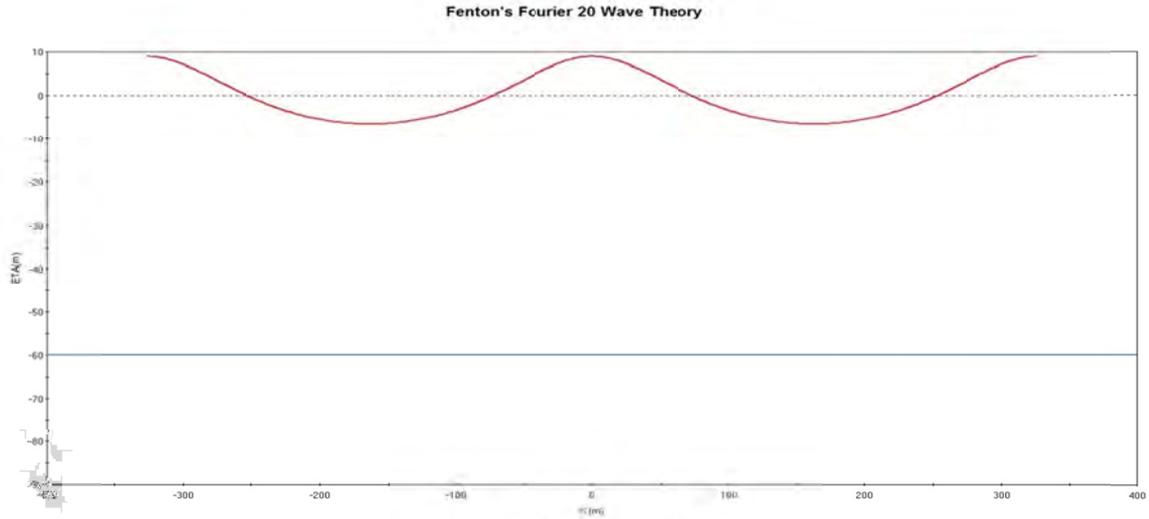
**איור מס' 6.55 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים**



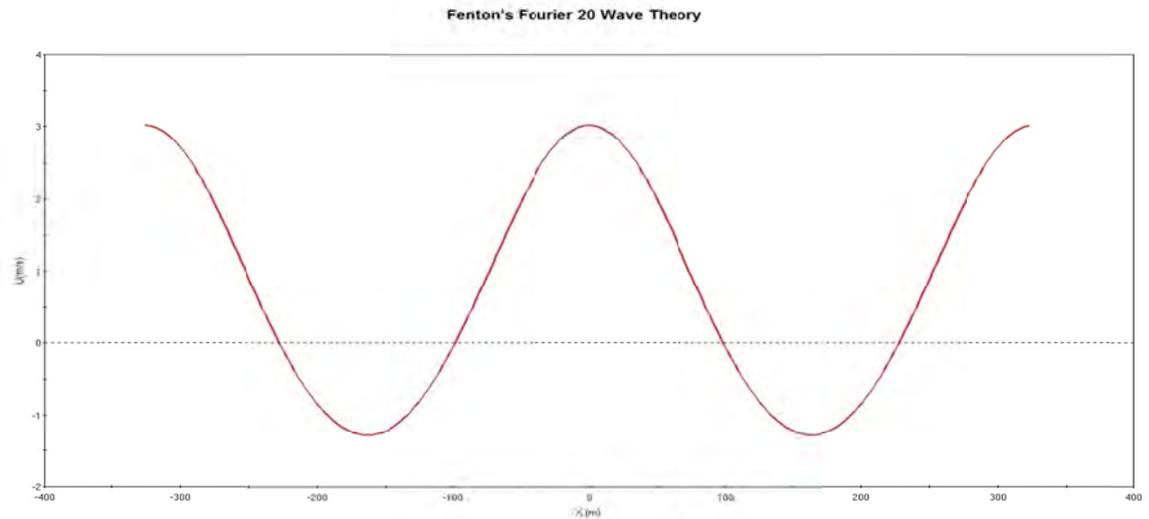
טבלה מס' 6-8

הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 60 מ', גובה גל מרבי 15.4 מ', זמן מחזור 15.1 שני, זרם כללי של 1.00 מ'/שני, x=0 בעומק 42 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה

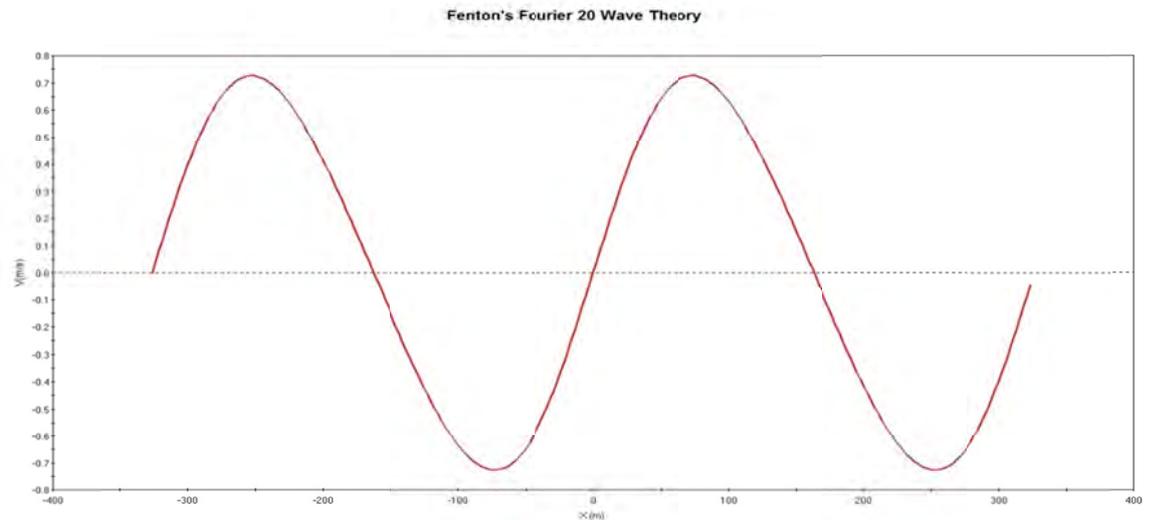
Fenton's Fourier Series Wave Theory		Kinematics/derived values		Units	
Wave height (H):	15.400 m	Celerity (C):	21.591 m/sec		
Wave period (T):	15.100 sec	Mean eulerian flood velocity:	0.770 m/sec		
Water depth (d):	60.000 m	Mean mass transport velocity:	1.000 m/sec		
Celerity def:	Stokes	Mean velocity relative to wave:	20.821 m/sec		
Mean velocity (u):	1.000 m/sec	Volume flux due to wave:	13.776 m <sup>2</sup> /sec		
Breaking criteria:	0.780	Bernoulli constant:	217.786 m <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>		
Wave length (L):	326.029 m	# of steps in wave height ramping:	10		
# of terms in Fourier series:	20				
Integral Parameters					
Impulse (I):	61505.3	N-s/m <sup>2</sup>			
Kinetic energy (Ek):	176141	N-m/m <sup>2</sup>	Radiation stress (Sxx):	340580	N-m/m <sup>2</sup>
Potential energy (EP):	144167	N-m/m <sup>2</sup>	Energy flux (F):	4.98209e+006	N-m/s-m
Energy density (Ek+EP):	320307	N-m/m <sup>2</sup>	Volume flux (Q):	1235.48	m <sup>2</sup> /sec
Mean square of bed velocity (Ub):	2.6548	m/sec	Bernoulli constant (R):	806.111	m <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
Solution surface elevation (crest...trough):					
m					
Fourier coefficients b(1)	1..20				
0.157082	0.0089872	0.000144362	-2.23197e-005	-5.73318e-007	
2.06537e-007	1.32327e-008	-1.38204e-009	-1.49142e-010	1.2571e-011	
2.13539e-012	-7.55724e-014	-2.64833e-014	2.5389e-016	3.27048e-016	
2.00549e-017	-1.41844e-017	4.6024e-018	4.88213e-019	-1.17715e-018	
Kinematics/derived values					
Interest point (x/L,z)		Horizontal		Vertical	
Velocity:		0		-42	
Acceleration:		3.02285		0	
Pressure:		468690		-0.300353	
Water surface elevation:		8.9246		N/m <sup>2</sup>	



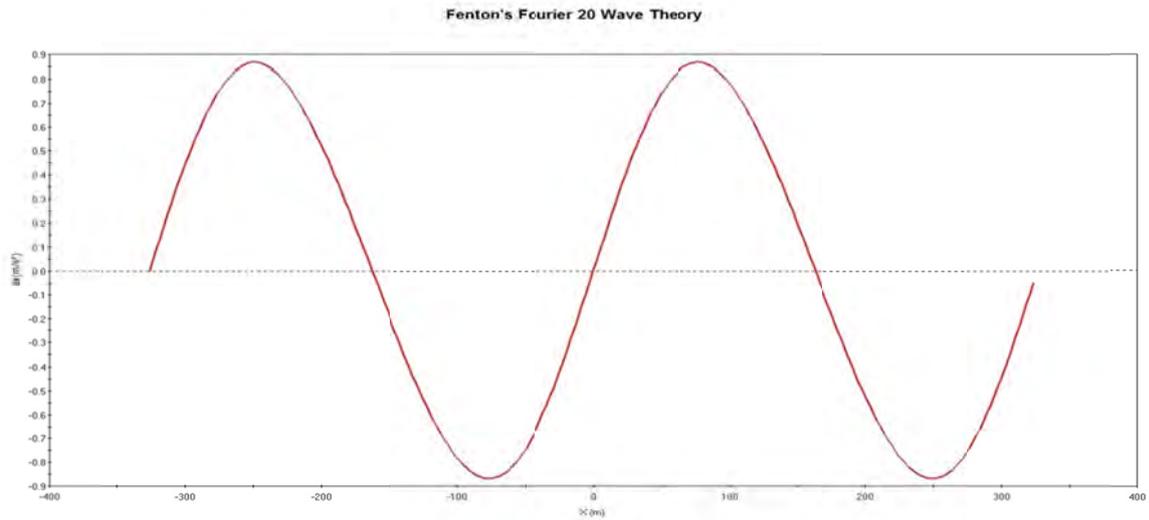
**איור מס' 6.56 – תצורת הגל על פני שני מחזורים**



**איור מס' 6.57 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים**

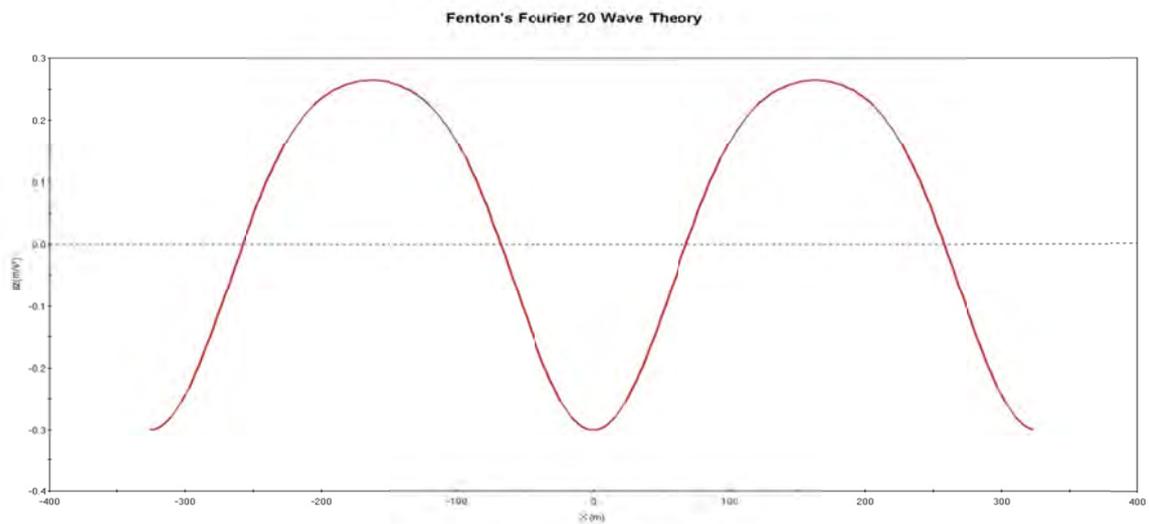


**איור מס' 6.58 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים**



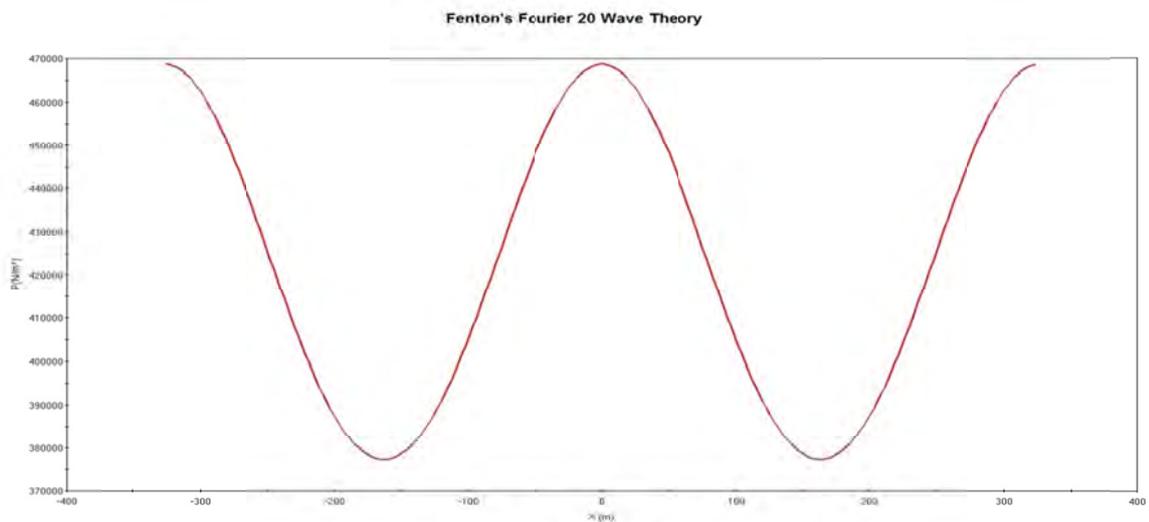
Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -42.000 m

**איור מס' 6.59 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים**



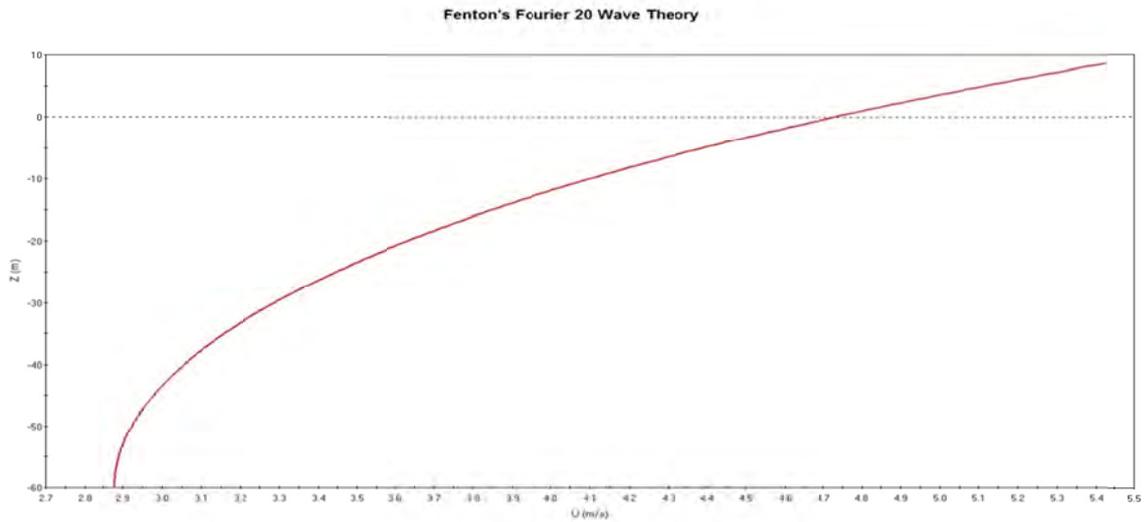
Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -42.000 m

**איור מס' 6.60 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים**



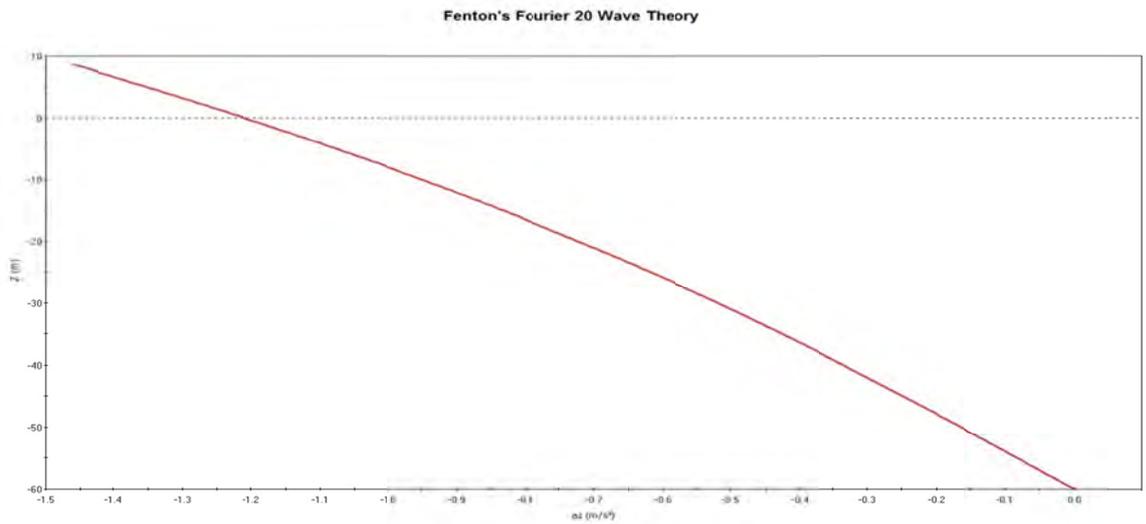
Pressure (P) at -42.000 m

**איור מס' 6.61 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים**



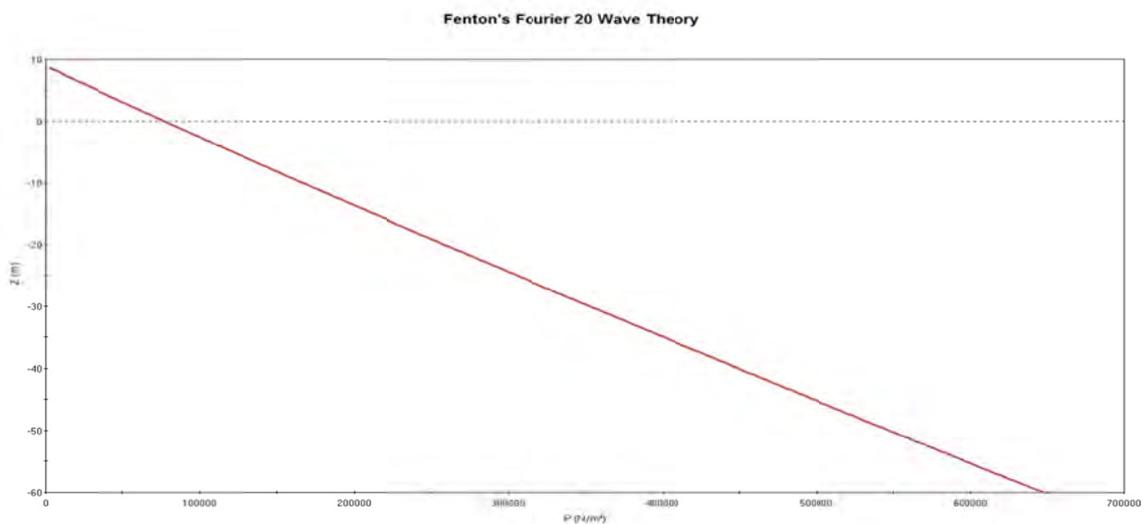
Horizontal Velocity (U) Under Wave Crest

**איור מס' 6.62 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים**



Vertical Acceleration (az) Under Wave Crest

**איור מס' 6.63 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים**



Pressure (P) Under Wave Crest

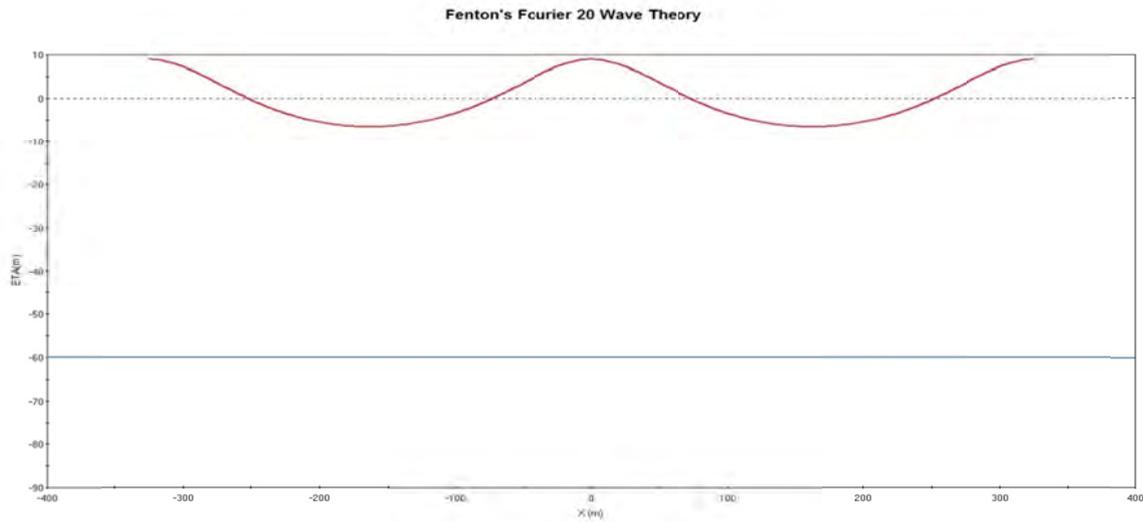
**איור מס' 6.64 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים**



טבלה מס' 6-9

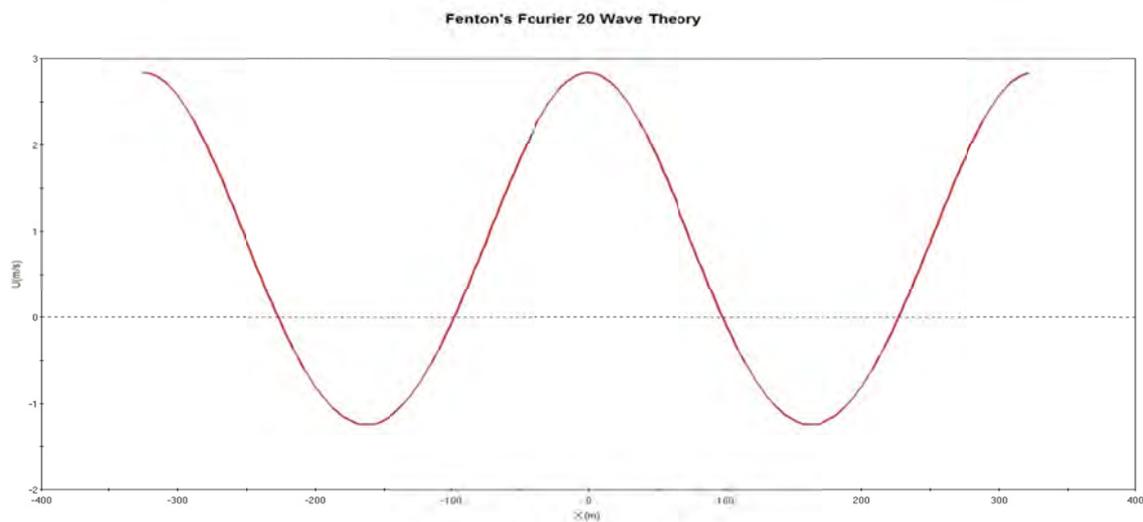
הידרודינמיקה מול אשדוד, קו עומק 60 מ', גובה גל מרבי 15.4 מ', זמן מחזור 15.1 שני, זרם כללי של 0.95 מ/שני, x=0, בעומק 54 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה

Fenton's Fourier Series Wave Theory			
Wave height (H):	15.400 m	Celerity (C):	21.524 m/sec
Wave period (T):	15.100 sec	Mean eulerian flood velocity:	0.720 m/sec
Water depth (d):	60.000 m	Mean mass transport velocity:	0.950 m/sec
Celerity def:	Stokes	Mean velocity relative to wave:	20.804 m/sec
Mean velocity (u):	0.950 m/sec	Volume flux due to wave:	13.788 m <sup>2</sup> /sec
Breaking criteria:	0.780	Bernoulli constant:	217.430 m <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
Wave length (L):	325.016 m	# of steps in wave height ramping:	10
# of terms in Fourier series:	20		
		Integral Parameters	
Impulse (I):	58430	N-s/m <sup>2</sup>	
Kinetic energy (EK):	173146	N-m/m <sup>2</sup>	Radiation stress (Sxx):
Potential energy (EP):	144169	N-m/m <sup>2</sup>	Energy flux (F):
Energy density (EK+EP):	317315	N-m/m <sup>2</sup>	Volume flux (Q):
Mean square of bed velocity (ub):	2.57146	m/sec	Bernoulli constant (R):
			805.755 m <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
Solution surface elevation (crest...trough):			8.9226
			-6.4774 m
Fourier coefficients b(I)		1.20	
0.157468	0.00896332	0.000140336	-2.22338e-005
2.06403e-007	1.27042e-008	-1.39466e-009	-1.42584e-010
2.05505e-012	-8.2726e-014	-2.55606e-014	3.65587e-016
4.35558e-018	-6.89565e-018	5.42416e-018	-7.07146e-018
			3.61199e-018
Kinematics/derived values			
	Horizontal		Vertical
Interest point (x/L,z)	0	0	-54
Velocity:	2.83983	0	0
Acceleration:	0	0	-0.0985073
	Pressure:	586729	N/m <sup>2</sup>
	Water surface elevation:	8.9226	m
			Units
			m
			m/sec
			m/sec <sup>2</sup>



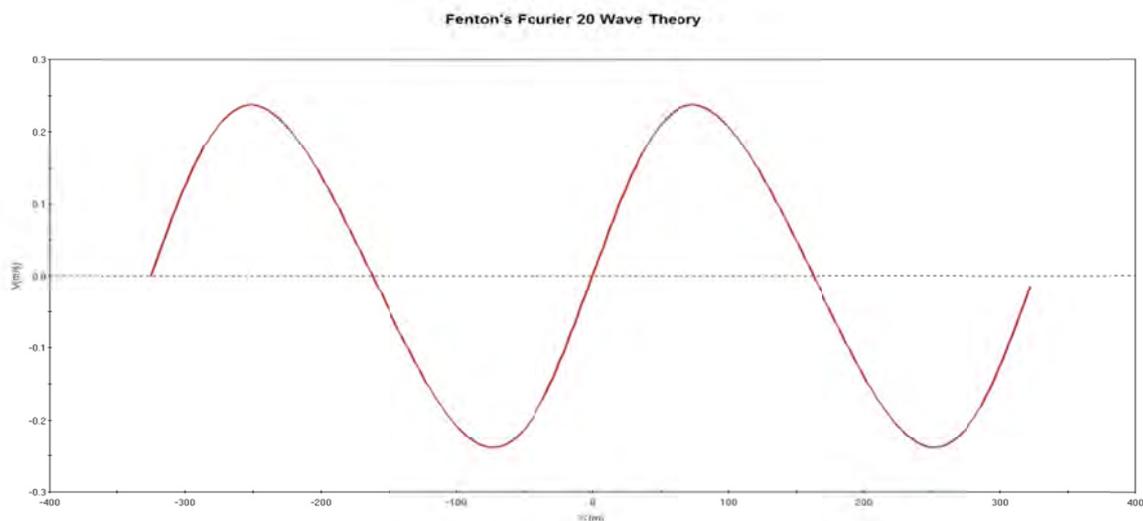
Water Surface Elevation at -54.000 m

**איור מס' 6.65 – תצורת הגל על פני שני מחזורים**



Horizontal Velocity (U) at -54.000 m

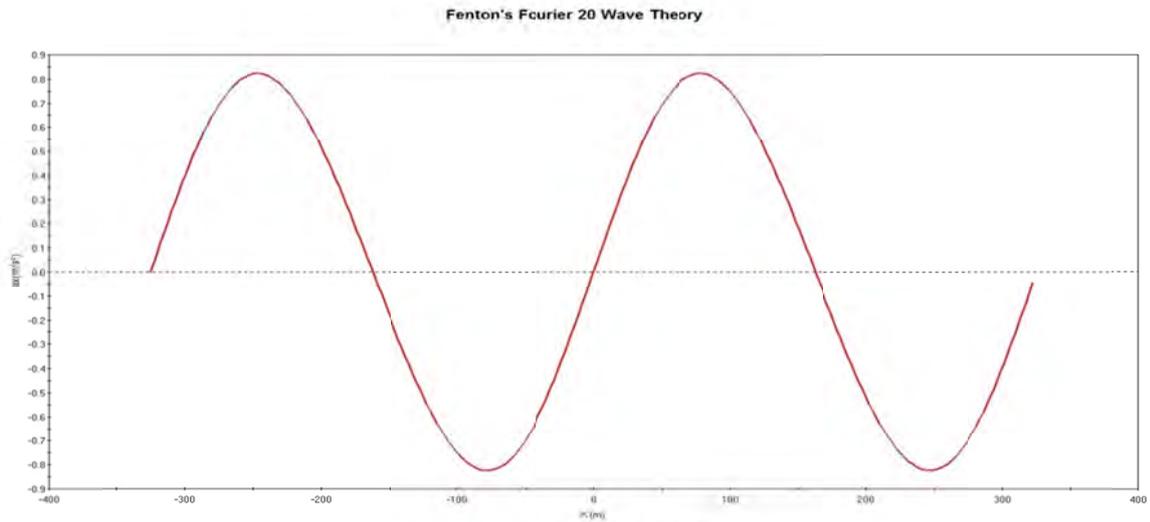
**איור מס' 6.66 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים**



Vertical Velocity (W) at -54.000 m

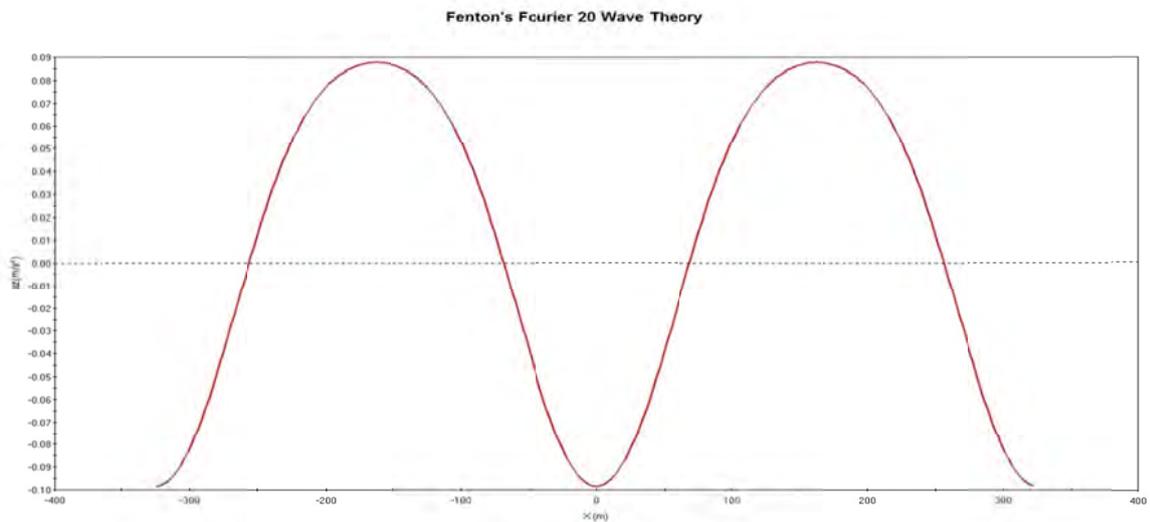
**איור מס' 6.67 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים**





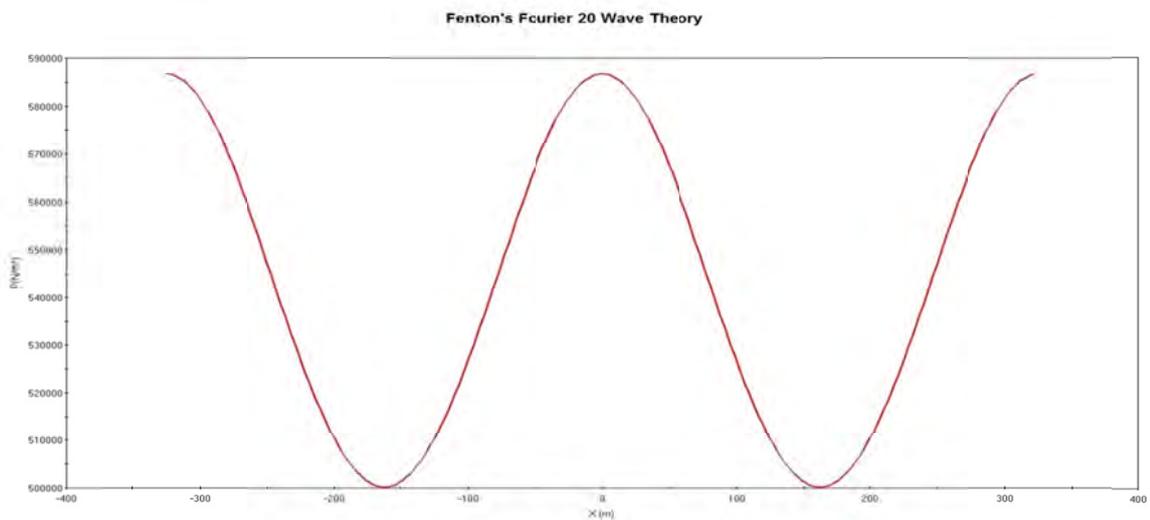
Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -54.000 m

**איור מס' 6.68 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים**



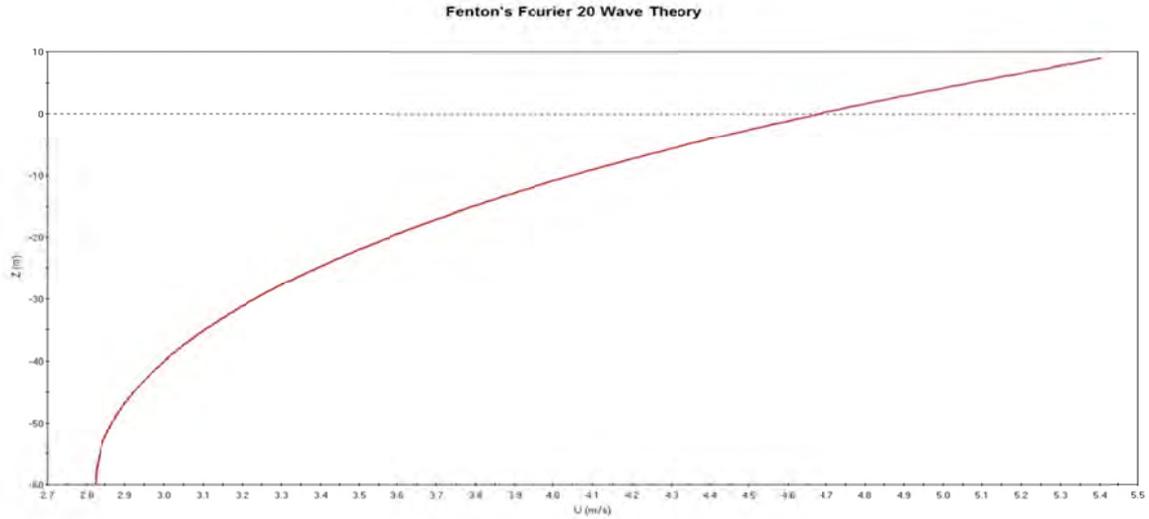
Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -54.000 m

**איור מס' 6.69 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים**



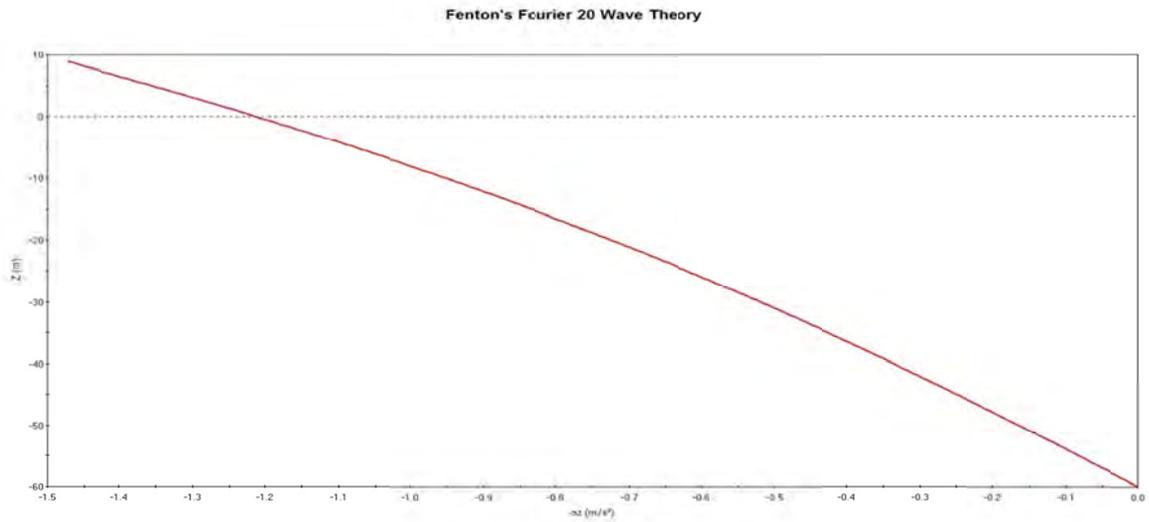
Pressure (P) at -54.000 m

**איור מס' 6.70 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים**



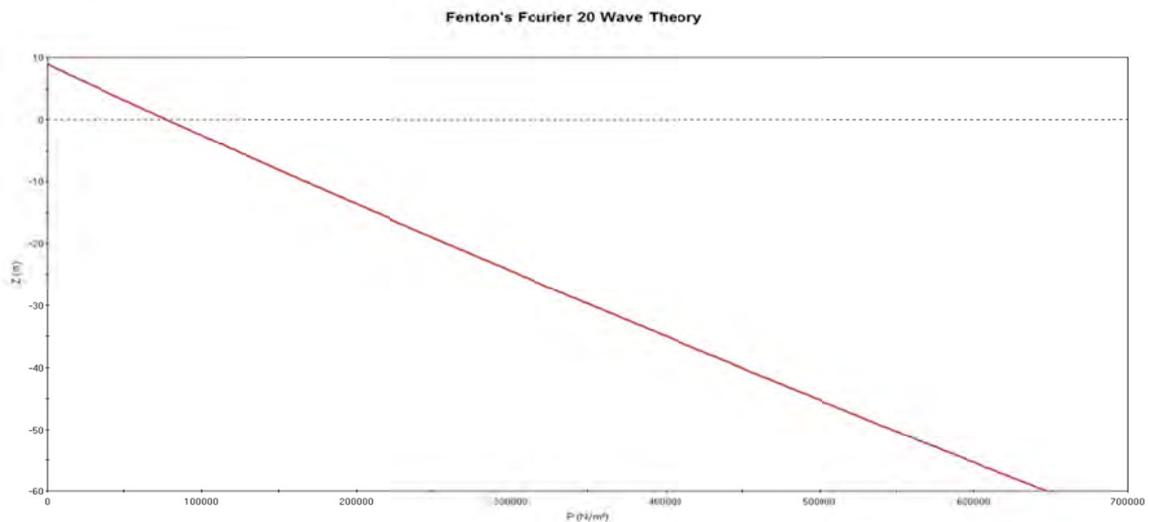
Horizontal Velocity (U) Under Wave Crest

**איור מס' 6.71 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים**



Vertical Acceleration (az) Under Wave Crest

**איור מס' 6.72 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים**



Pressure (P) Under Wave Crest

**איור מס' 6.73 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים**

## 6.2 ב' הצגת תוצאות של אמדנים של הכוחות על כלוב שקוע בים במיקום המיועד לכלובי הדגים מול חופי צפון אשדוד

בטבלה מס' 6-10 להלן, מוצג סיכום של הכוחות גרר ואינרציה שהתקבלו עבור המצבים שנבחנו לאזור אשדוד על קווי עומק 60 מ' ו-40 מ' (מלבד ההדמיות לעומקים הגדולים יותר עבור אותו מצב). התוצאות התקבלו תוך שימוש בנוסחאות החצי אמפיריות (ערכי המקדמים) שמוצגות ב- Berstad et al. (2012) עבור כלוב עם עובי חוט רשת ללא קשרים של 4 מ"מ כולל צימדה ימית, וגודל תא רשת של 18 מ"מ (מציר לציר). החישוב בוצע עבור כלוב בקוטר 18 מ' וגובה (שוקע) 12 מ', המוקם עם קצהו התחתון 6 מ' מעל הקרקעית, תוך שימוש בפרוס המהירויות והתאוצות האנכי בשיא הגל שהתקבלו בהדמיות שהוצגו בסעיף 6.2 א' ובתוספת זרם קבוע. החישובים אינם כוללים כוחות על הטבעת העליונה (וואו נוספות), ולא על המשקלות מתיחה של הכלוב אם היא נעשית באמצעות משקולות ושרשראות ולא באמצעות כבלי מתיחה מחוברים למצופים. החישובים מציגים בצורה איכותית יותר את השפעות תנאי התכן והמיקום (עומק) של בתנאי השרידות. חישוב כוח האינרציה נעשה תוך אומדן של מסה נוספת של 30% על מסת הכלוב.

### טבלה מס' 6-10 – תוצאות חישוב אומדן הכח המופעל על כלוב בודד ראשון בסדרת כלובים במצב שרידות מול אשדוד

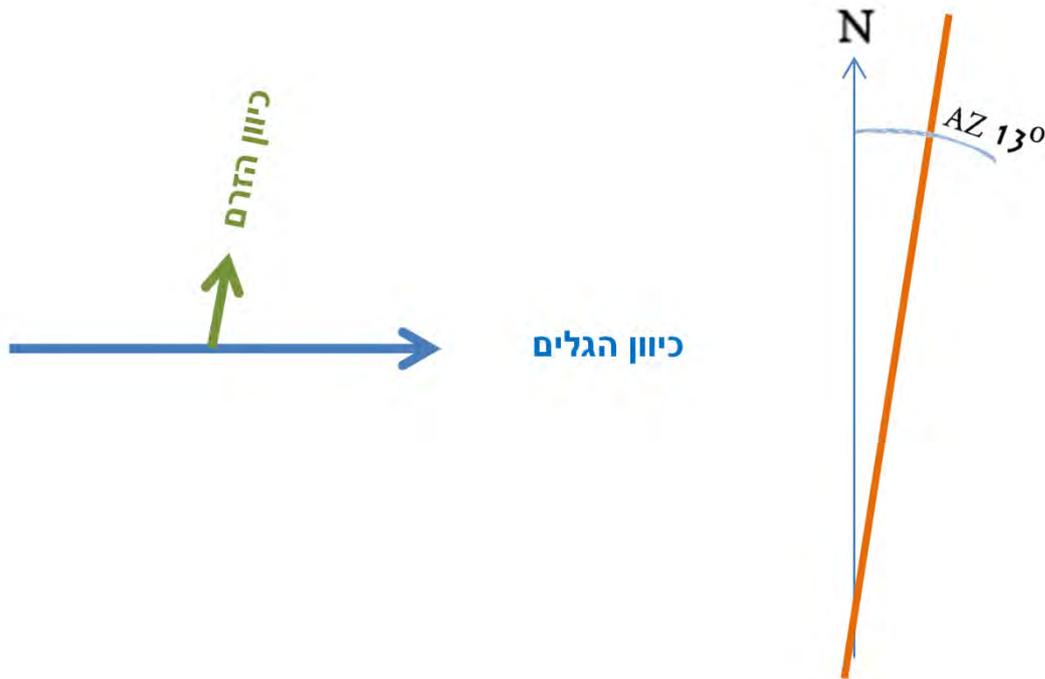
סודר	מקום	קו עומק	עומקי הכלוב (מ-עד)		H	T	תקופת חזרה	V	תקופת חזרה	כח גרר ואנרציה
-	-	מ'	מ'	מ'	מ'	שני	שנים	מי/שני	שנים	Ton
1	אשדוד	-60.0	-42.0	-54.0	14.6	14.7	50	0.95	10	762
2	אשדוד	-60.0	-42.0	-54.0	14.6	14.7	50	1.00	10	716
3	אשדוד	-60.0	-42.0	-54.0	15.4	15.1	100	0.95	10	923
4	אשדוד	-60.0	-42.0	-54.0	15.4	15.1	100	1.00	10	857
5	אשדוד	-40.0	-22.0	-34.0	14.4	14.6	50	1.10	25	1,264
6	אשדוד	-40.0	-22.0	-34.0	15.2	15.0	100	1.10	25	1,434

הכוחות עבור כל כלוב נוסף בשרשרת כלובים, העומדים בטור האחד מאחורי השני, יהיו לכל כלוב בנפרד לפי הערך של הכח עבור הכלוב שלפניהם עם הקטנת ערך של כ-50%, והכח על העוגן במקרה של עוגן בודד יהיה סכום הכוחות הפועלים על כל אחד מהכלובים. יש לשים לב כי במידה ויהיו יותר מדי כלובים בטור, חלקם יהיו בשיא הגל, אחד אולי במצב גובה גל אפס וחלקם בשפל הגל ואז עבור אותם כלובים כיוון הכח יהיה הפוך ויותר קטן (בגלל שכיוון הזרם לא ישתנה). נציין גם, שמאחר וההדמיות והחישובים של הכוחות בוצעו קודם עבור אזור מכמורת, לא היה צורך לבצע שוב הרצות במצבים עם זמני מחזור קצרים יותר המומלצים כאשר אין מידע אמין ע"י התקן הבינלאומי. אנו מבקשים להזכיר כי האומדן הנ"ל הוא יותר איכותי מכמותי, ולצורך תכנון מערך כלובים יש צורך בטיפול הרבה יותר מעמיק ומפורט.

**6.3 א' הצגת תוצאות ההרצות של ההדמיות של התנאים ההידרודינמיים המתפתחים במצבי קיצון על גוף טבול בים במיקום המיועד לכלובי הדגים מול חופי מכמורת**

כפי שצוין בפרק 2 ההדמיות בוצעו באמצעות חבילת התוכנה ACES, תוך שימוש בשיטת החישוב של המאפיינים הקינמטיים בגלים בנוכחות זרם הנע באותו כיוון כמו הכיוון התקרבות הגלים במיקום הבדיקה או בכיוון הפוך לכיוון התקרבות הגלים. כמובן שעבור מצבים בהם הזרם יוצר זווית עם כיוון ההתקרבות של הגל, הרכיב המקביל לכיוון ההתקרבות של הגל ייתן רכיב מהירות זרם נמוך יותר שיתווסף למהירות האורביטלית האופקית של הגל, דבר שיקטין את כוח הגרר מאשר אם היה באותו כיוון כמו כיוון התקרבות הגל. כפי שהוסבר בפרק 2, חישוב מפורט ומדויק של הכוחות על כלובי דגים בחוות דגים הוא מאוד מורכב ולא היה במטלות העבודה הנוכחית. מאידך, השימוש בנתוני הקיצון המומלצים ע"י התקן הבינלאומי של הזרם והגלים והרוח כאשר פועלים באותו כיוון יכול לתת אומדן של הכוחות הצפויים בהנחה שלא נגרם עיוות לתצורה הגלילית של רשת הכלוב. זאת מאחר ואם נוצר עיוות בצורת הכלוב בהשפעת הכוחות שמפעילים הגלים והזרמים, ישנה (יגדל) מקדם הגרר והאינרציה במשוואת מוריסון ונקבל הגדלה של הכוחות הפועלים וכך הלאה עד למצב שיעבור מצב התכן לשרידות או ייפגע הכלוב על רשתו והדגים שבתוכה.

מצב התכן לשרידות על פי התקינה הבינלאומית, כיוון הגלים במכמורת צפוי להיות מערבי וכיוון המהירות האורביטלית המרבית יהיה מזרחה בקרוב, כלומר  $AZ 90^\circ$ . במצב קיצון של הגלים צפויים גם לקבל מהירויות זרם כללי קרובות למהירות הזרם המומלצת לבדיקת שרידות (תקופת חזרה של 10 שנים) או אפילו גדולה יותר. בכל מקרה, כיוון הזרם במצב התכן לשרידות עבור אזור מכמורת אמור להיות מקביל בקרוב לקווי העומק באותו המקום כלומר כ-  $AZ 13.0^\circ$ . בתלות במיקום בעמודת המים כיוון הזרם עשוי להשתנות בכ- 10 עד 20 מעלות, כלומר  $AZ 0^\circ$  עד  $AZ 350^\circ$ . בכבות התחתונות של עמודת המים בין החלק העליון והחלק התחתון של הכלוב בעל גובה (שוקע) של 12 מ'. כדי להמחיש המשמעות, נתייחס לאיור 6.74 להלן.



איור מס' 6.74

לולא היה זרם (שמניחים אותו כקבוע לפחות לפרק הזמן של הגל המרבי (אבל מעשית גם למשך תקופה של כמה דקות עד שעה), אזי היינו מקבלים כוח גרר מושרה גלים על כלוב בכיוון הגלים, שנסמן אותו ב- $F_{DW}$  ובנוסף יפעל כח אינרציה מושרה גלים שנסמן אותו ב- $F_{IW}$ .

כעת נוסיף את הזרם הקבוע שהמהירות שלו קטנה מזו של המהירות האורביטלית האופקית של הגלים, וכיוונה בקרוב ניצבת לכיוון התקדמות הגלים. הזרם יוסיף כח גרר בלבד כי זהו זרם קבוע ונסמן כח הגרר מושרה הזרם ב- $F_{DC}$ .

אם נחשב את השקול של הכוחות, שהוא הכח שיופעל על העוגן נוכל לרשום כי הכח על העוגנים שנסמן את השקול שלהם ב- $F_A$  יהיה:

$$(6_3) \quad F_A^2 \cong F_{DC}^2 + (F_{IW} + F_{DW})^2 = F_{DC}^2 + F_{IW}^2 + F_{DW}^2 + 2F_{IW}F_{DW}$$

אם נניח כי הזרם נע באותו כיוון כמו הגלים כי אז נקבל מהירות גדולה יותר ואז ניתן יהיה לרשום כי הכוח השקול החדש  $F_{A1}$  הוא

$$(6_4) \quad F_{A1}^2 \cong F_{D(W+C)}^2 + F_{IW}^2 > F_A^2$$

אולם ברור כי כח הגרר כאשר גם הזרם באותו כיוון עם הגלים  $F_{D(W+C)}$  הוא גדול בהרבה מסכום כוחות הגרר של הגלים בלבד ושל הזרם בלבד כי כוח הגרר יחסי לריבוע המהירות. לכן ההנחה כי הזרם הקבוע נע באותו כיוון עם כיוון תקיפת הגלים תוביל אותנו להערכה יותר שמרנית של הכוח השקול על העוגן, שעדיין הינה הערכה גסה היותר ולהערכה אמינה ומדויקת יש צורך בעריכת מודלים כפי שהוסבר בפרק 2.

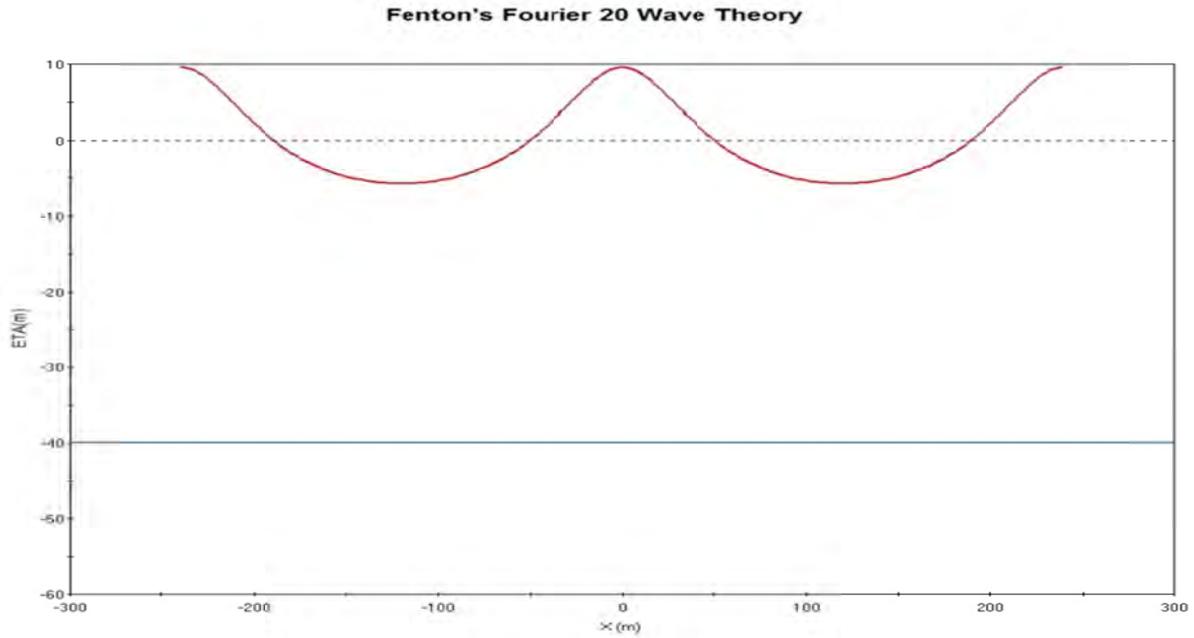
להלן נציג את התוצאות של ההדמיות לתנאי השרידות כפי שהוסבר מקודם, לאזור אשדוד, לקווי עומק של 60- מ' ושל 40- מ' שישמשו אותנו לאחר מכן לחישוב כח הגרר והאינרציה. אולם, כדי האומדן יהיה יותר אמיין, נשתמש לנוסחאות האמפיריות שהציגו Aarnes et al. (1990) לחישוב מקדם המוצקות ומקדם הגרר לרשת כלוב, ומשם גם לחישוב הקטנת המהירות של הזרם עבור כלוב הנמצא בצל הכלוב הראשון. כמו כן, אפשר גם להתחשב ביתכנות צימדה על הרשת של הכלוב, דבר שיגדיל את הגרר ולשם כך נוכל להשתמש בתוצאות עבודתם של Gansel et al. (2015).



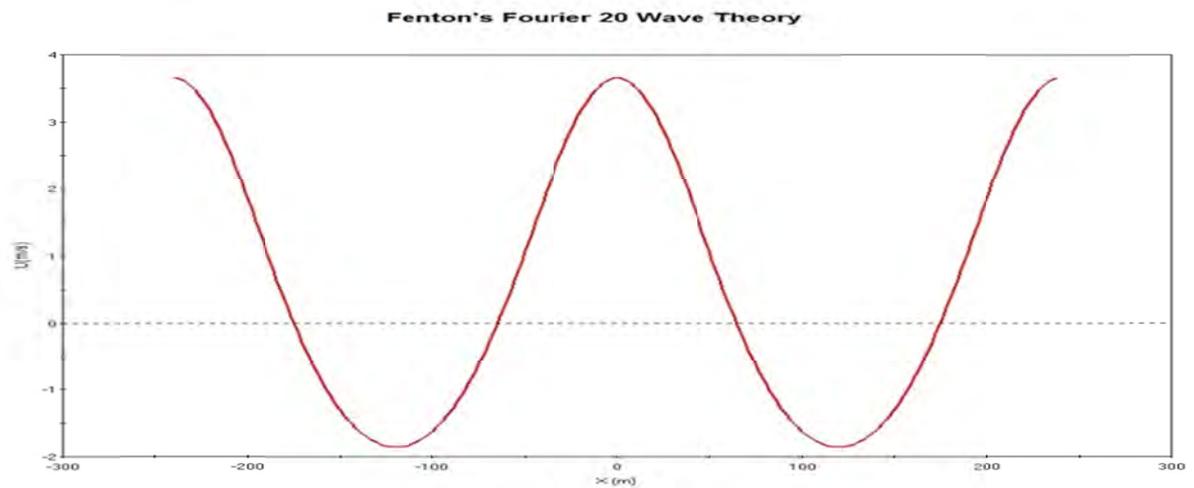
טבלה מס' 6-11

הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי של 15.3 מ', זמן מחזור 13 שני, זרם כללי 1.00 מ'/שני, x=0, בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה

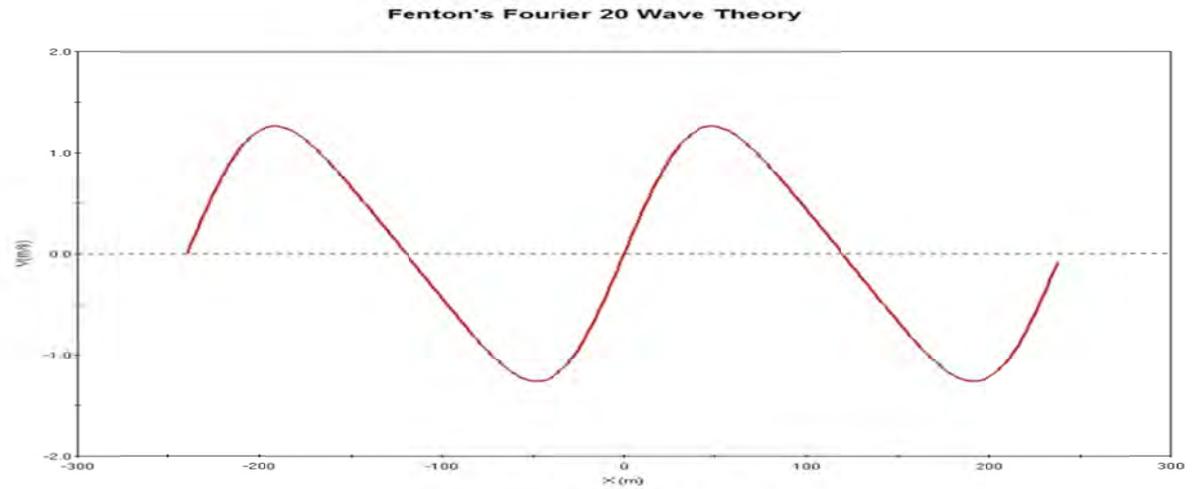
Fenton's Fourier Series Wave Theory					
Wave height (H):	15.300 m	Celerity (C):	18.424 m/sec		
Wave period (T):	13.000 sec	Mean eulerian flood velocity:	0.614 m/sec		
Water depth (d):	40.000 m	Mean mass transport velocity:	1.000 m/sec		
Celerity def:	Stokes	Mean velocity relative to wave:	17.810 m/sec		
Mean velocity (u):	1.000 m/sec	Volume flux due to wave:	15.459 m <sup>2</sup> /sec		
Breaking criteria:	0.780	Bernoulli constant:	160.128 m <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>		
Wave Length (L):	239.506 m				
# of terms in Fourier series:	20	# of steps in wave height ramping:	10		
Integral Parameters					
Impulse (I):	441003.5	N-s/m <sup>2</sup>			
Kinetic energy (EK):	158559	N-m/m <sup>2</sup>	Radiation stress (Sxx):		
Potential energy (EP):	135259	N-m/m <sup>2</sup>	Energy flux (F):		
Energy density (EK+EP):	293817	N-m/m <sup>2</sup>	Volume flux (Q):		
Mean square of bed velocity (U <sub>b</sub> ):	3.43408	m/sec	Bernoulli constant (R):		
Solution surface elevation (crest...trough):			9.59309		
Fourier coefficients b(I)	1..20		-5.70691 m		
	0.204414	0.0206629	0.00121553	-2.81308e-005	-6.66371e-006
	1.66216e-006	4.9131e-007	3.80364e-008	-2.654e-009	-2.32188e-010
	1.96538e-010	4.74651e-011	2.96268e-012	-3.39856e-013	8.27201e-015
	3.13756e-014	6.23347e-015	2.71299e-016	-2.12904e-017	-1.96485e-018
Kinematics/derived values					
Interest point (x/L,z)	Horizontal	Vertical	Units		
Velocity:	0	-22	m		
Acceleration:	3.65754	0	m/sec		
	0	-0.644344	m/sec <sup>2</sup>		
	Pressure:	273523	N/m <sup>2</sup>		
	Water surface elevation:	9.59309	m		



**Water Surface Elevation at -22.000 m**  
**איור מס' 6.75 – תצורת הגל על פני שני מחזורים**



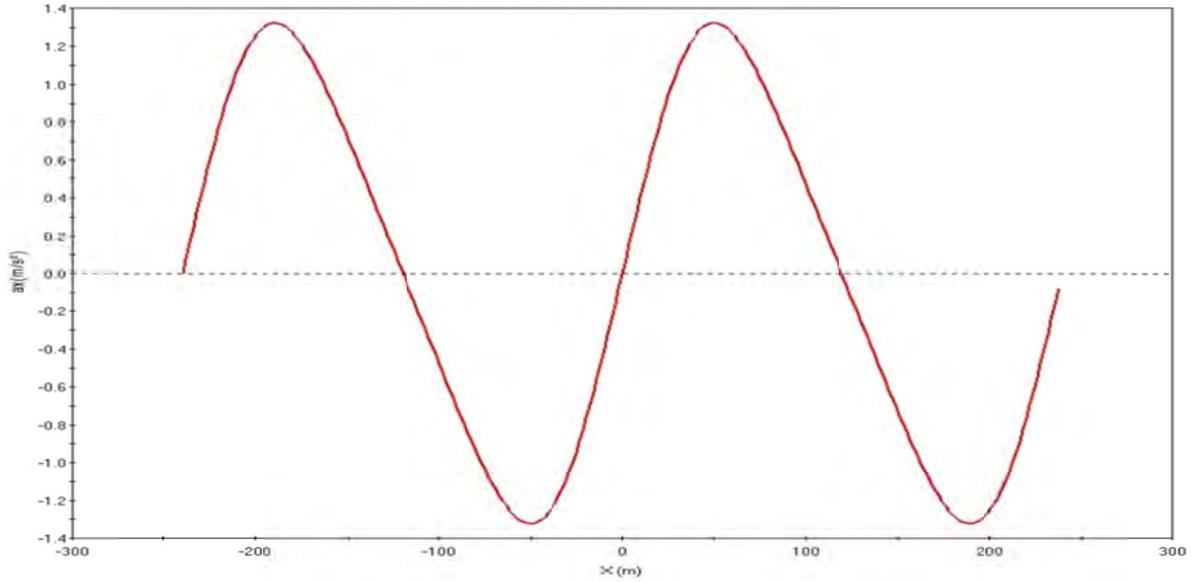
**Horizontal Velocity (U) at -22.000 m**  
**איור מס' 6.76 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים**



**Vertical Velocity (W) at -22.000 m**  
**איור מס' 6.77 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים**



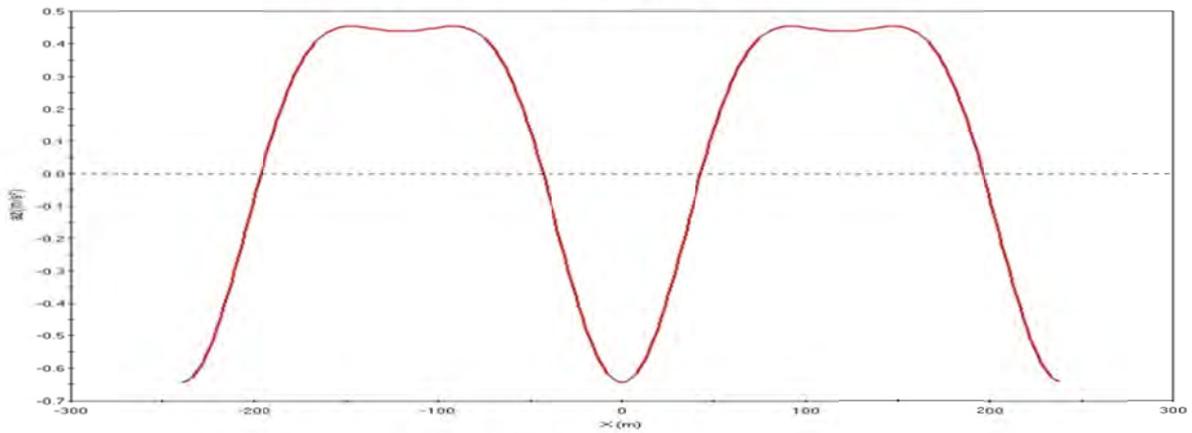
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -22.000 m

איור מס' 6.78 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים

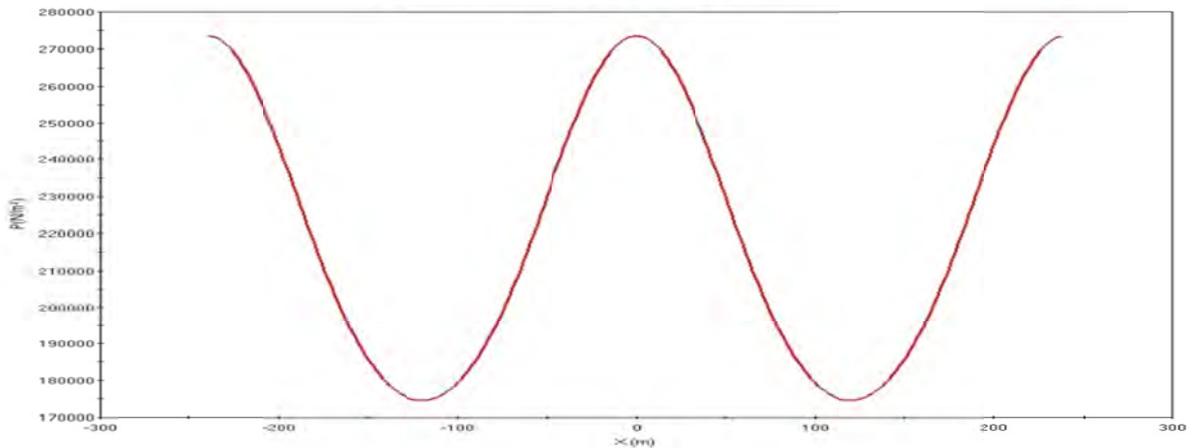
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -22.000 m

איור מס' 6.79 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים

Fenton's Fourier 20 Wave Theory



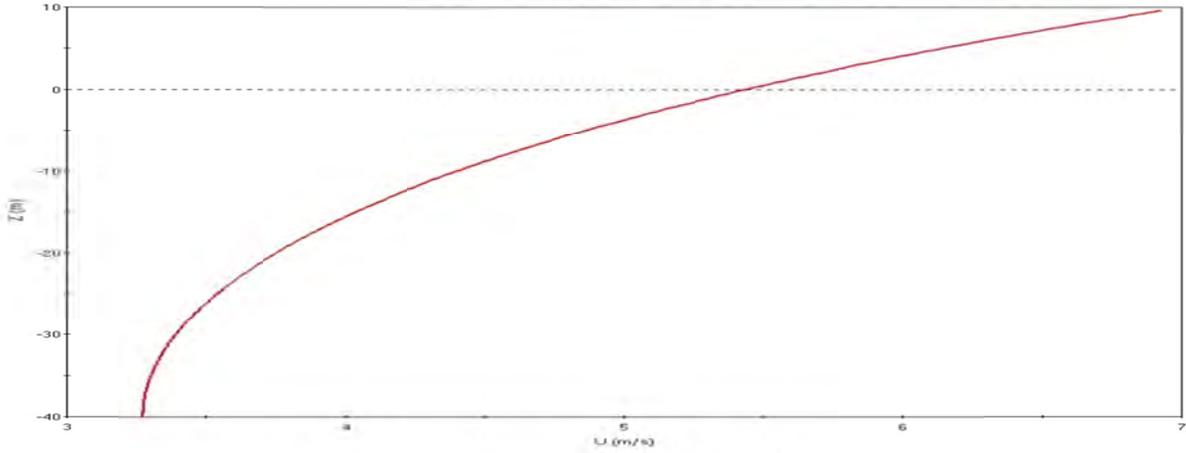
Pressure (P) at -22.000 m

איור מס' 6.80 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים





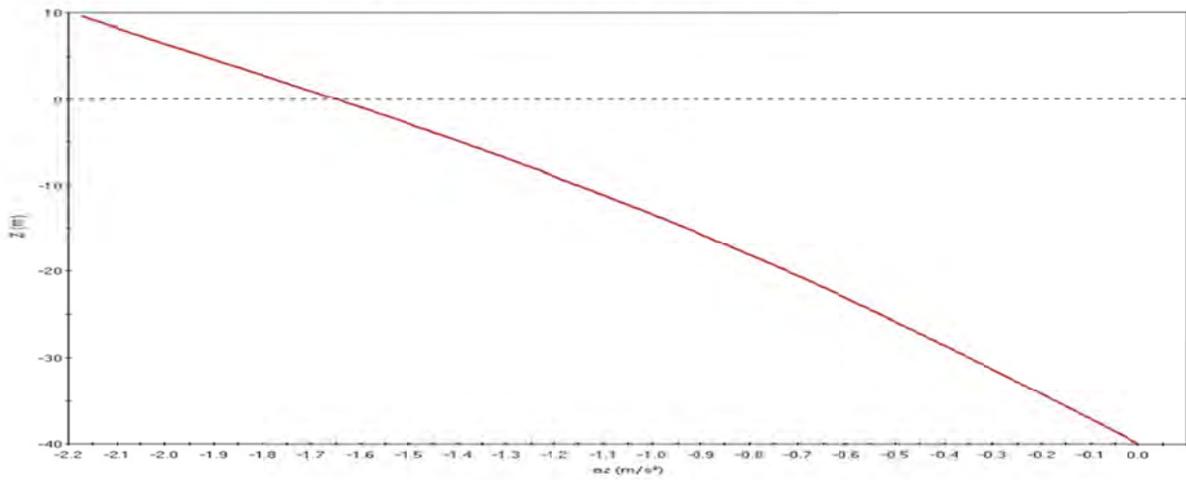
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) Under Wave Crest

איור מס' 6.81 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים

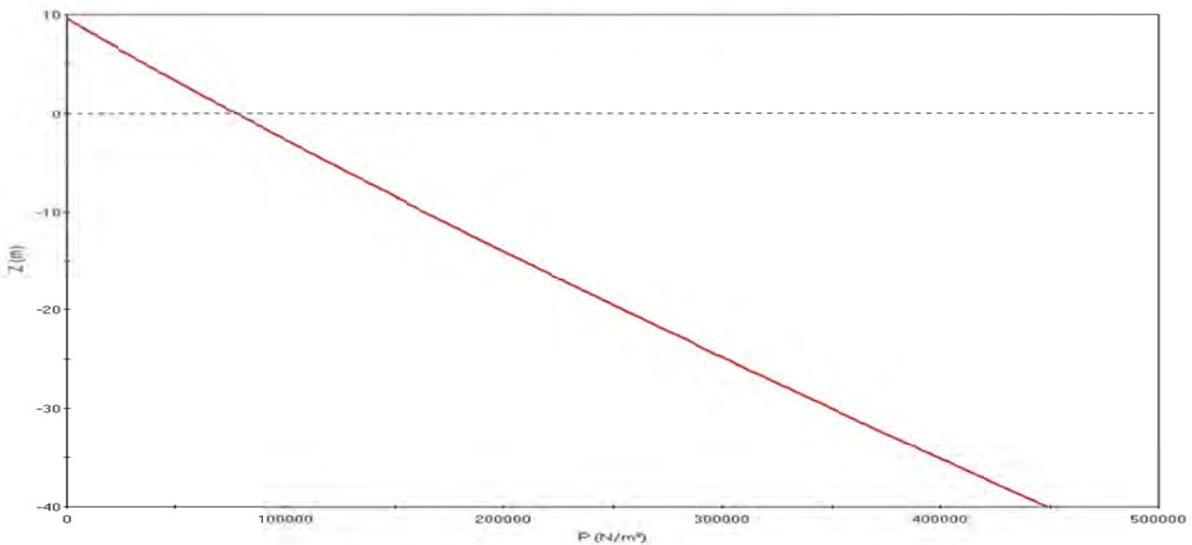
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration (az) Under Wave Crest

איור מס' 6.82 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים

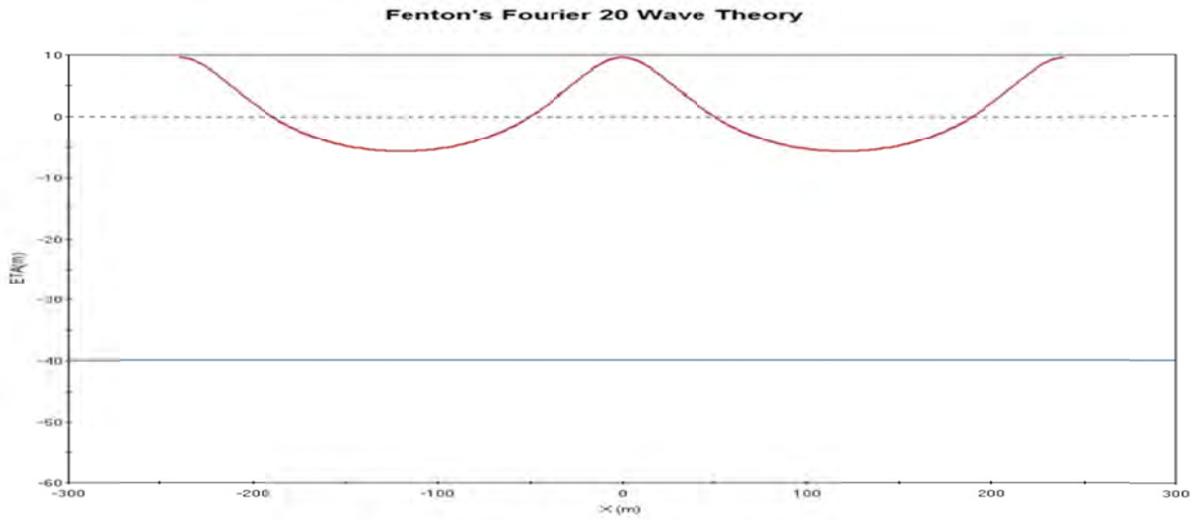
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Pressure (P) Under Wave Crest

איור מס' 6.83 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים

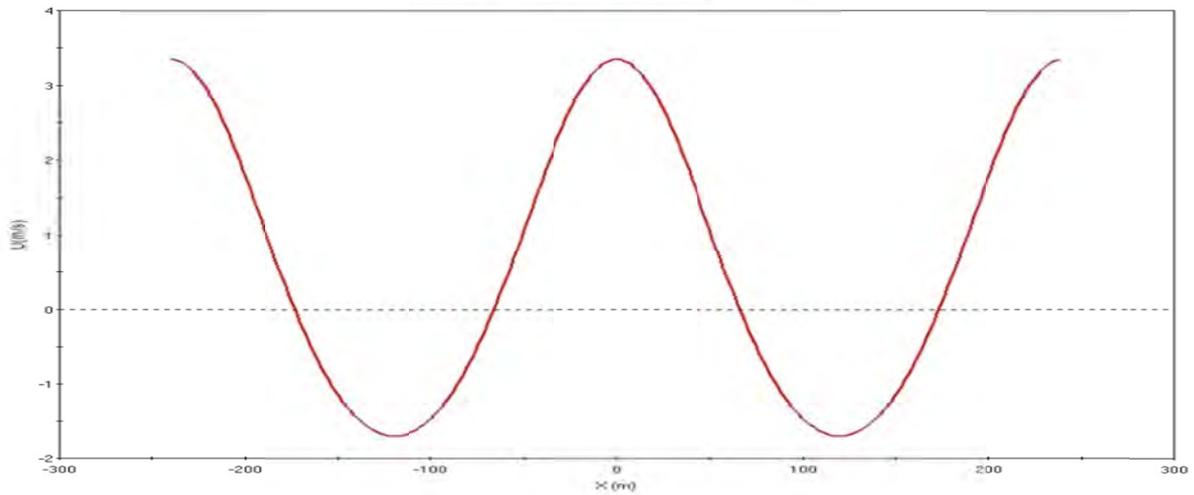




Water Surface Elevation at -32.000 m

איור מס' 6.84 – תצורת הגל על פני שני מחזורים

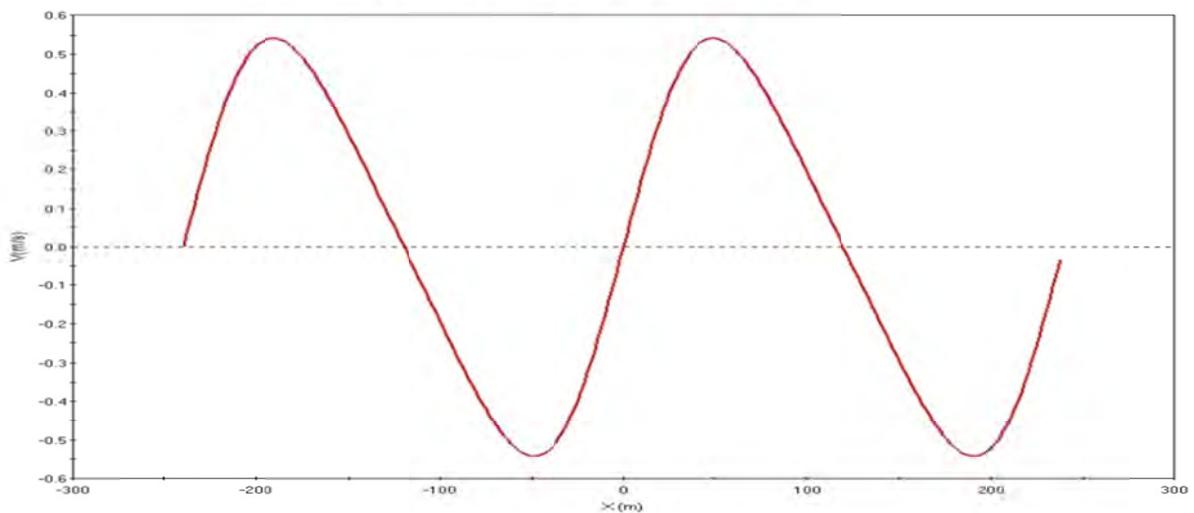
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) at -32.000 m

איור מס' 6.85 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים

Fenton's Fourier 20 Wave Theory

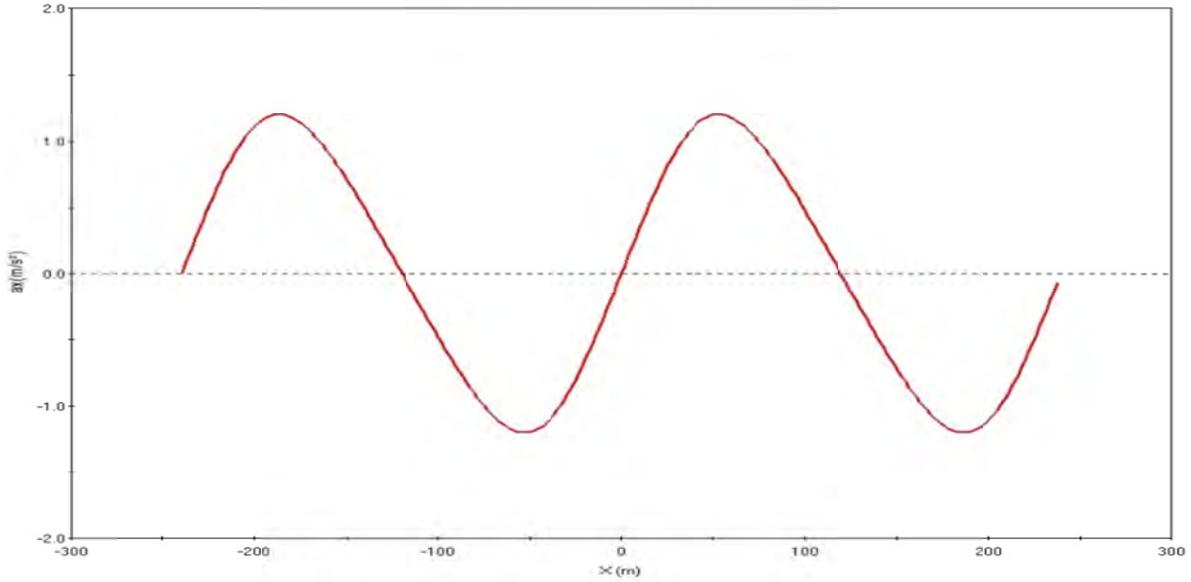


Vertical Velocity (W) at -32.000 m

איור מס' 6.86 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים



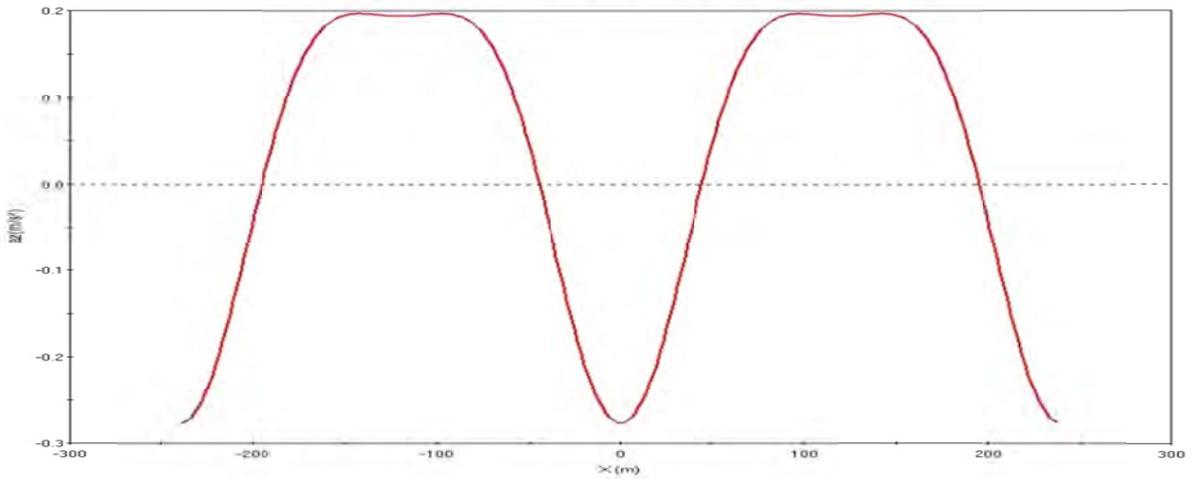
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -32.000 m

איור מס' 6.87 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים

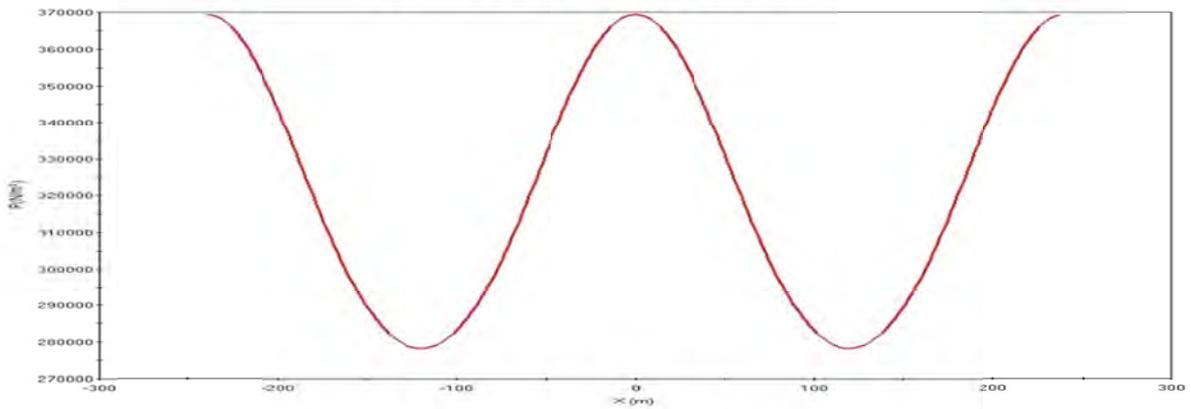
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -32.000 m

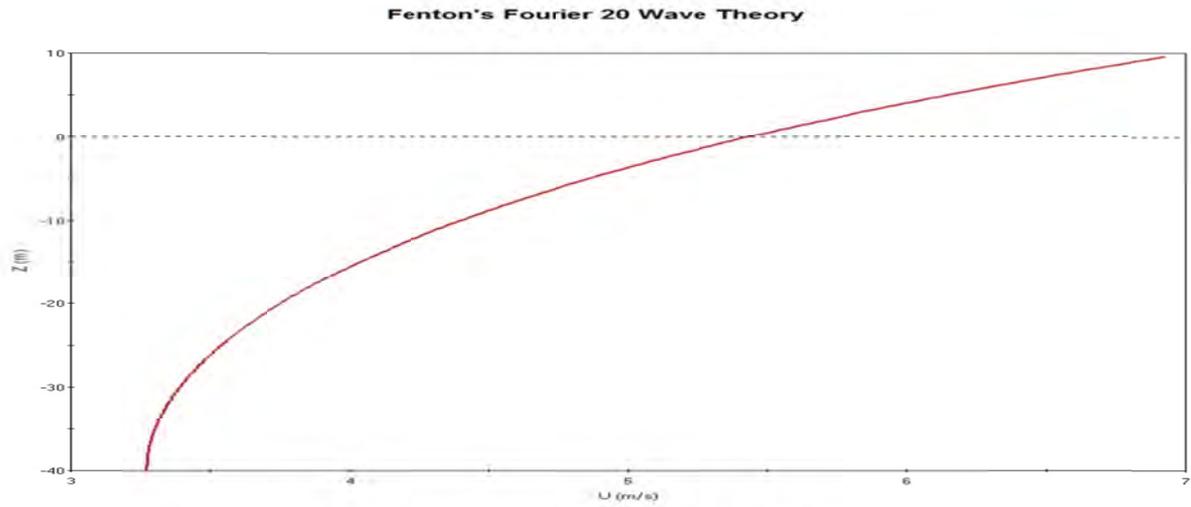
איור מס' 6.88 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים

Fenton's Fourier 20 Wave Theory

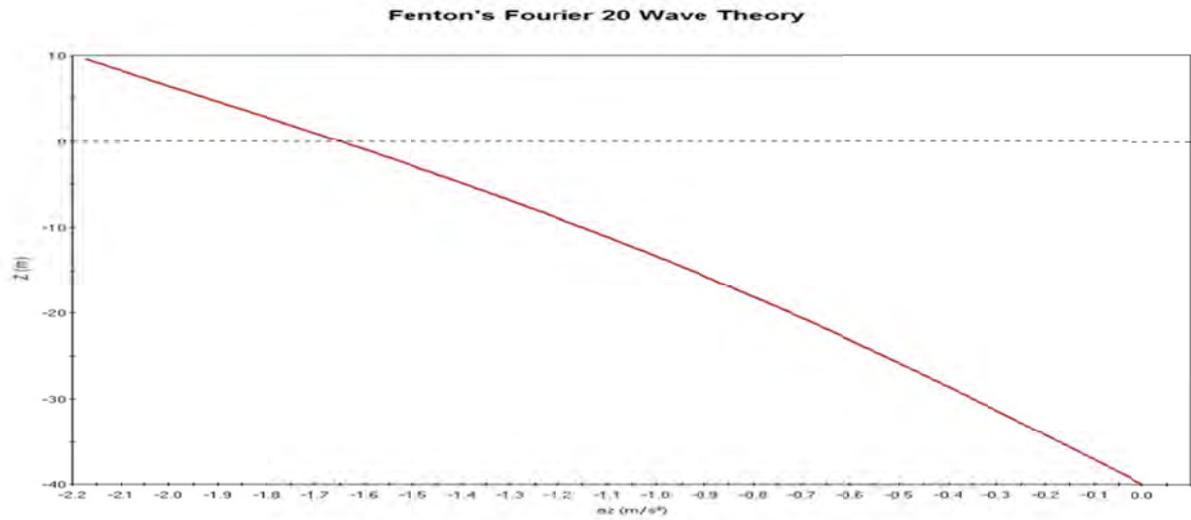


Pressure (P) at -32.000 m

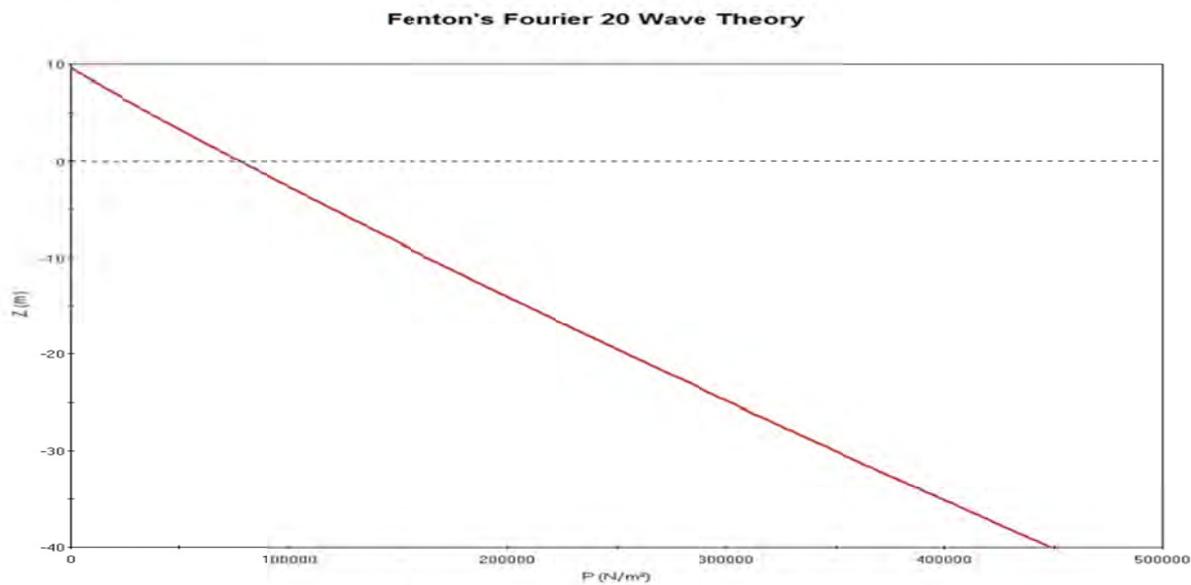
איור מס' 6.89 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים



Horizontal Velocity (U) Under Wave Crest  
איור מס' 6.90 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים

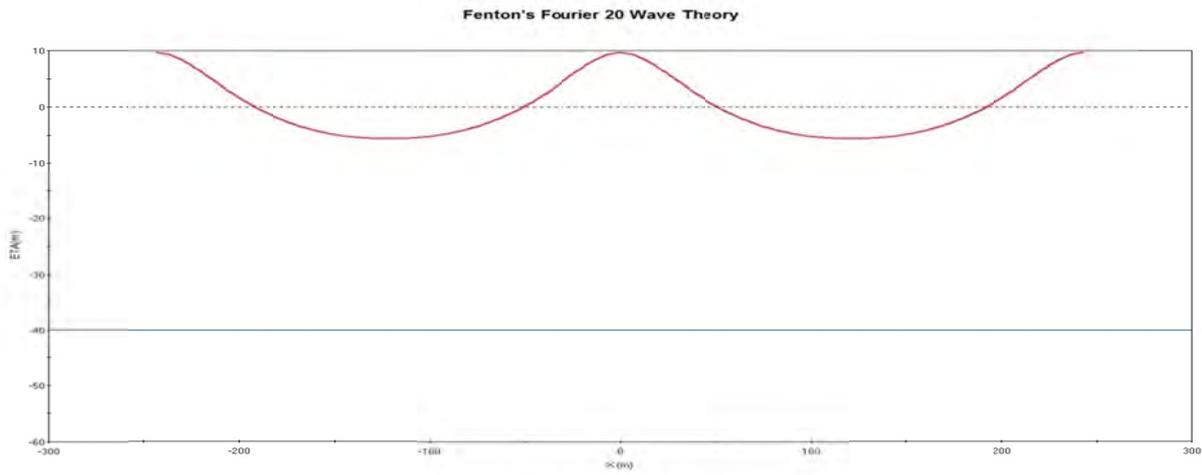


Vertical Acceleration (az) Under Wave Crest  
איור מס' 6.91 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים



Pressure (P) Under Wave Crest  
איור מס' 6.92 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים

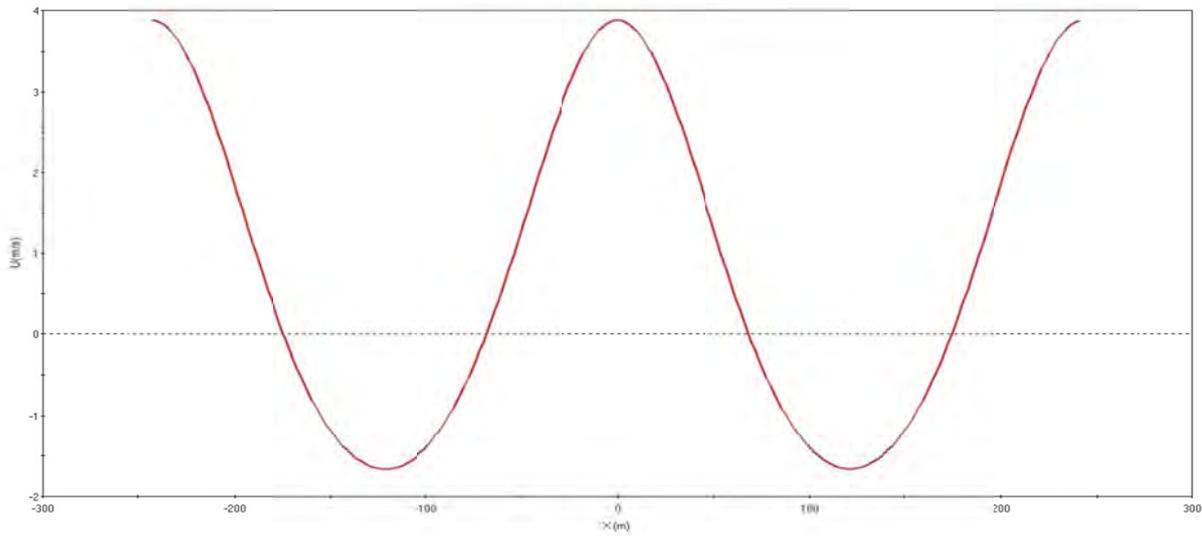




Water Surface Elevation at -22.000 m

איור מס' 6.93 – תצורת הגל על פני שני מחזורים

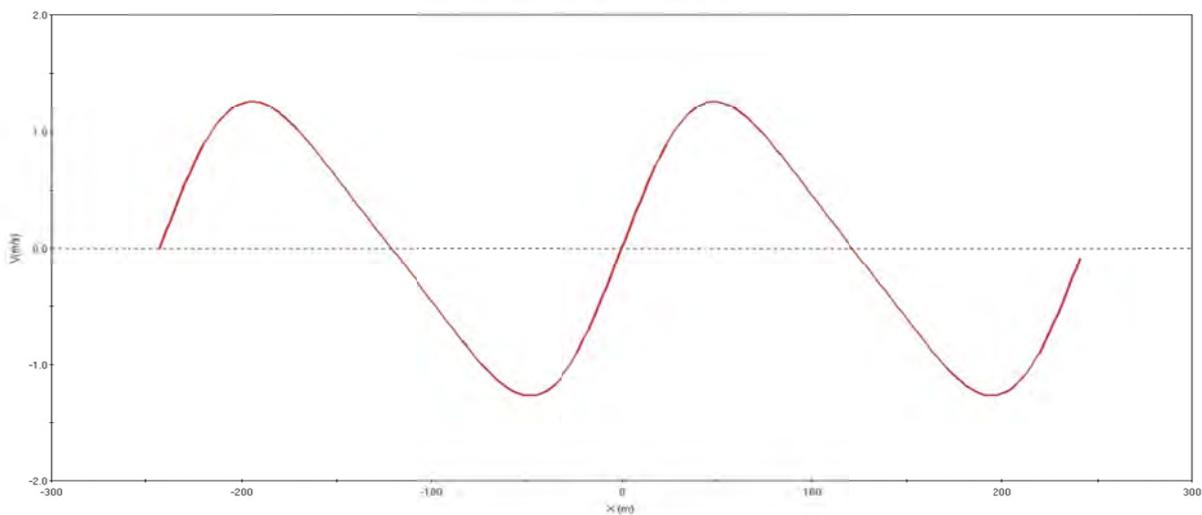
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) at -22.000 m

איור מס' 6.94 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים

Fenton's Fourier 20 Wave Theory

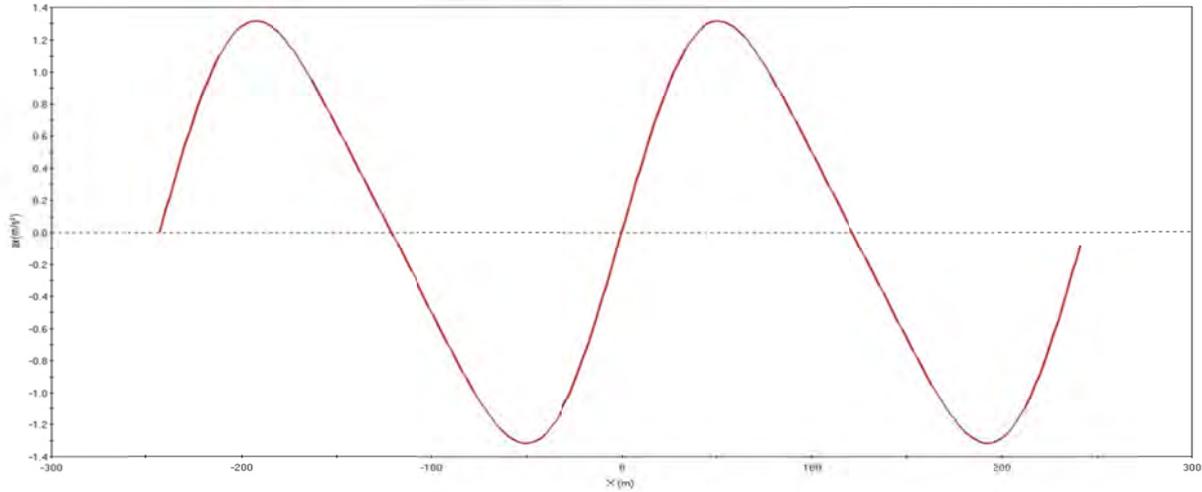


Vertical Velocity (W) at -22.000 m

איור מס' 6.95 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים



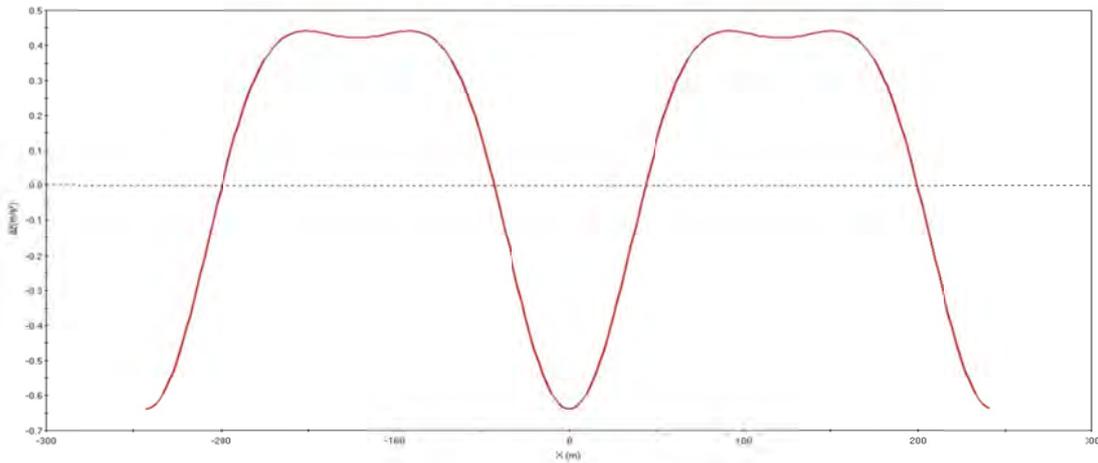
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -22.000 m

**איור מס' 6.96 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים**

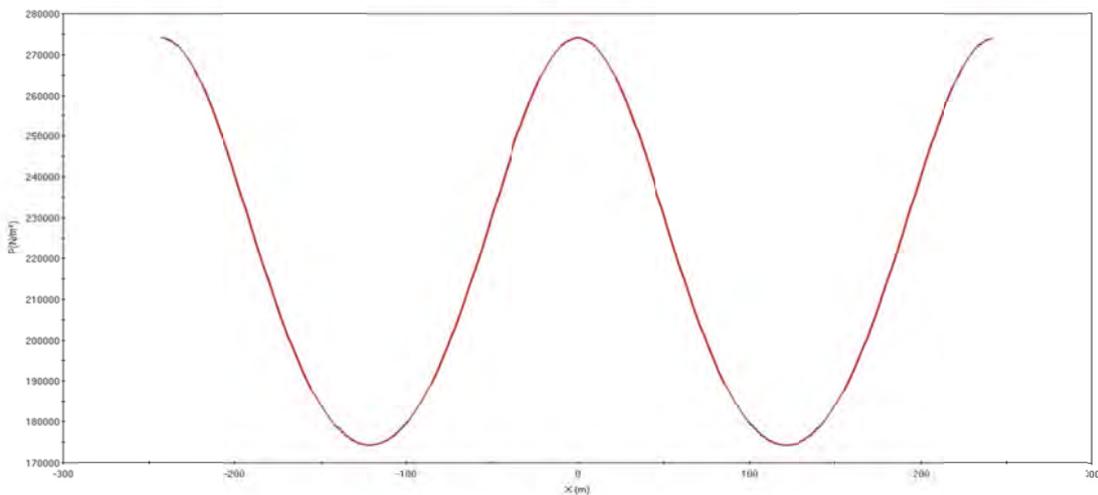
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -22.000 m

**איור מס' 6.97 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים**

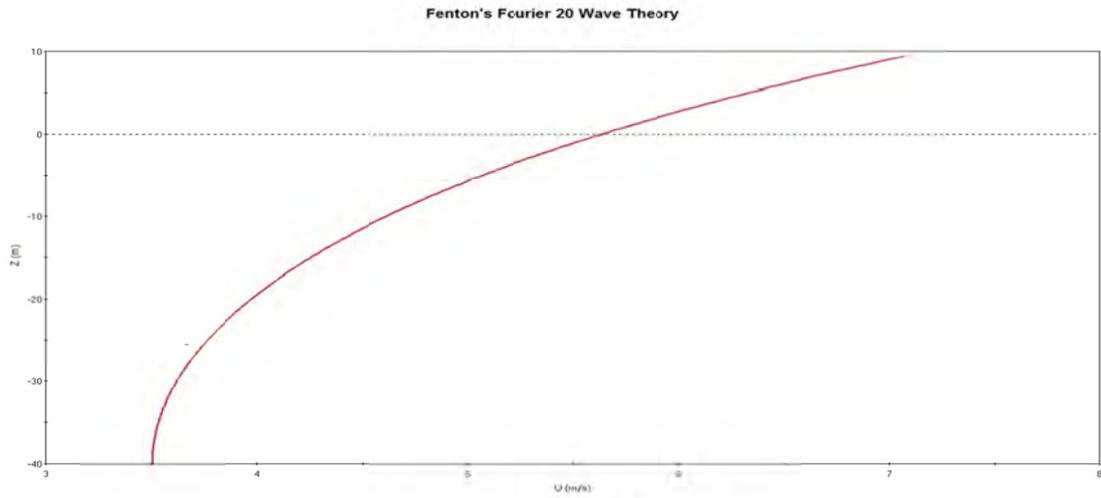
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Pressure (P) at -22.000 m

**איור מס' 6.98 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים**

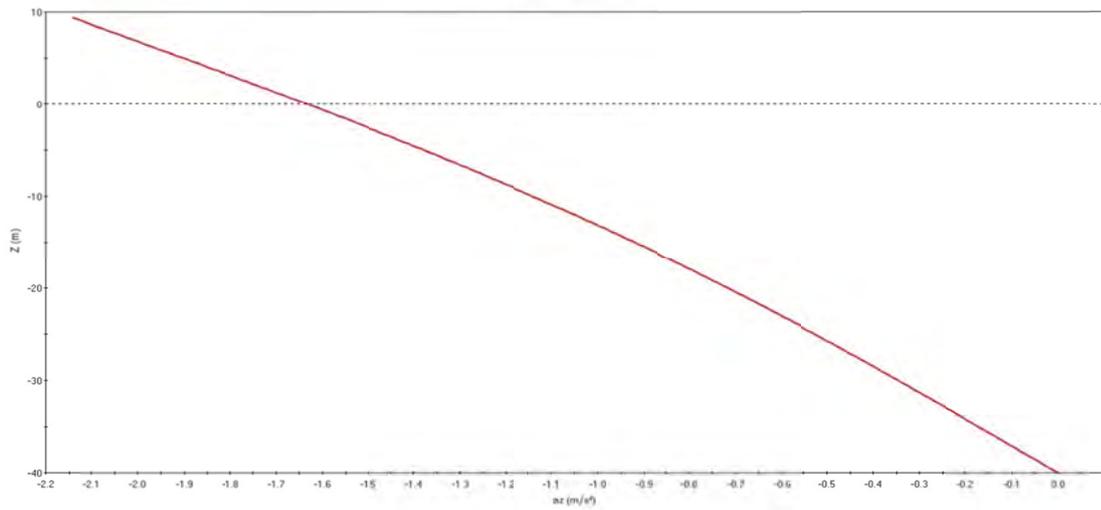




Horizontal Velocity (U) Under Wave Crest

איור מס' 6.99 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים

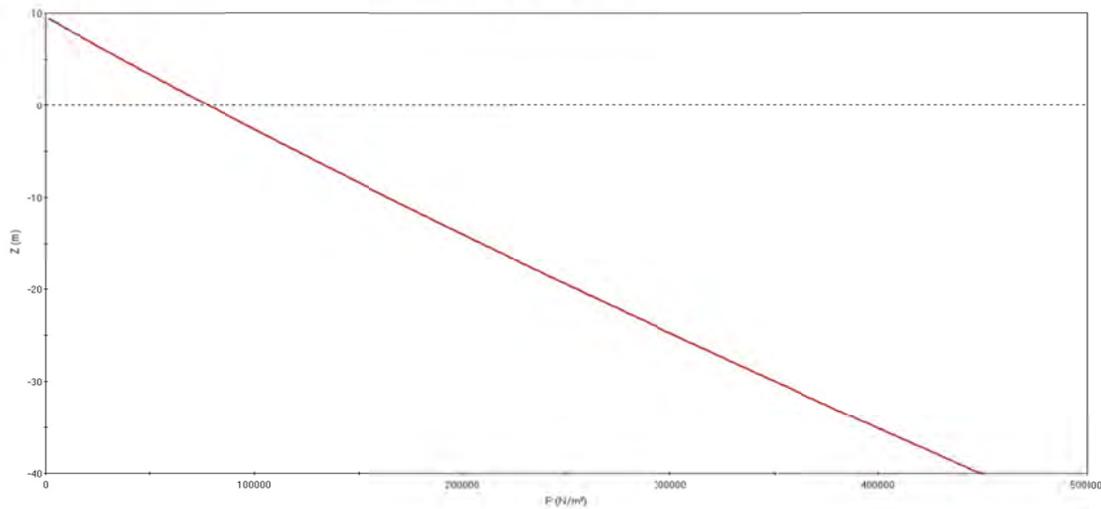
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration (az) Under Wave Crest

איור מס' 6.100 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים

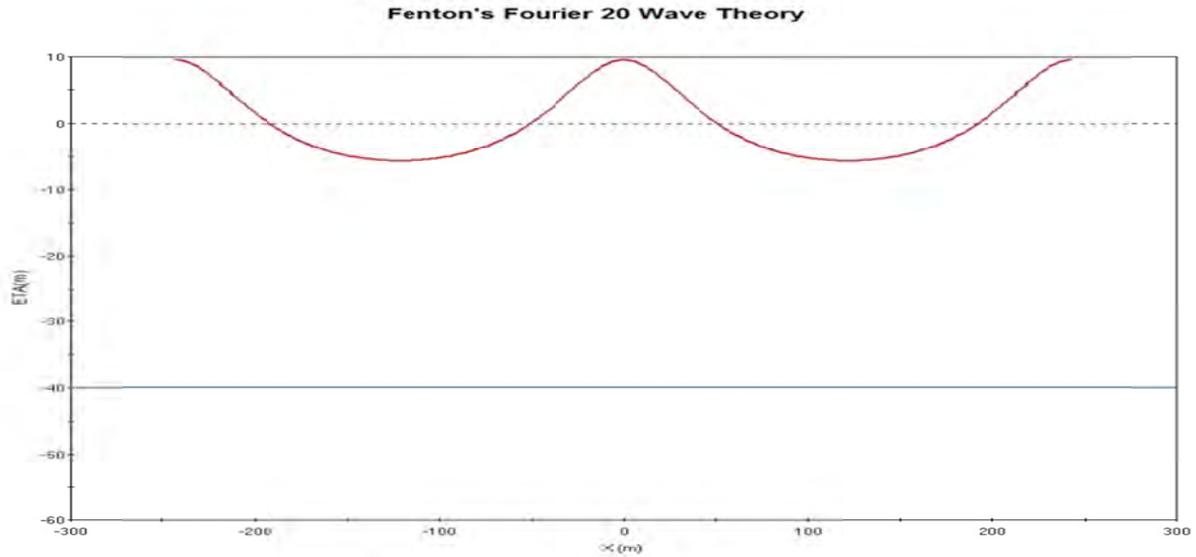
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Pressure (P) Under Wave Crest

איור מס' 6.101 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים

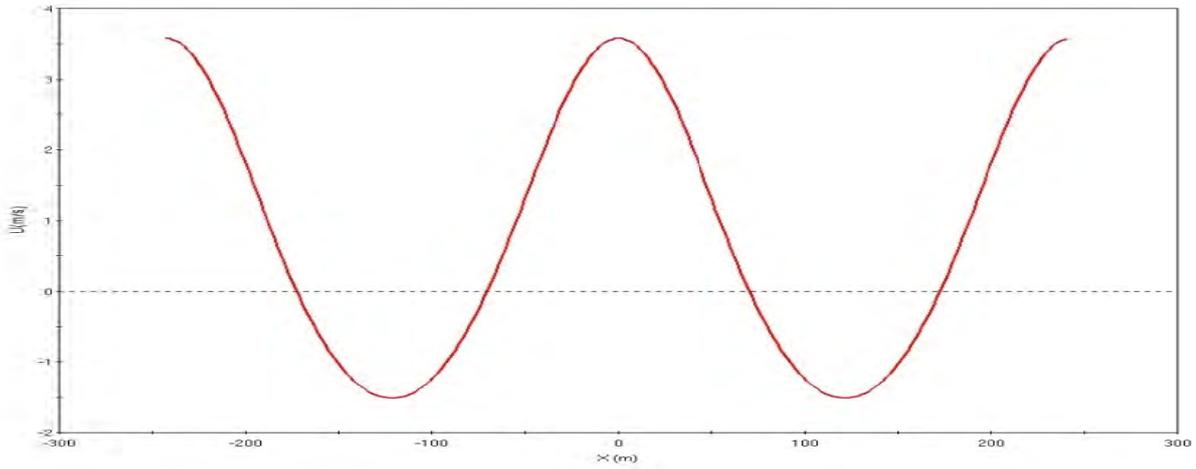




Water Surface Elevation at -32.000 m

איור מס' 6.102 – תצורת הגל על פני שני מחזורים

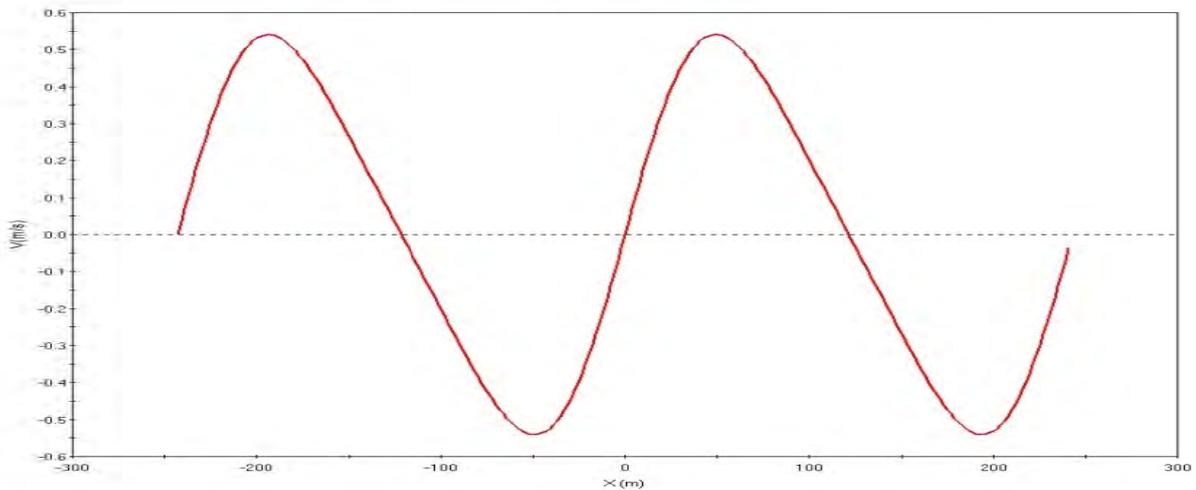
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) at -32.000 m

איור מס' 6.103 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים

Fenton's Fourier 20 Wave Theory

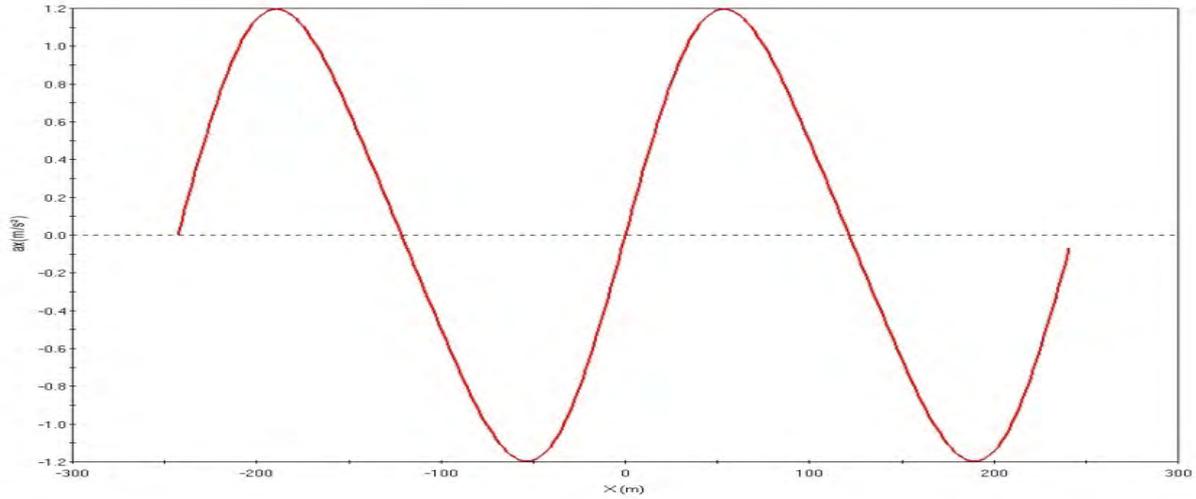


Vertical Velocity (W) at -32.000 m

איור מס' 6.104 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים



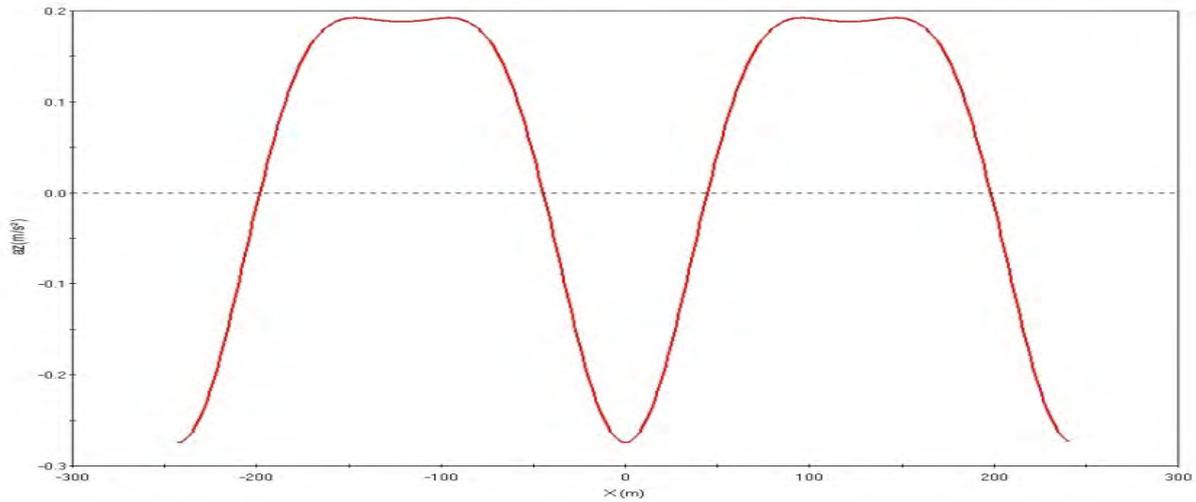
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -32.000 m

איור מס' 6.105 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים

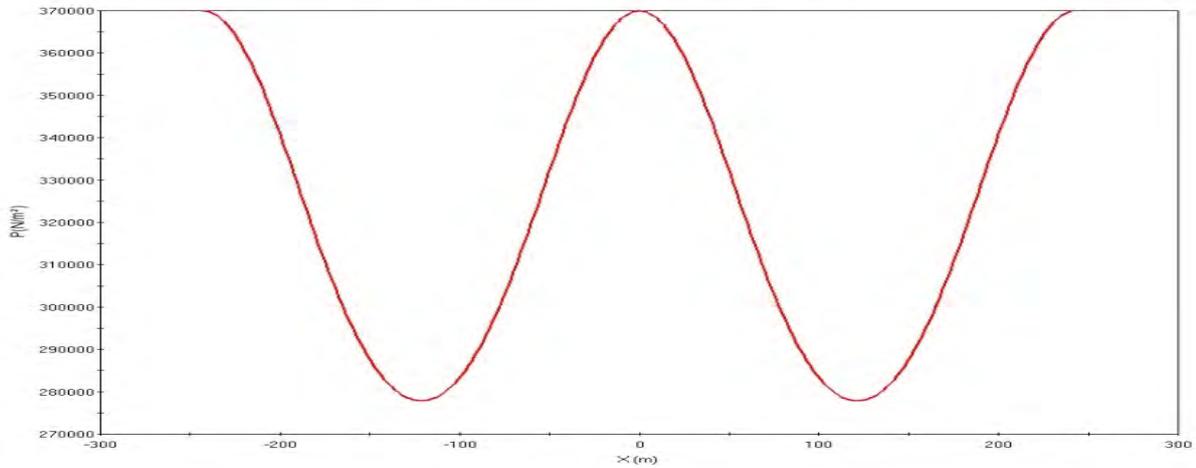
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -32.000 m

איור מס' 6.106 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים

Fenton's Fourier 20 Wave Theory

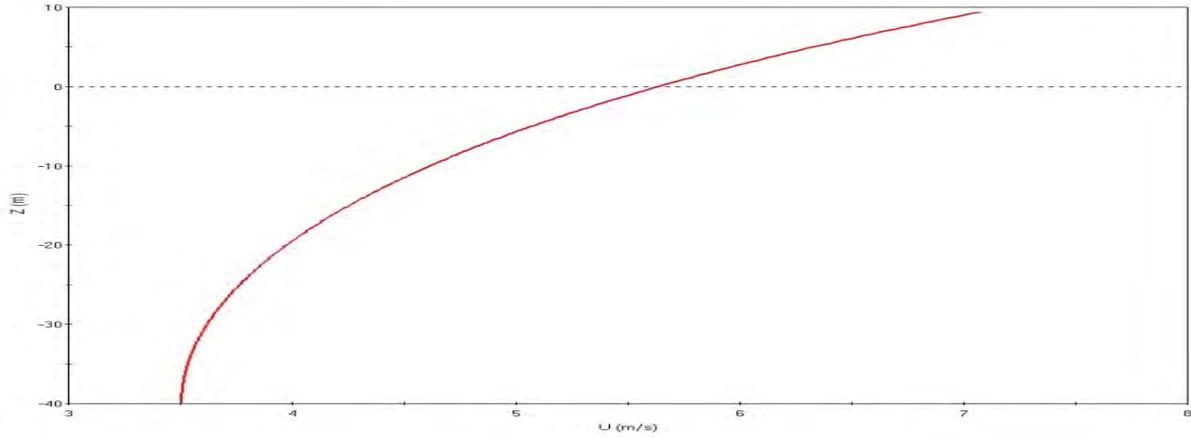


Pressure (P) at -32.000 m

איור מס' 6.107 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים



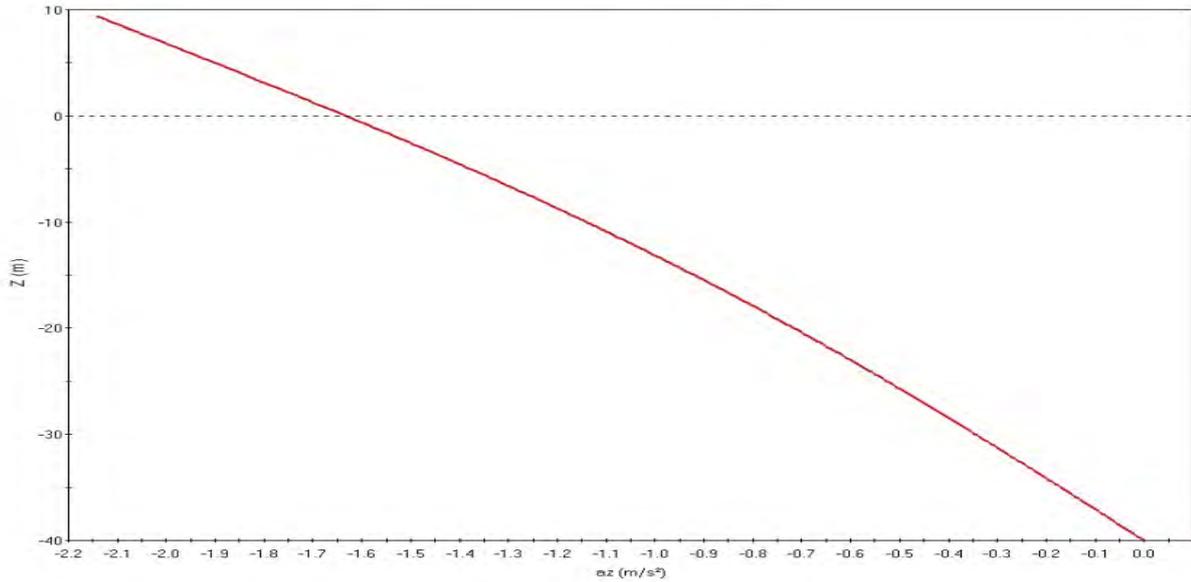
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) Under Wave Crest

איור מס' 6.108 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים

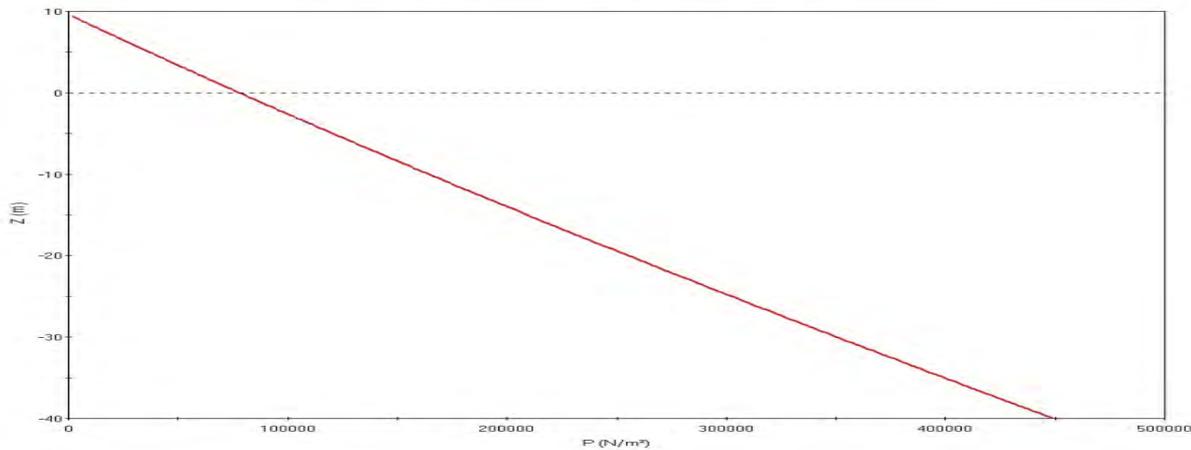
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration (az) Under Wave Crest

איור מס' 6.109 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים

Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Pressure (P) Under Wave Crest

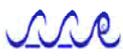
איור מס' 6.110 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים



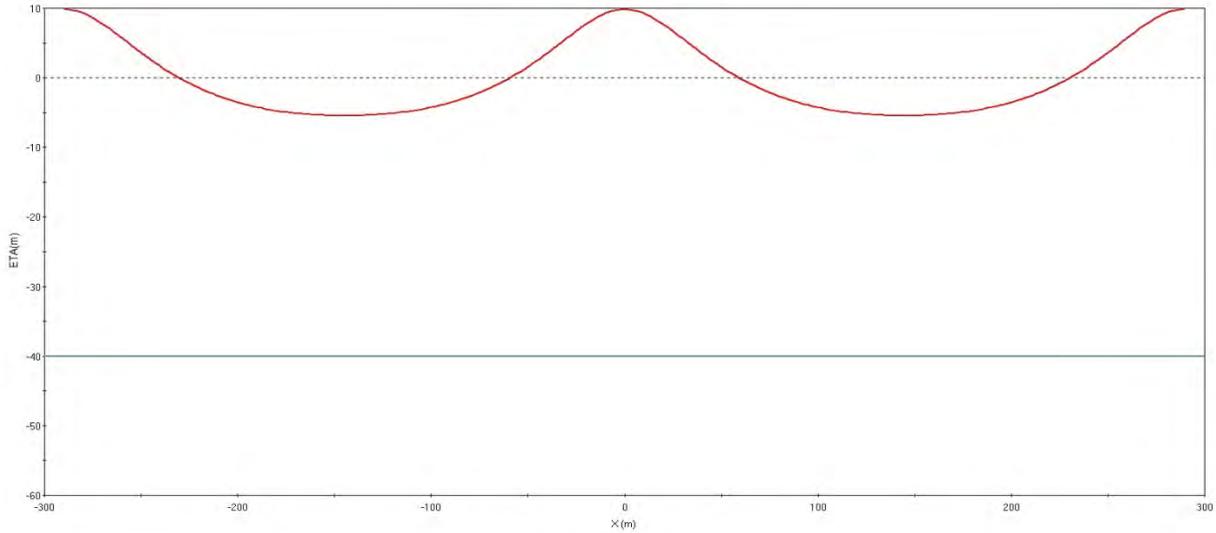
טבלה מס' 6-15

הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 15.3 מ', זמן מחזור 15.1 שני, זרם כללי של 1.00 מ' \שני, x=0, בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 50 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 10 שנה

Fenton's Fourier Series Wave Theory	
Wave height (H):	15.300 m
Wave period (T):	15.100 sec
Water depth (d):	40.000 m
Celerity def:	Stokes
Mean velocity (u):	1.000 m/sec
Breaking criteria:	0.780
Wave length (L):	289.612 m
# of terms in Fourier series:	20
Integral Parameters	
Impulse (I):	41003.5 N-s/m <sup>2</sup>
Kinetic energy (EK):	157650 N-m/m <sup>2</sup>
Potential energy (EP):	134115 N-m/m <sup>2</sup>
Energy density (EK+EP):	291765 N-m/m <sup>2</sup>
Mean square of bed velocity (U <sub>b</sub> ):	4.01311 m/sec
Solution surface elevation (crest...trough):	9.85612 m
Fourier coefficients b(I)	1.20
Kinematics/derived values	
Horizontal	
Interest point (x/L,z)	0
Velocity:	3.98163
Acceleration:	0
Vertical	
Pressure:	280918 N/m <sup>2</sup>
Water surface elevation:	9.85612 m
Celerity (C):	19.180 m/sec
Mean eulerian flood velocity:	0.632 m/sec
Mean mass transport velocity:	1.000 m/sec
Mean velocity relative to wave:	18.548 m/sec
Volume flux due to wave:	14.719 m <sup>2</sup> /sec
Bernoulli constant:	173.813 m <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
Radiation stress (S <sub>xx</sub> ):	340975 N-m/m <sup>2</sup>
Energy flux (F):	4.59264e+006 N-m/s-m
Volume flux (Q):	727.184 m <sup>2</sup> /sec
Bernoulli constant (R):	566.03 m <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
6.74124e-005	-1.9182e-005
1.98494e-008	-1.5012e-009
6.66619e-012	2.60938e-013
1.93658e-015	2.83527e-016
0.0228189	0.00222512
4.85857e-007	1.80162e-007
-1.96759e-011	2.85282e-011
-3.15678e-014	2.68362e-015
0.175776	0.00222512
-2.18153e-006	1.80162e-007
-6.89917e-010	2.85282e-011
-1.70493e-013	2.68362e-015
Units	
	m
	m/sec
	m/sec <sup>2</sup>



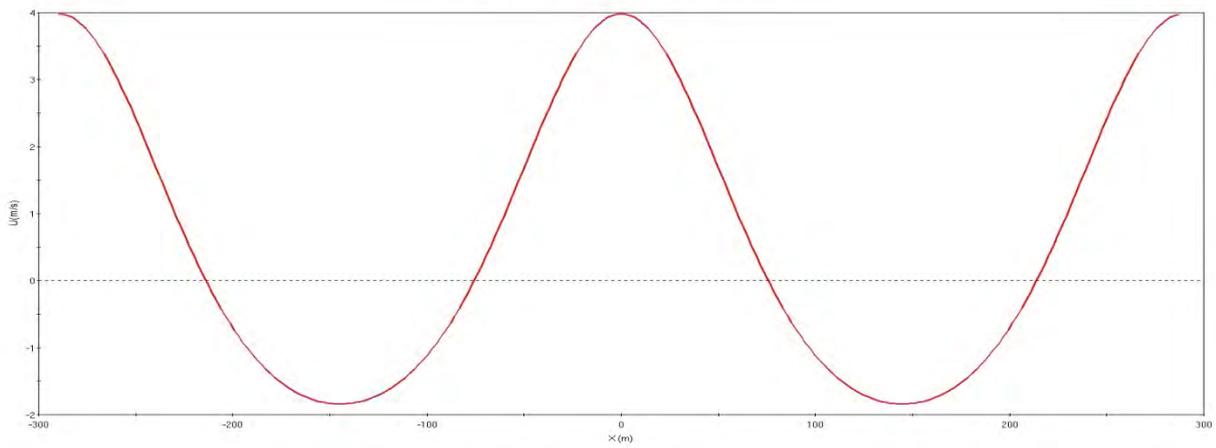
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Water Surface Elevation at -22.000 m

**איור מס' 6.111 – תצורת הגל על פני שני מחזורים**

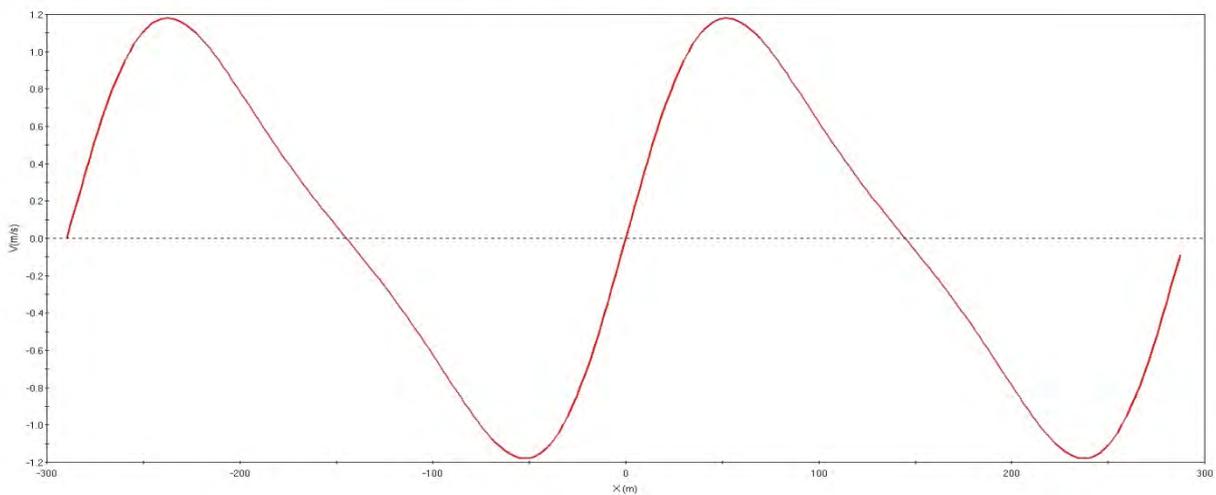
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) at -22.000 m

**איור מס' 6.112 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים**

Fenton's Fourier 20 Wave Theory

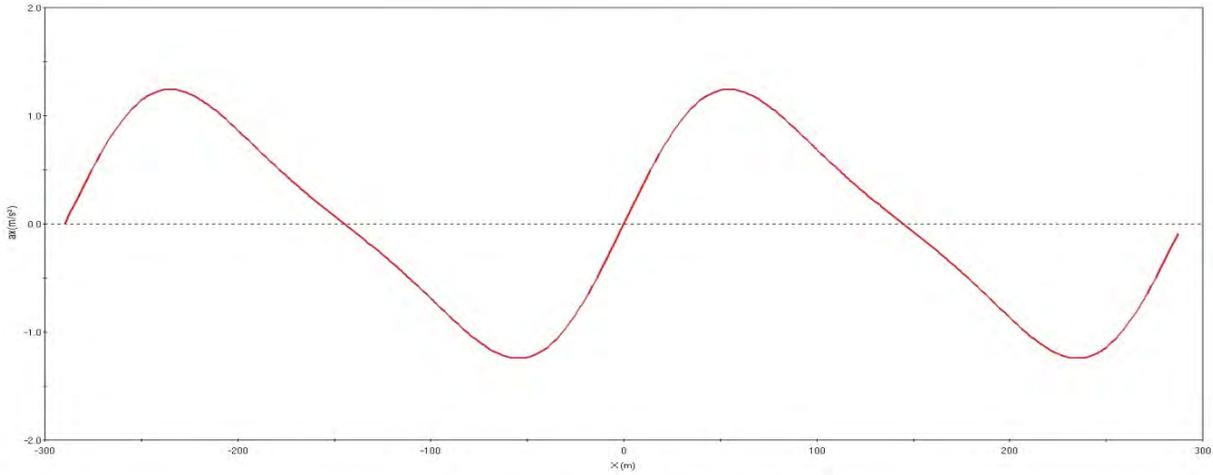


Vertical Velocity (W) at -22.000 m

**איור מס' 6.113 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים**



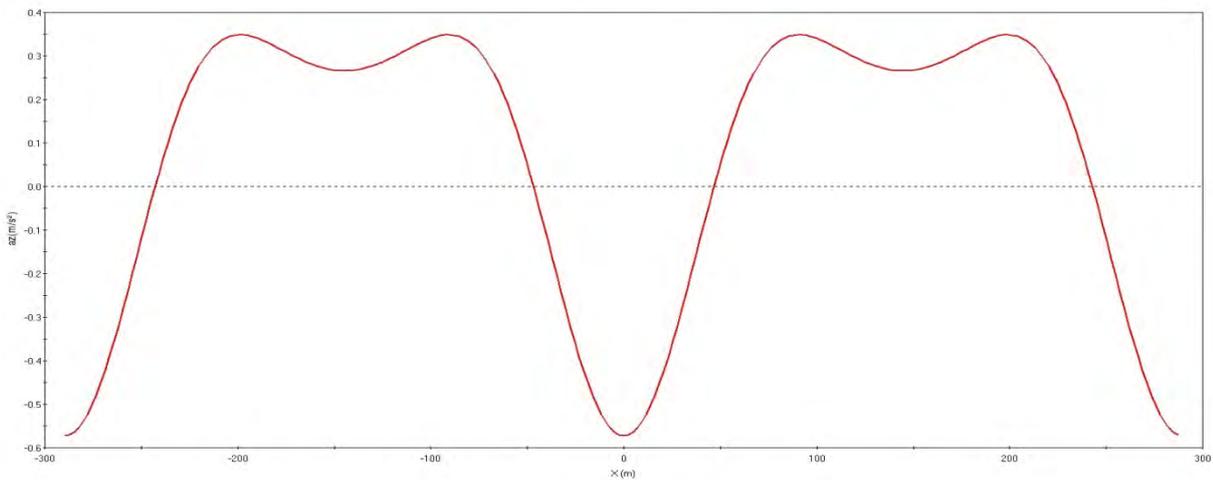
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -22.000 m

**איור מס' 6.114 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים**

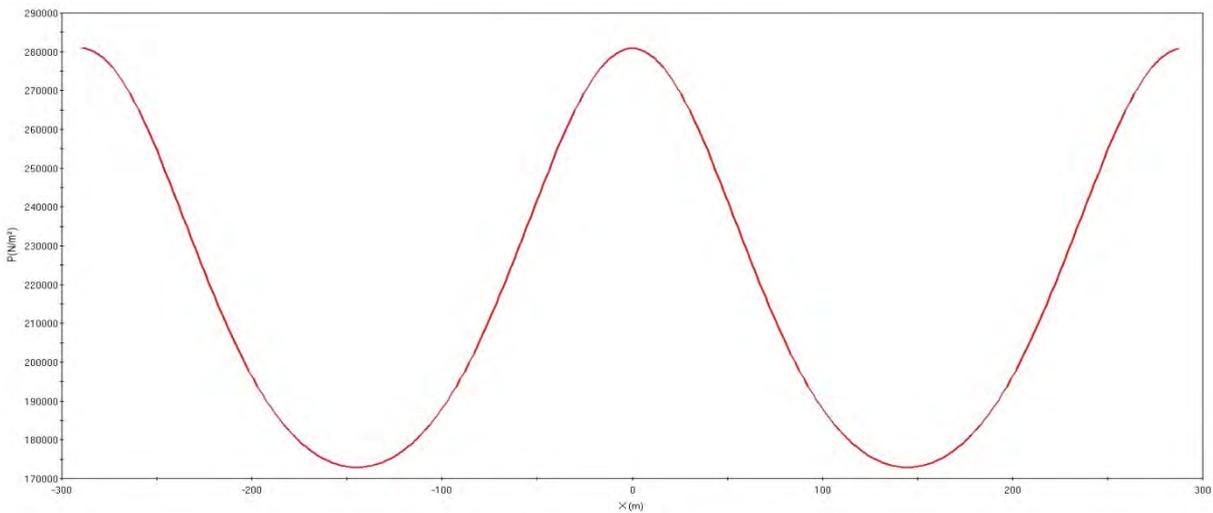
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -22.000 m

**איור מס' 6.115 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים**

Fenton's Fourier 20 Wave Theory



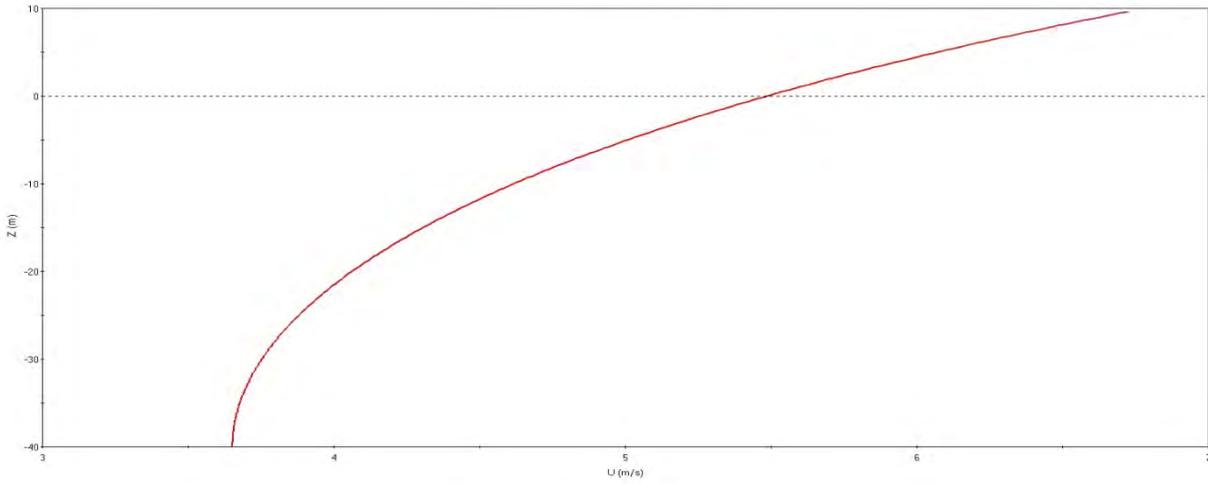
Pressure (P) at -22.000 m

**איור מס' 6.116 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים**





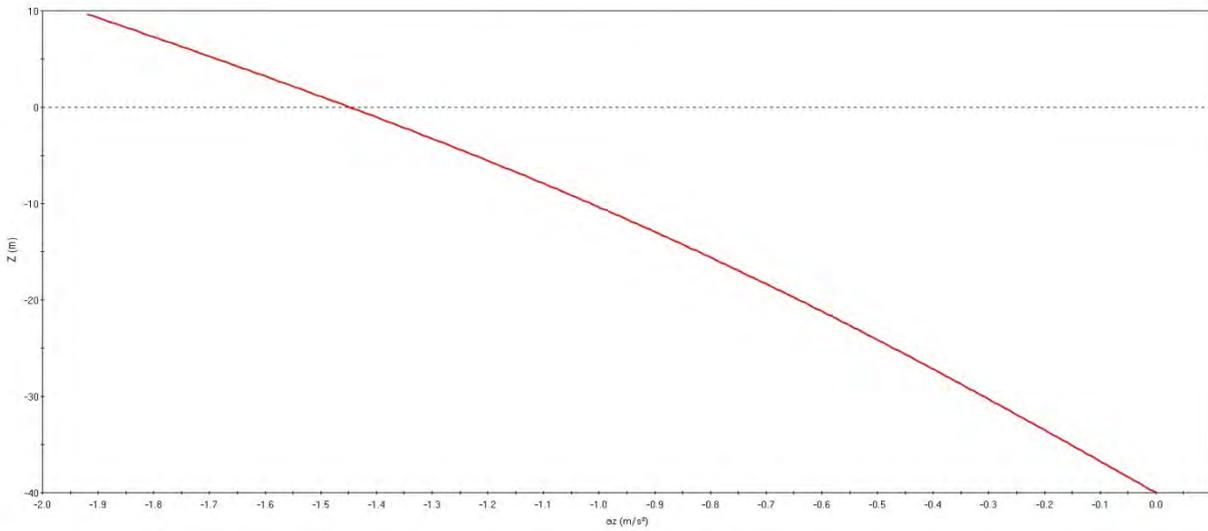
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) Under Wave Crest

**איור מס' 6.117 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים**

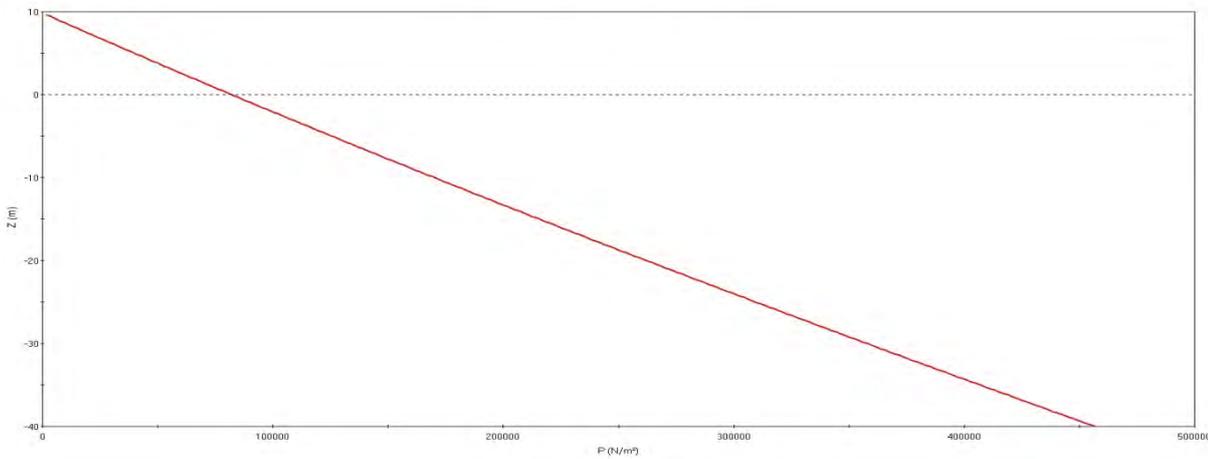
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration (az) Under Wave Crest

**איור מס' 6.118 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים**

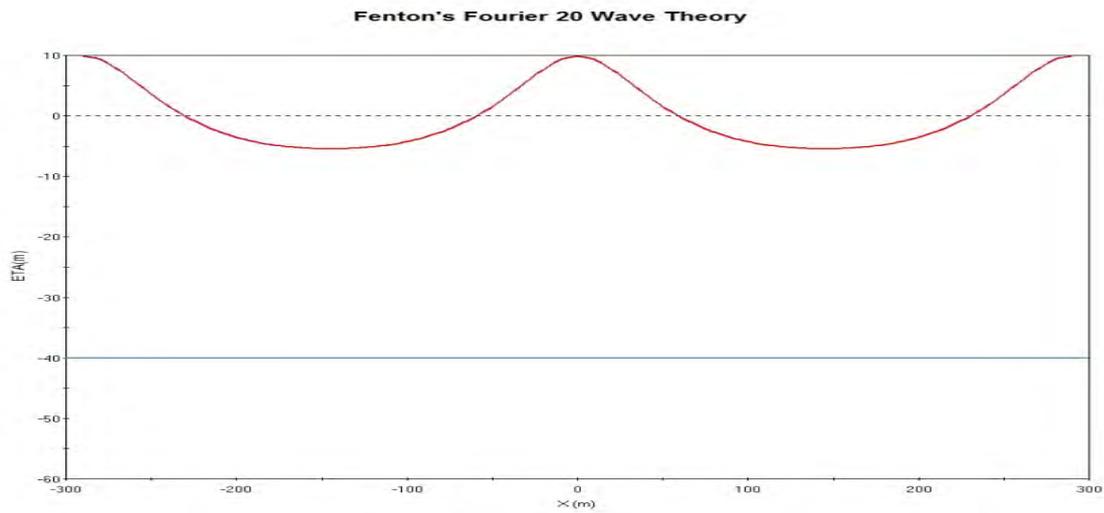
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Pressure (P) Under Wave Crest

**איור מס' 6.119 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים**

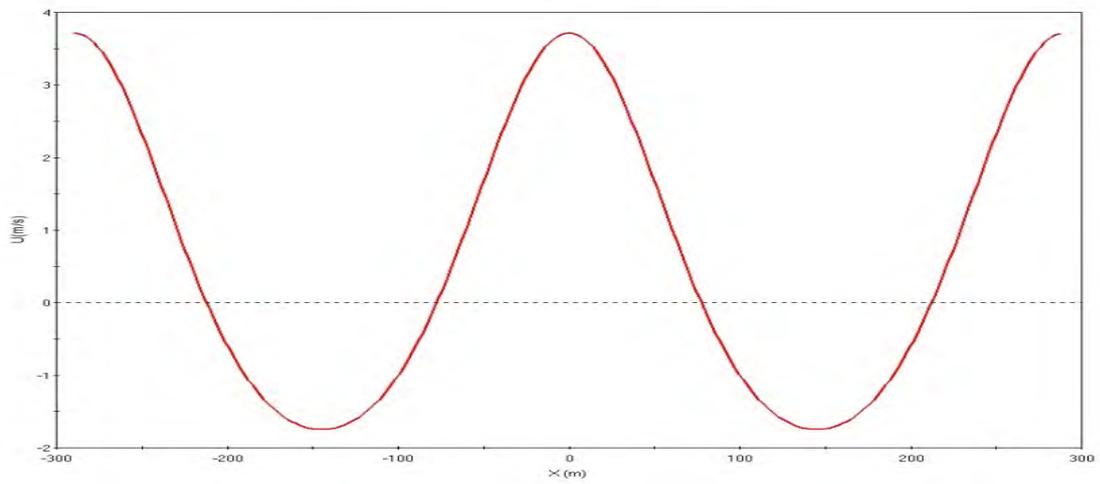




Water Surface Elevation at -32.000 m

איור מס' 6.120 – תצורת הגל על פני שני מחזורים

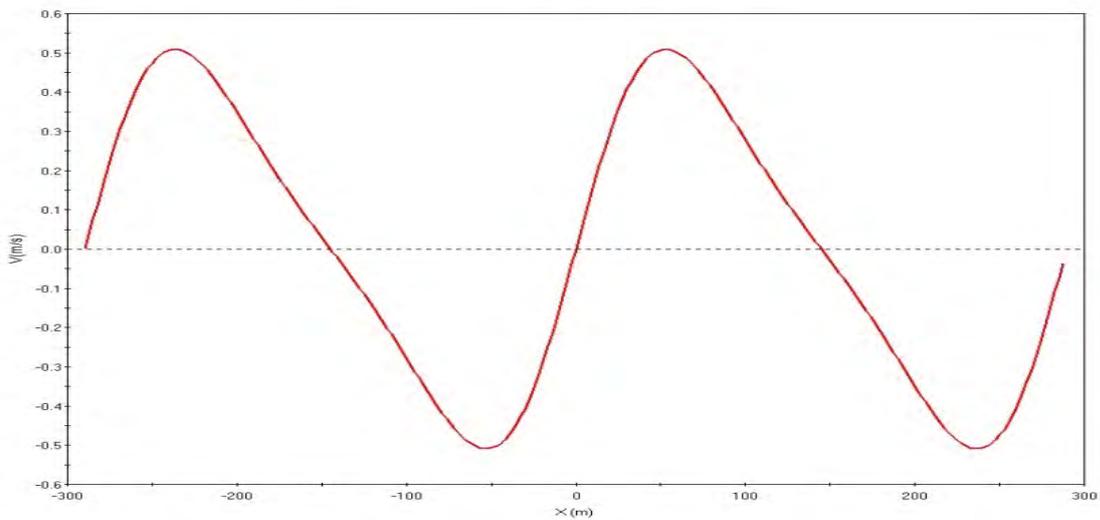
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) at -32.000 m

איור מס' 6.121 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים

Fenton's Fourier 20 Wave Theory

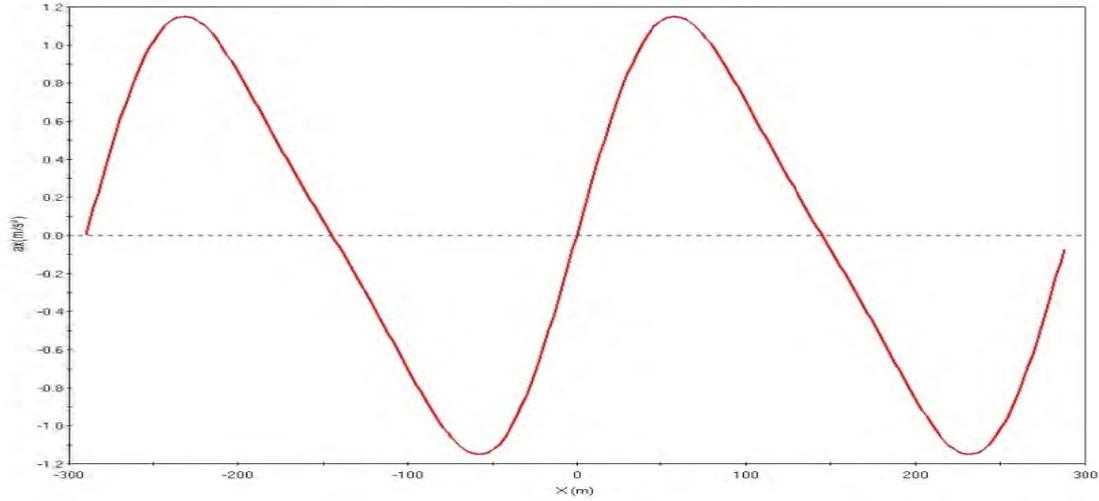


Vertical Velocity (W) at -32.000 m

איור מס' 6.122 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים



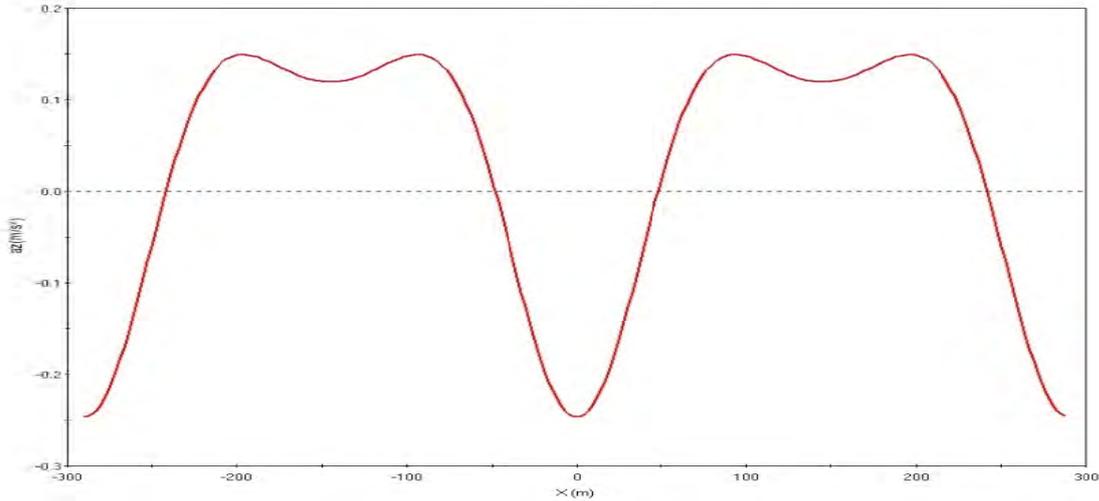
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -32.000 m

איור מס' 6.123 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים

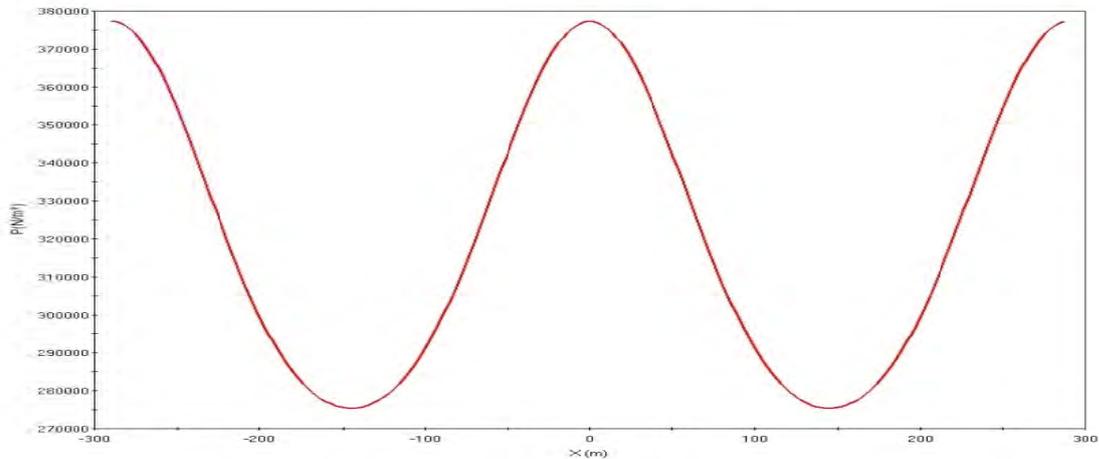
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -32.000 m

איור מס' 6.124 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים

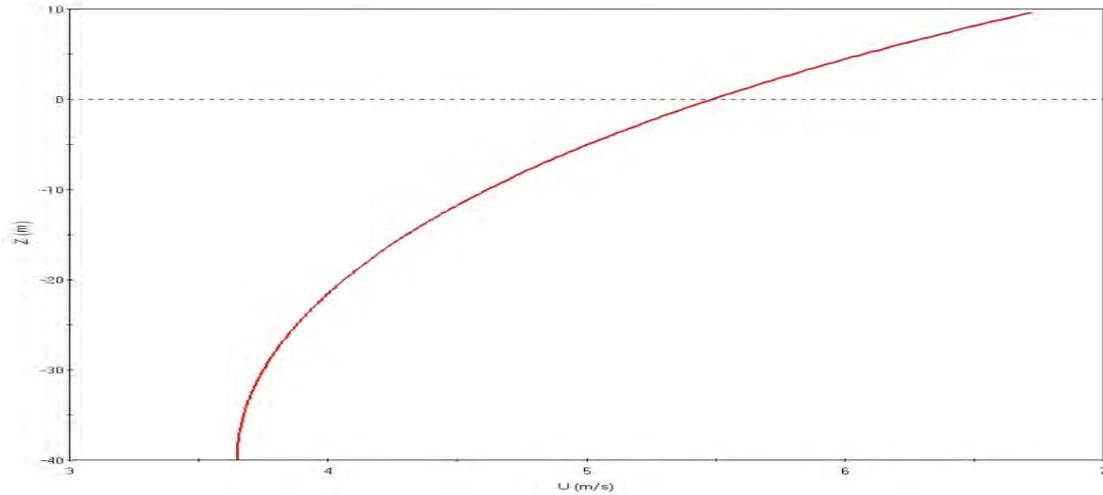
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Pressure (P) at -32.000 m

איור מס' 6.125 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים

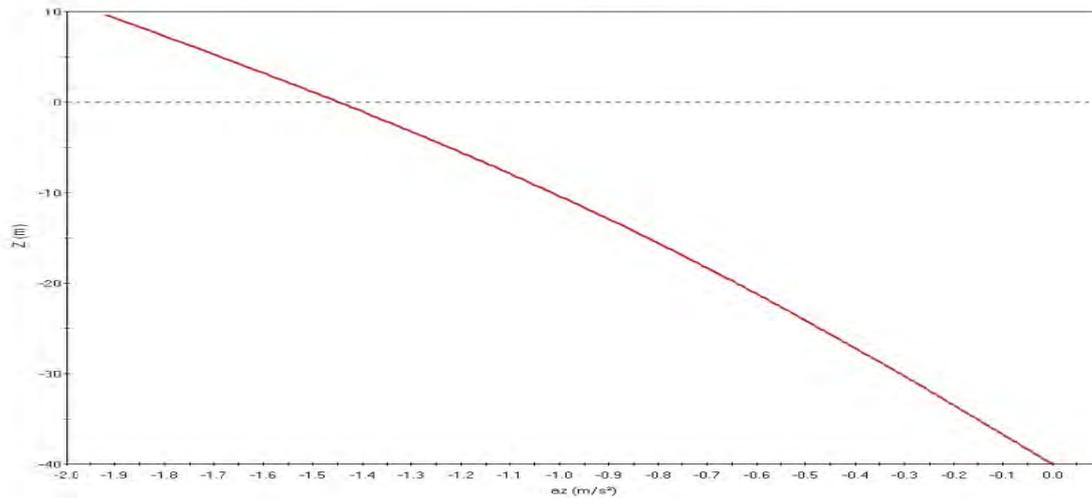
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) Under Wave Crest

איור מס' 6.126 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים

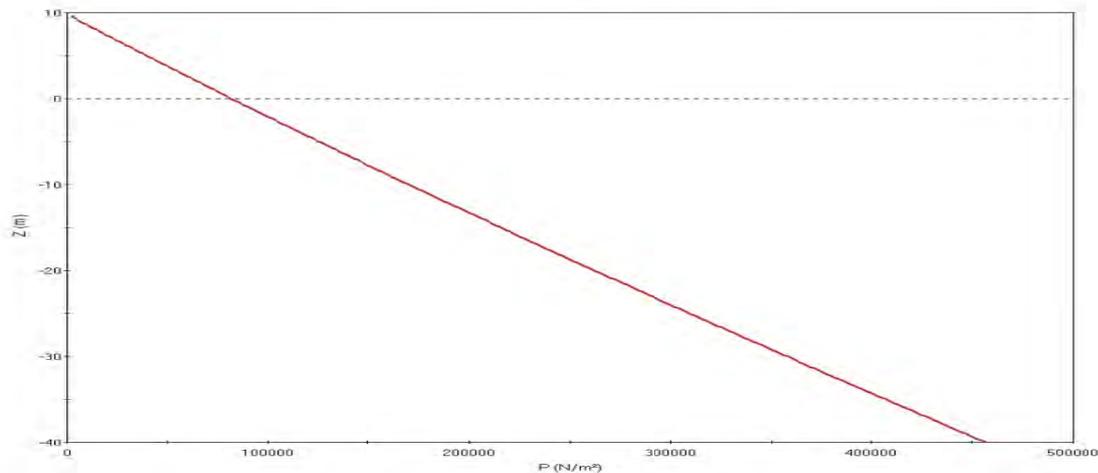
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration (az) Under Wave Crest

איור מס' 6.127 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים

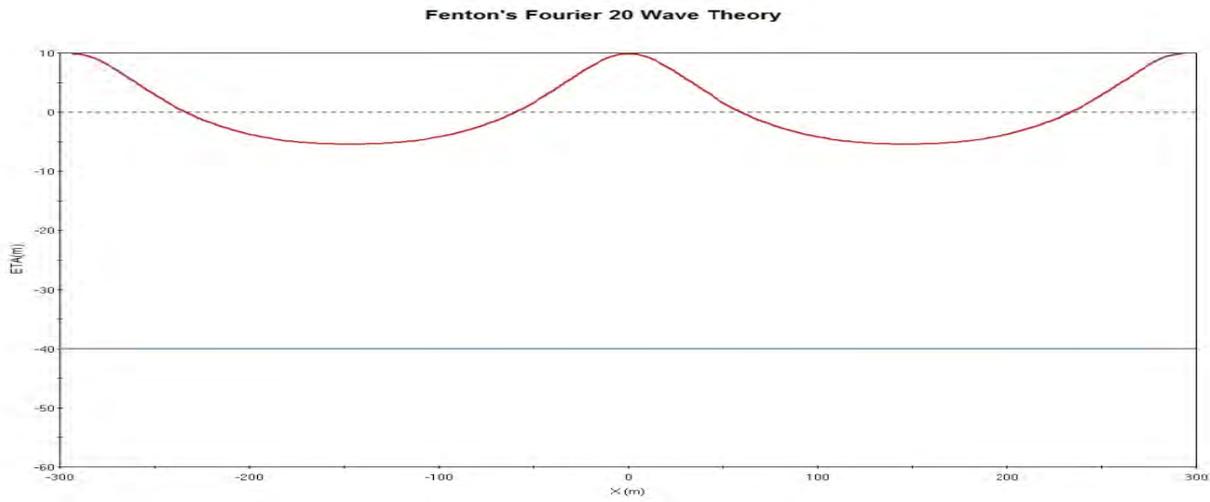
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



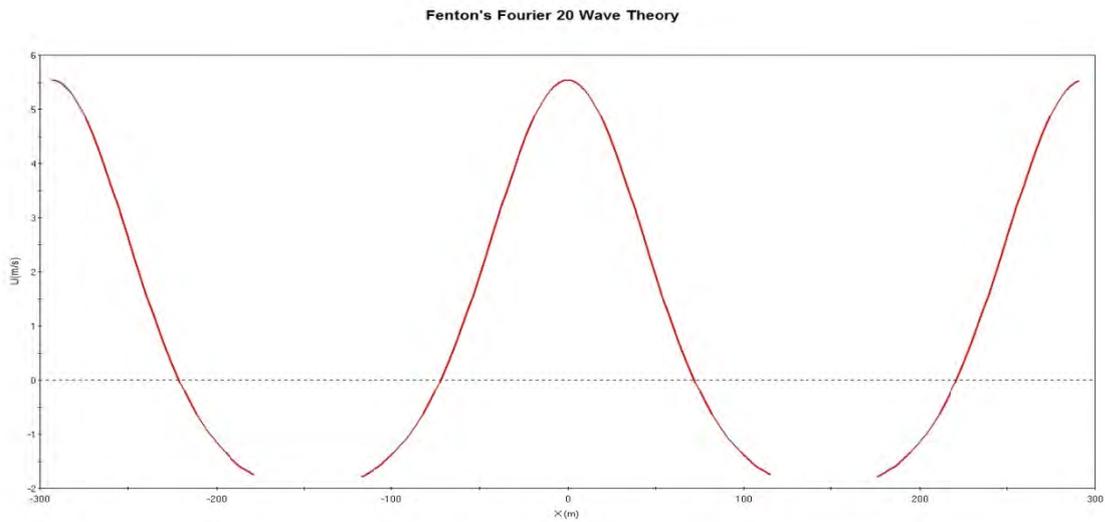
Pressure (P) Under Wave Crest

איור מס' 6.128 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים

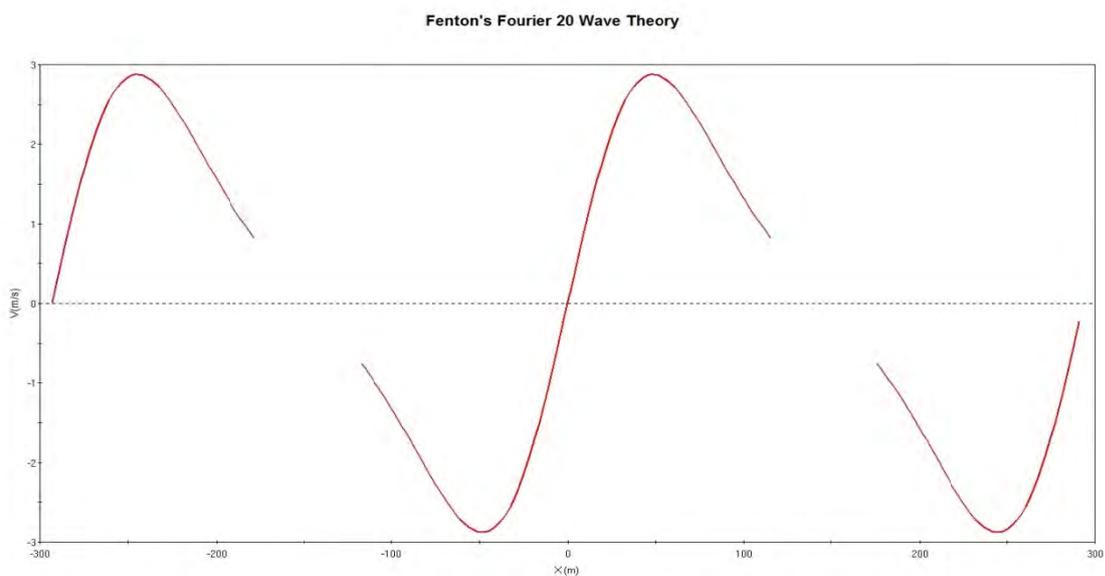




Water Surface Elevation at -22.000 m  
איור מס' 6.129 – תצורת הגל על פני שני מחזורים



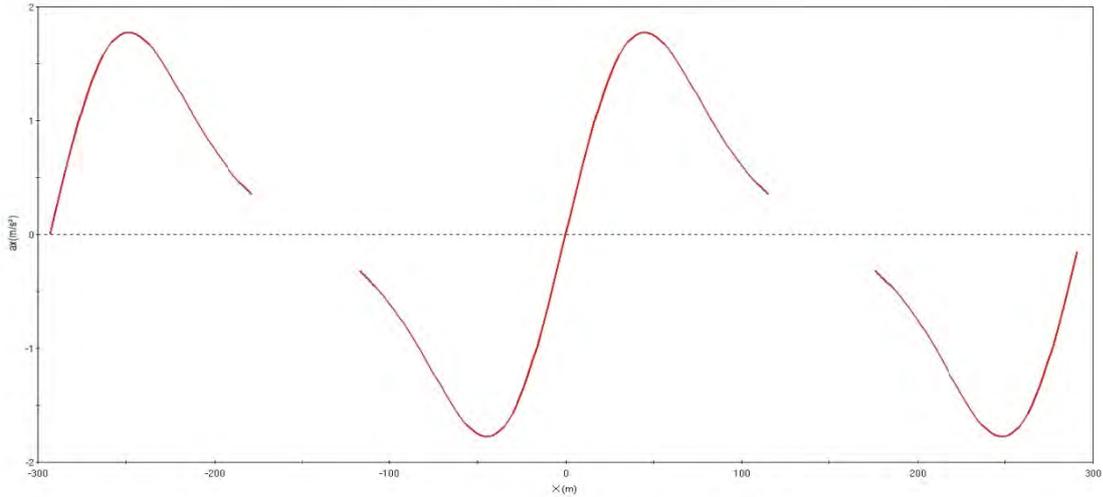
Horizontal Velocity (U) at -22.000 m  
איור מס' 6.130 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים



Vertical Velocity (W) at -22.000 m  
איור מס' 6.131 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים



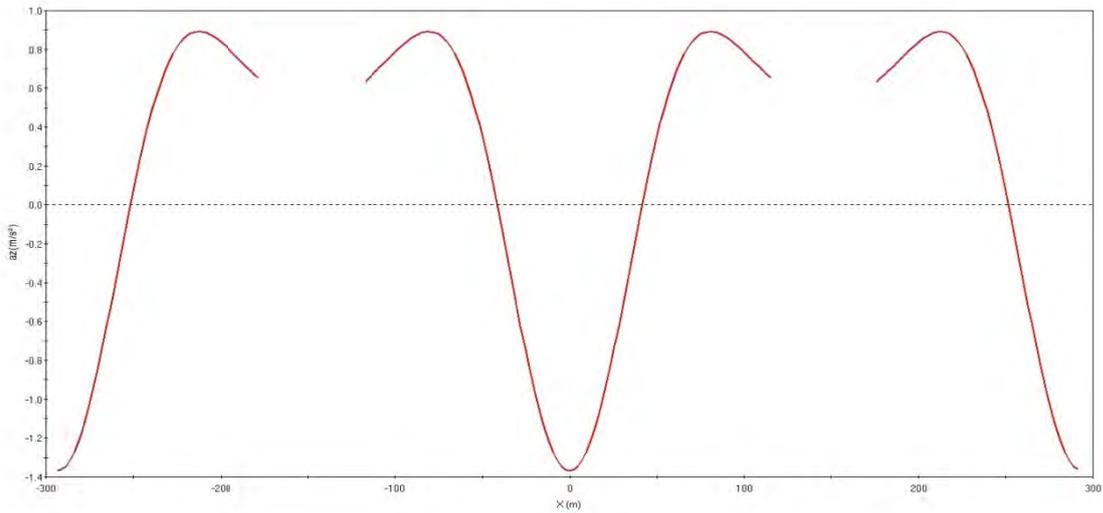
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -22.000 m

**איור מס' 6.132 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים**

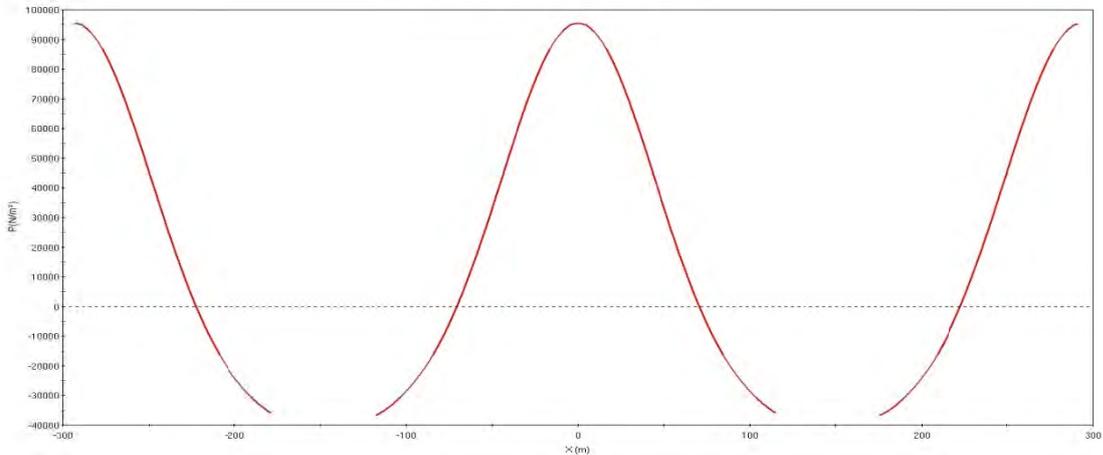
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -22.000 m

**איור מס' 6.133 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים**

Fenton's Fourier 20 Wave Theory



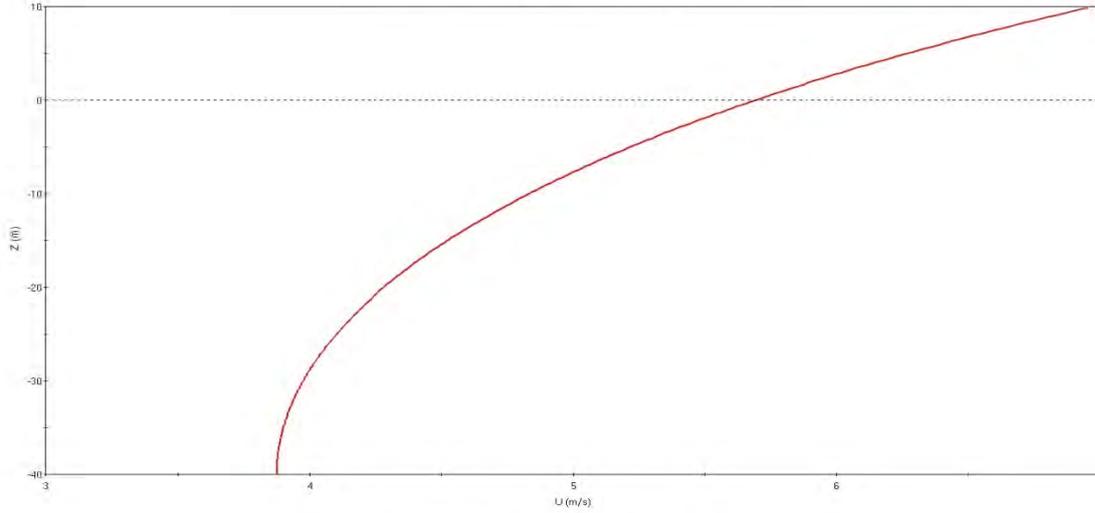
Pressure (P) at -22.000 m

**איור מס' 6.134 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים**





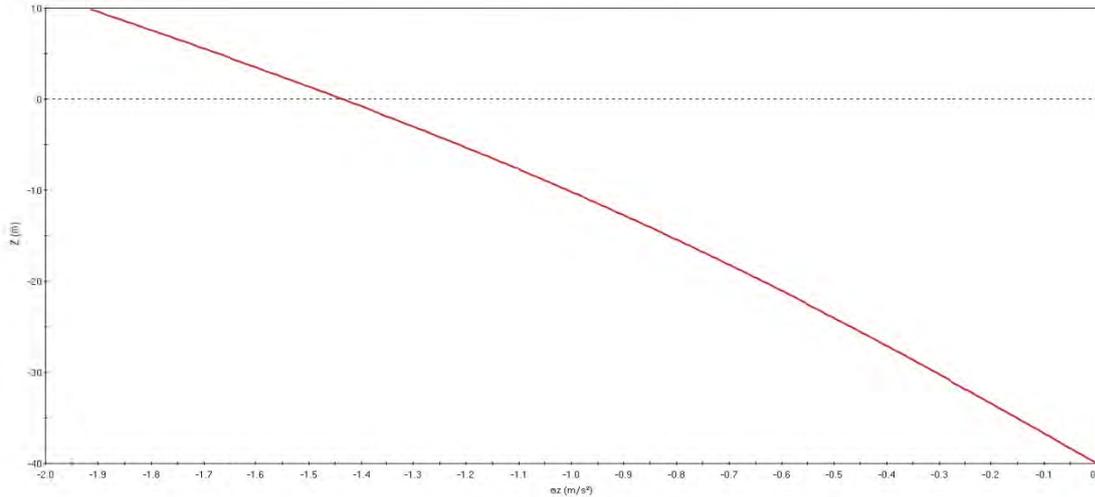
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) Under Wave Crest

**איור מס' 6.135 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים**

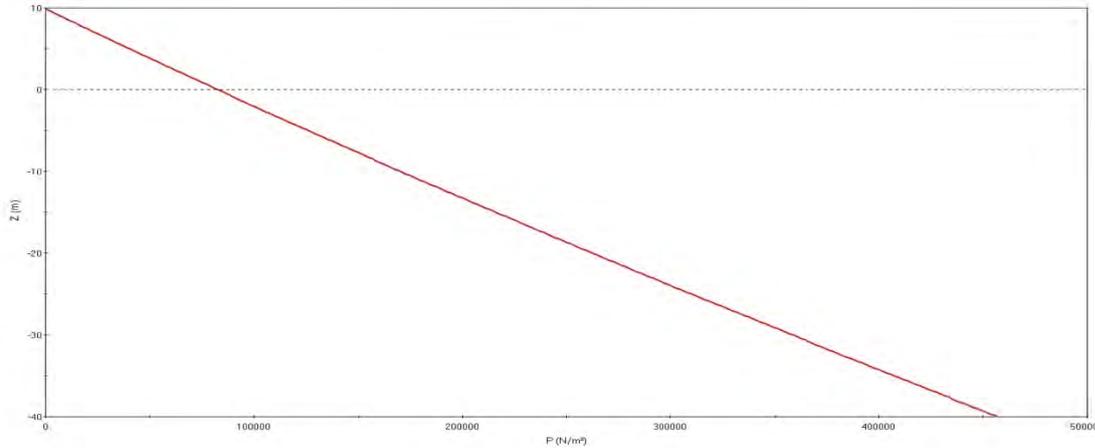
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration (az) Under Wave Crest

**איור מס' 6.136 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים**

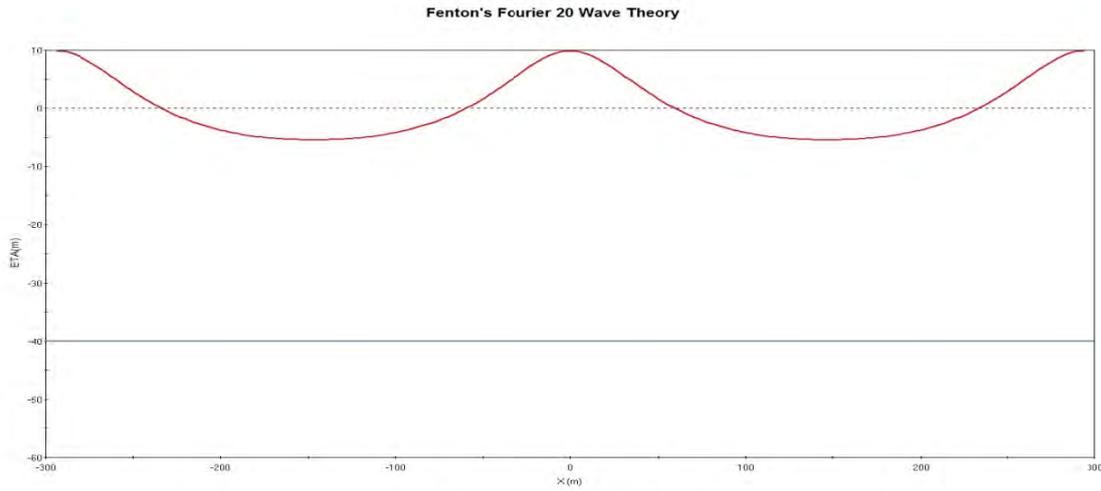
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



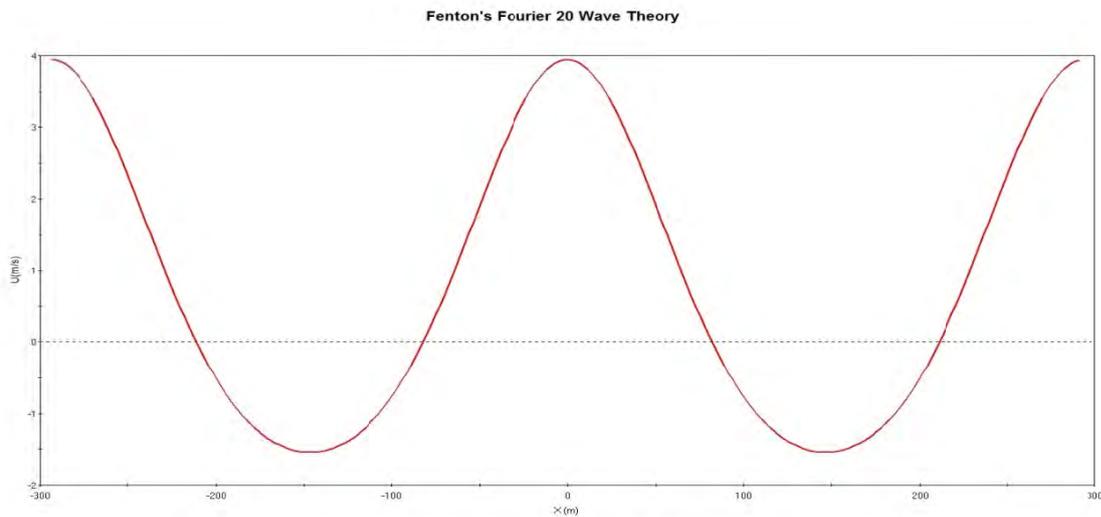
Pressure (P) Under Wave Crest

**איור מס' 6.137 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים**

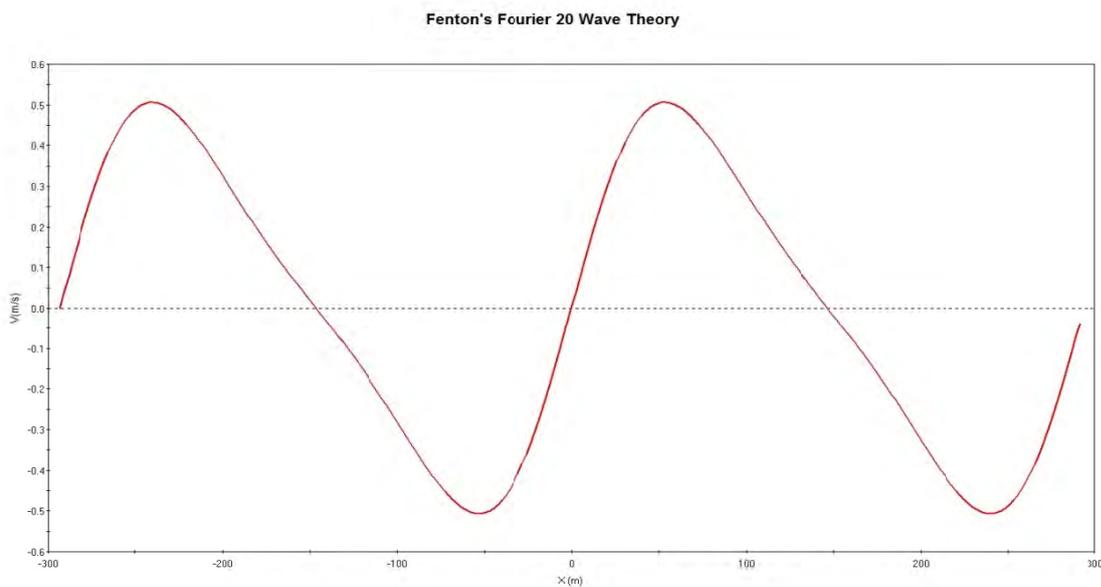




איור מס' 6.138 – תצורת הגל על פני שני מחזורים



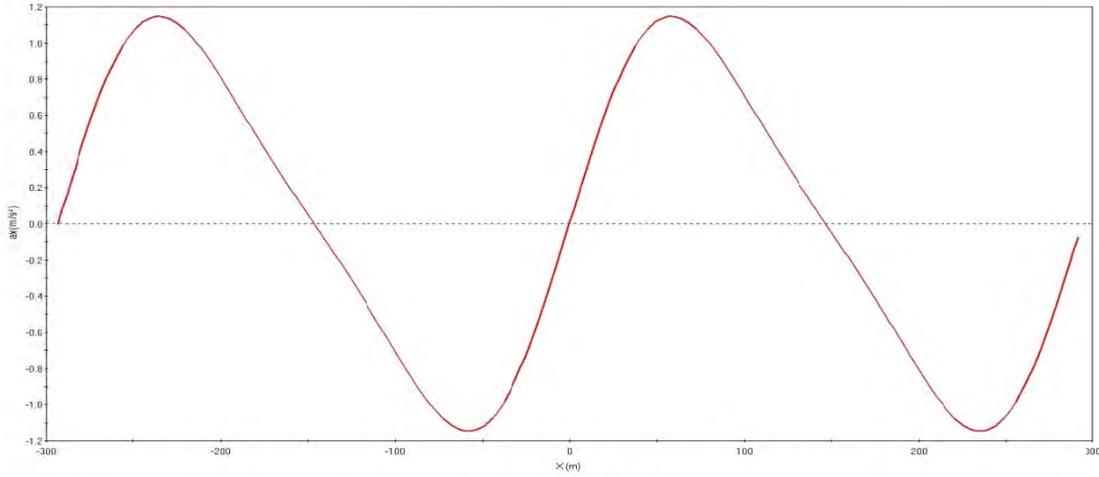
איור מס' 6.139 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים



איור מס' 6.140 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים



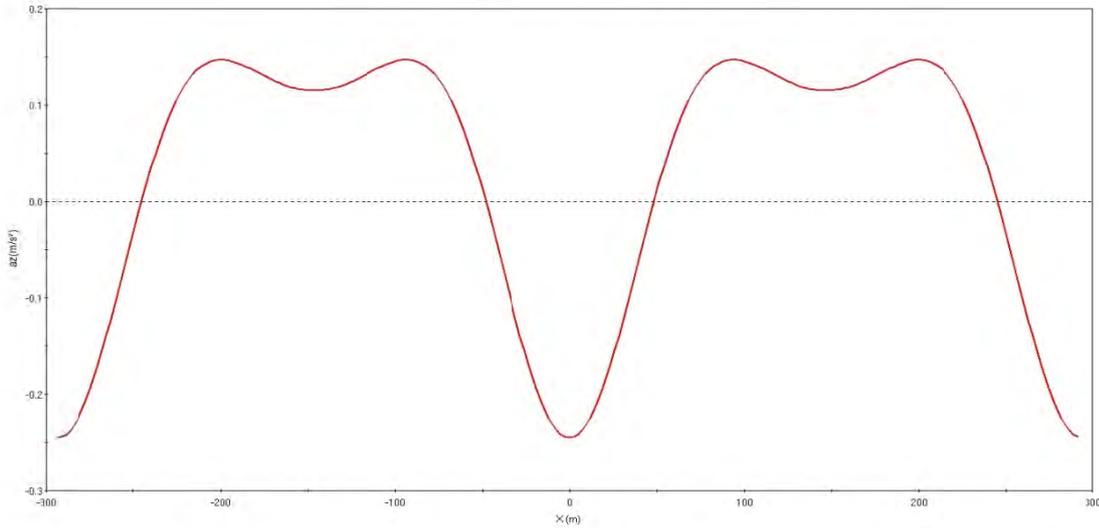
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -32.000 m

**איור מס' 6.141 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים**

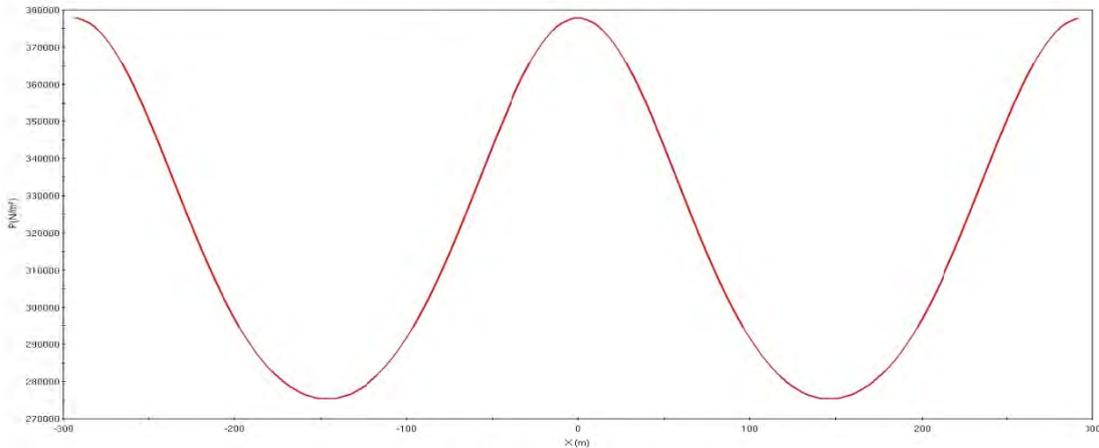
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -32.000 m

**איור מס' 6.142 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים**

Fenton's Fourier 20 Wave Theory

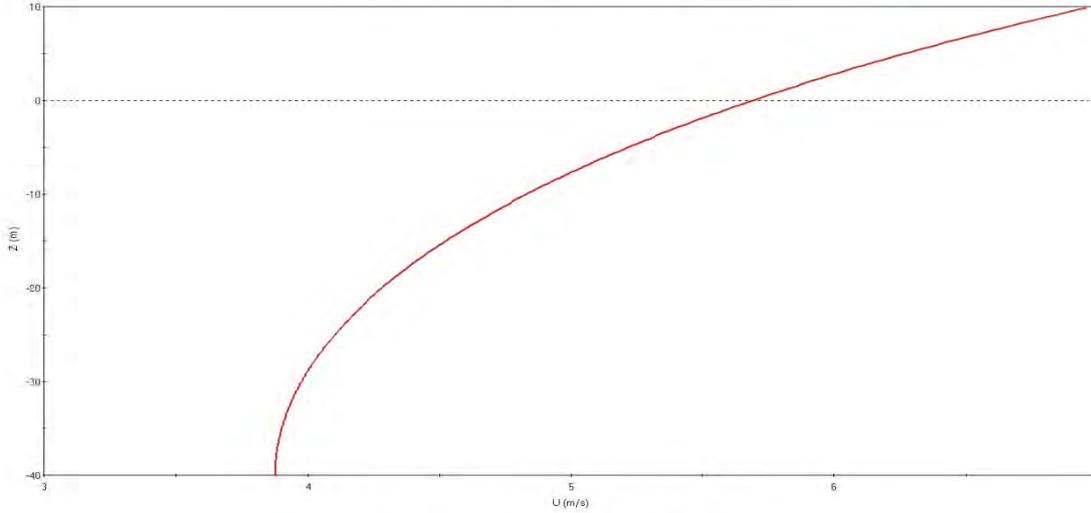


Pressure (P) at -32.000 m

**איור מס' 6.143 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים**



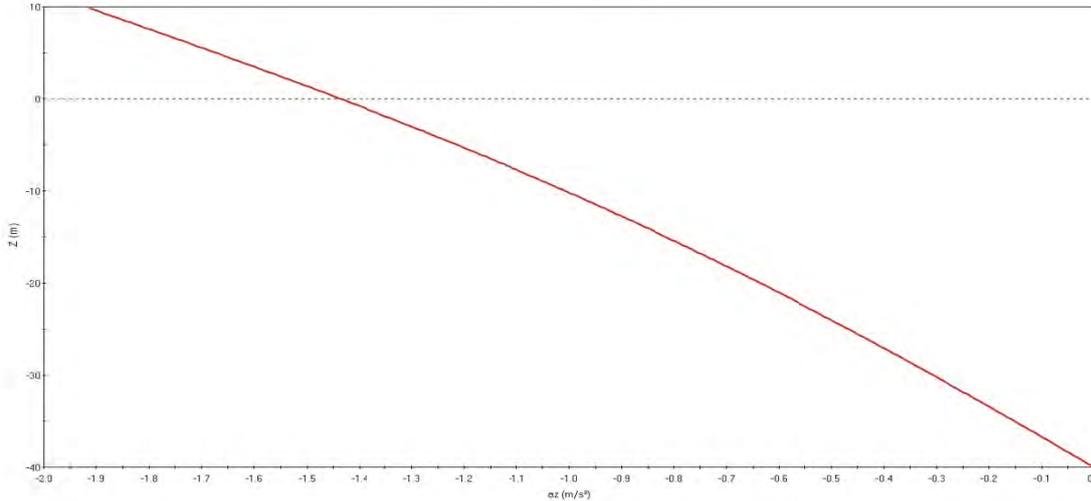
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) Under Wave Crest

איור מס' 6.144 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים

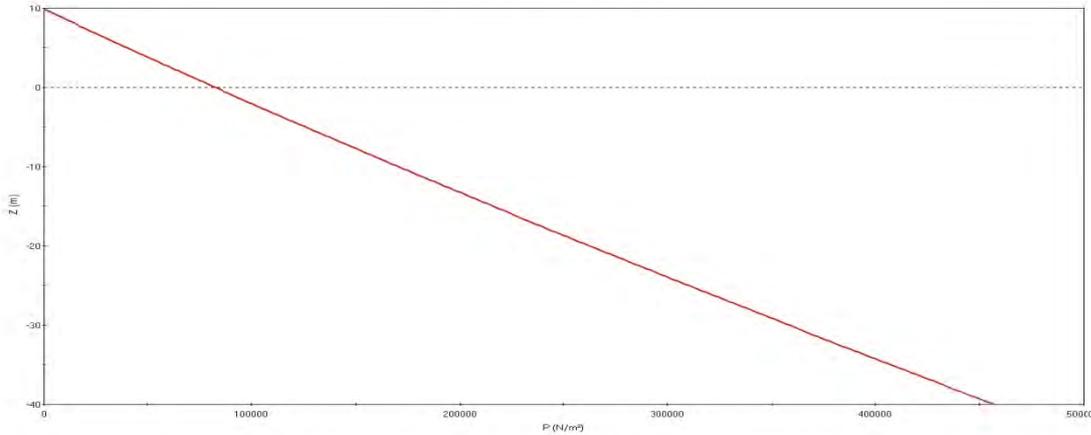
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration (az) Under Wave Crest

איור מס' 6.145 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים

Fenton's Fourier 20 Wave Theory



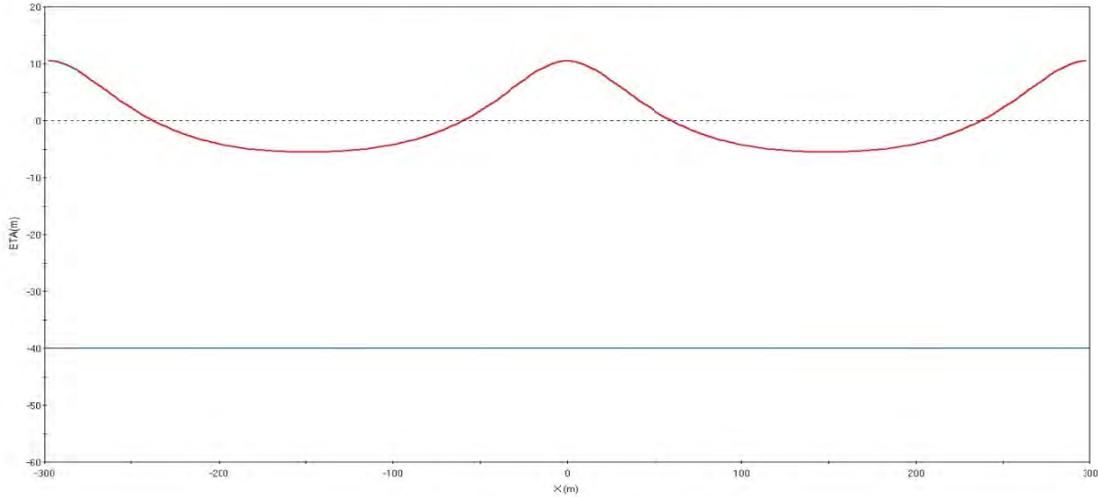
Pressure (P) Under Wave Crest

איור מס' 6.146 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים





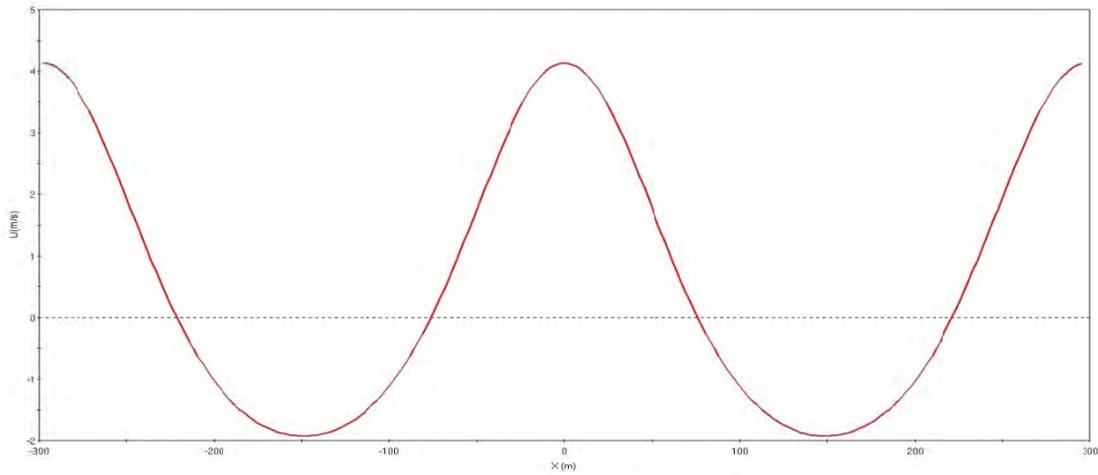
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Water Surface Elevation at -22.000 m

**איור מס' 6.147 – תצורת הגל על פני שני מחזורים**

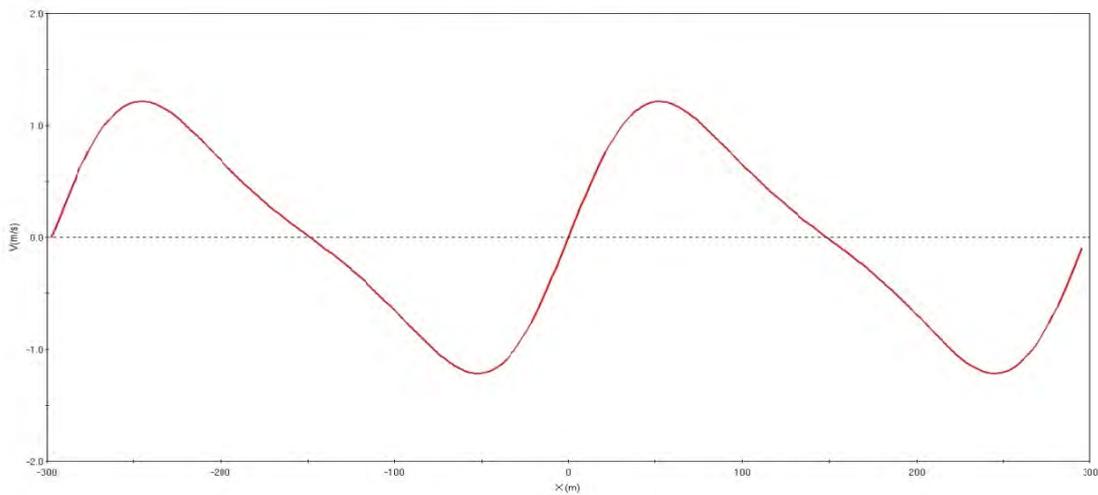
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) at -22.000 m

**איור מס' 6.148 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים**

Fenton's Fourier 20 Wave Theory

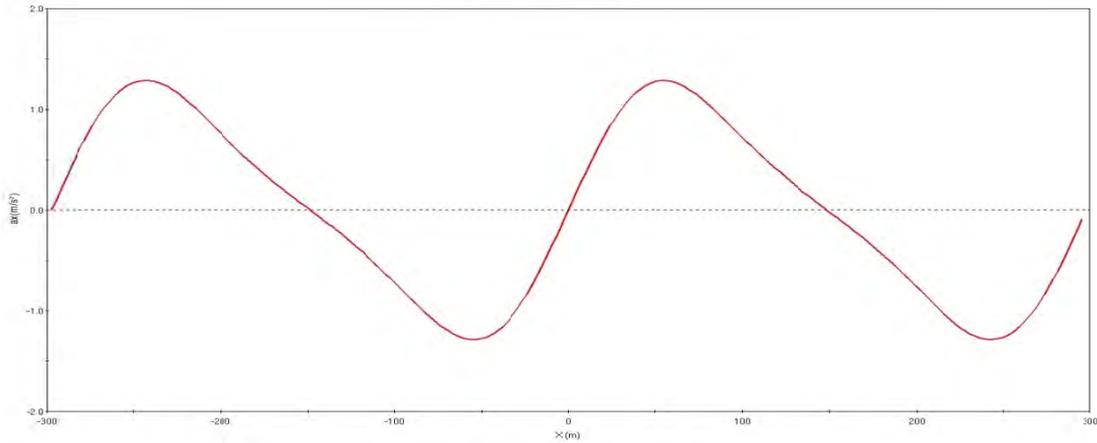


Vertical Velocity (W) at -22.000 m

**איור מס' 6.149 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים**



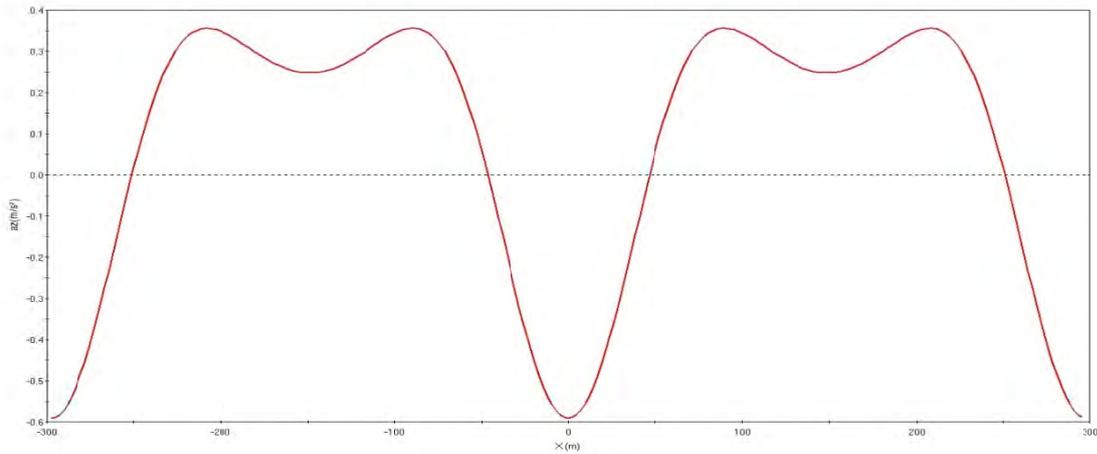
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -22.000 m

**איור מס' 6.150 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים**

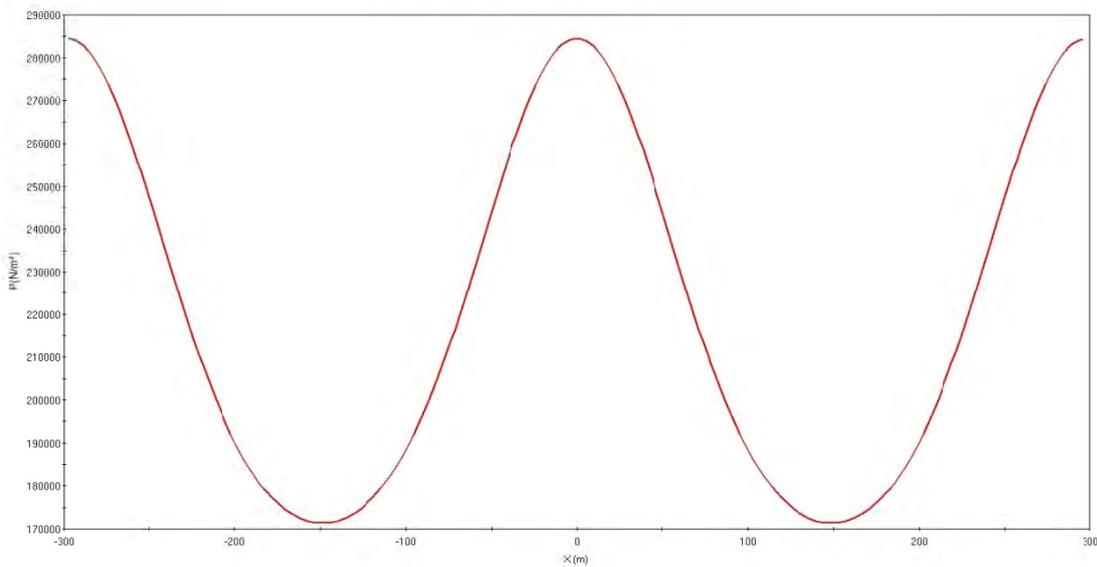
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -22.000 m

**איור מס' 6.151 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים**

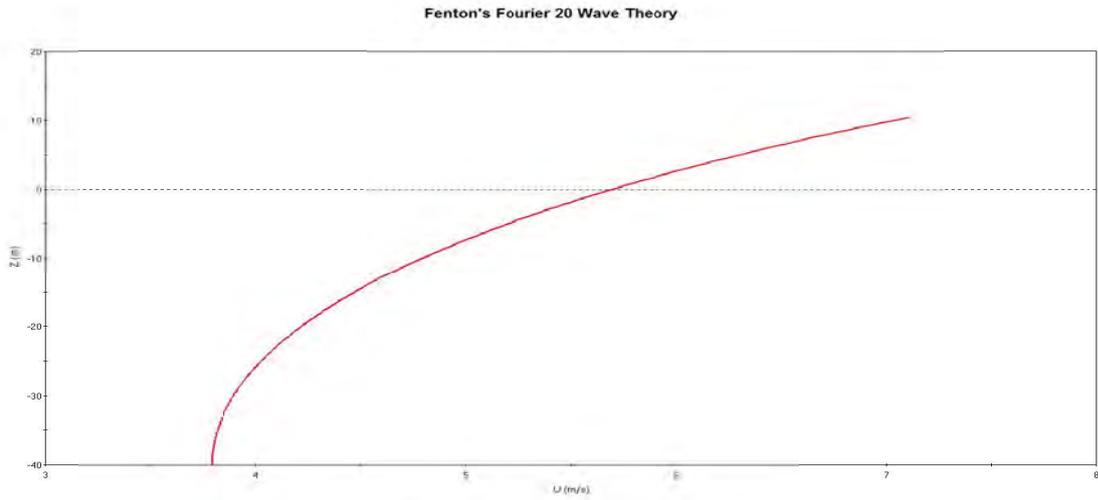
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Pressure (P) at -22.000 m

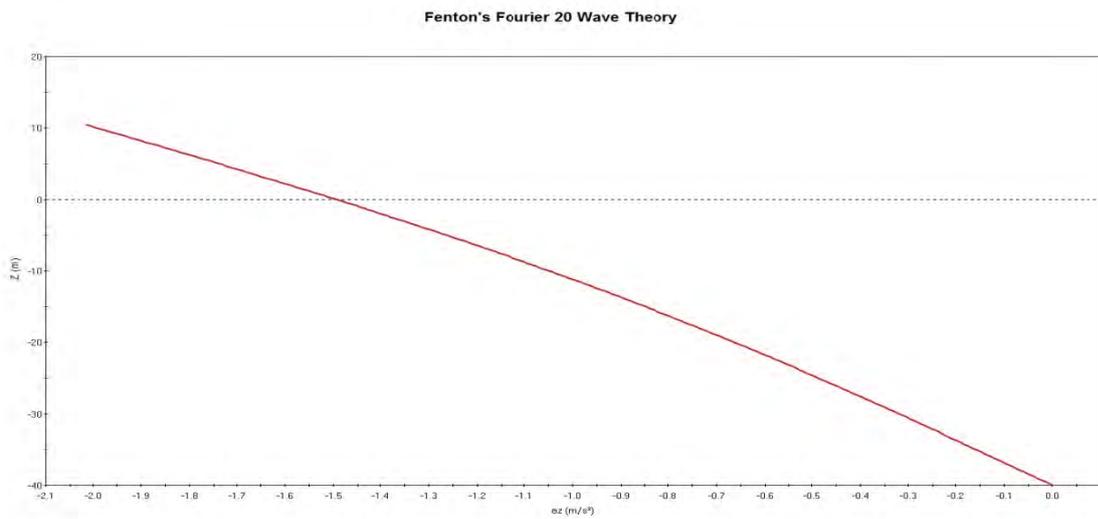
**איור מס' 6.152 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים**





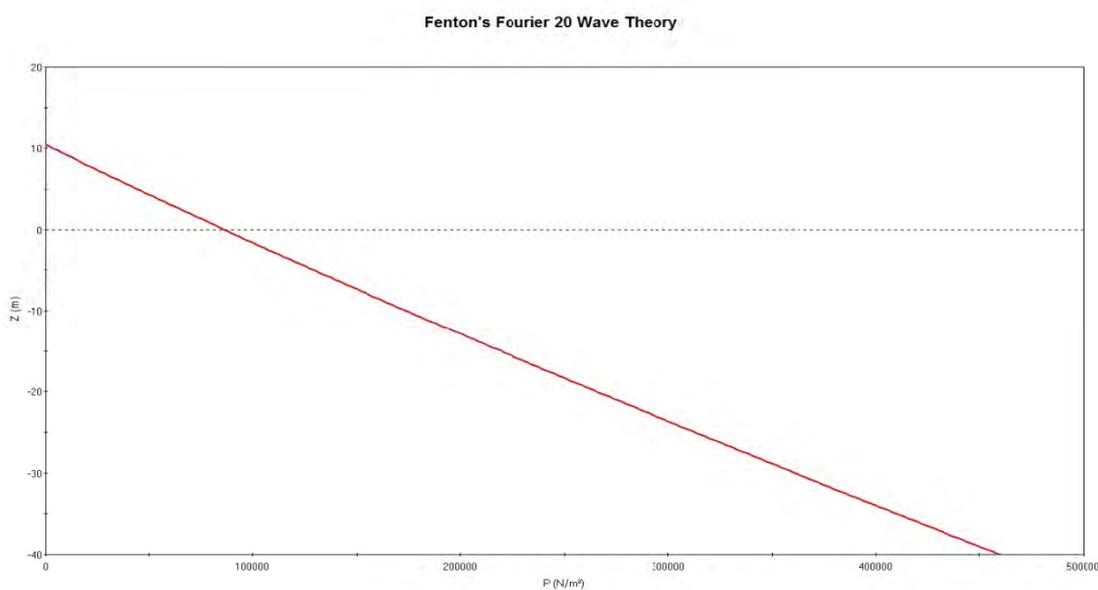
Horizontal Velocity (U) Under Wave Crest

**איור מס' 6.153 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים**



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) Under Wave Crest

**איור מס' 6.154 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים**

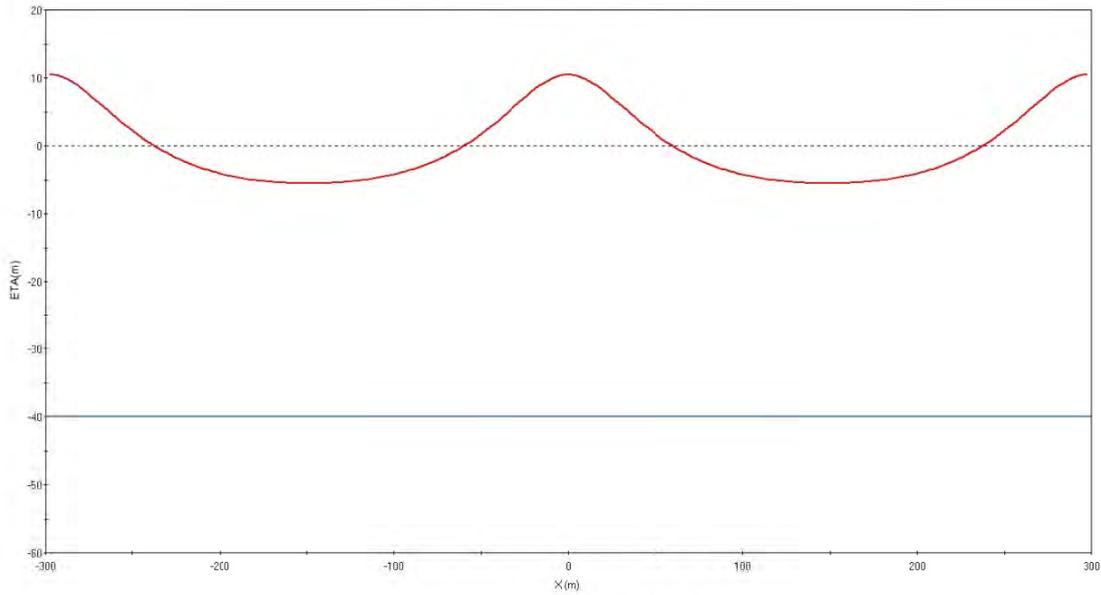


Pressure (P) Under Wave Crest

**איור מס' 6.155 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים**



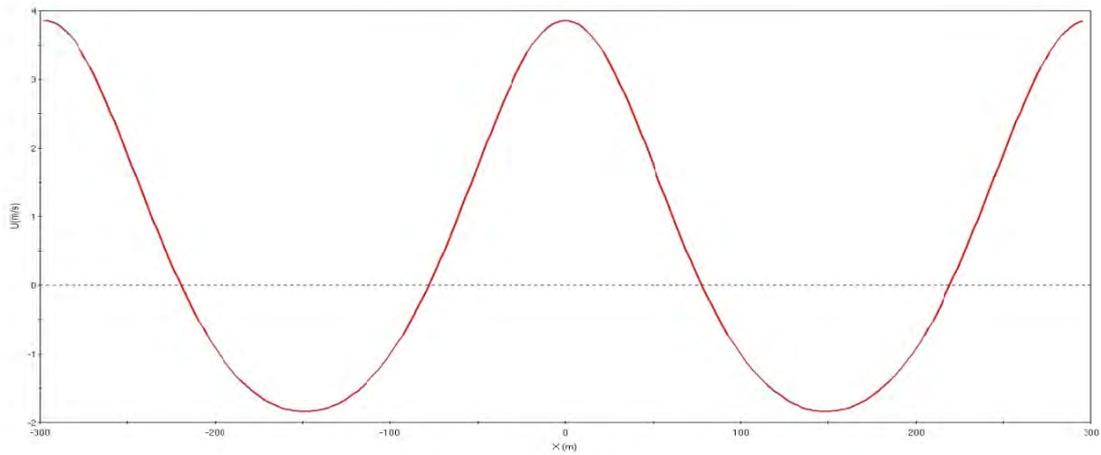
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Water Surface Elevation at -32.000 m

**איור מס' 6.156 – תצורת הגל על פני שני מחזורים**

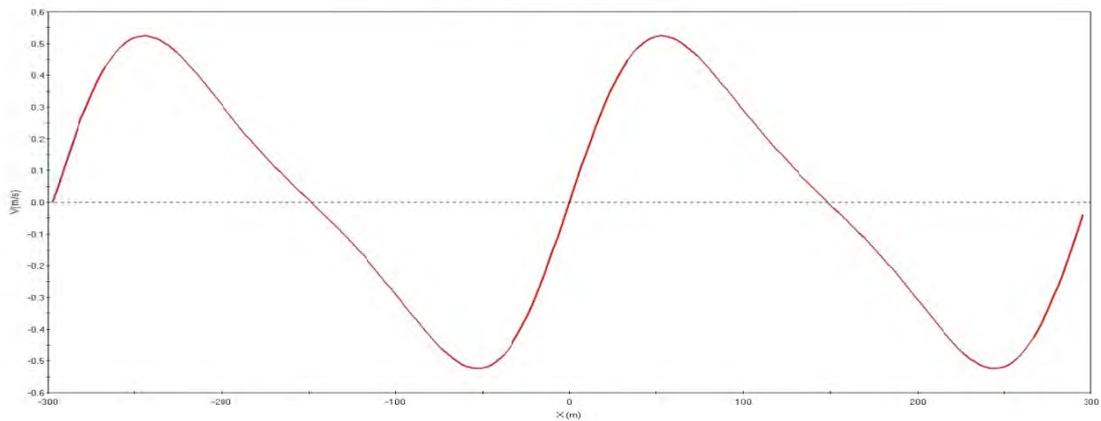
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) at -32.000 m

**איור מס' 6.157 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים**

Fenton's Fourier 20 Wave Theory

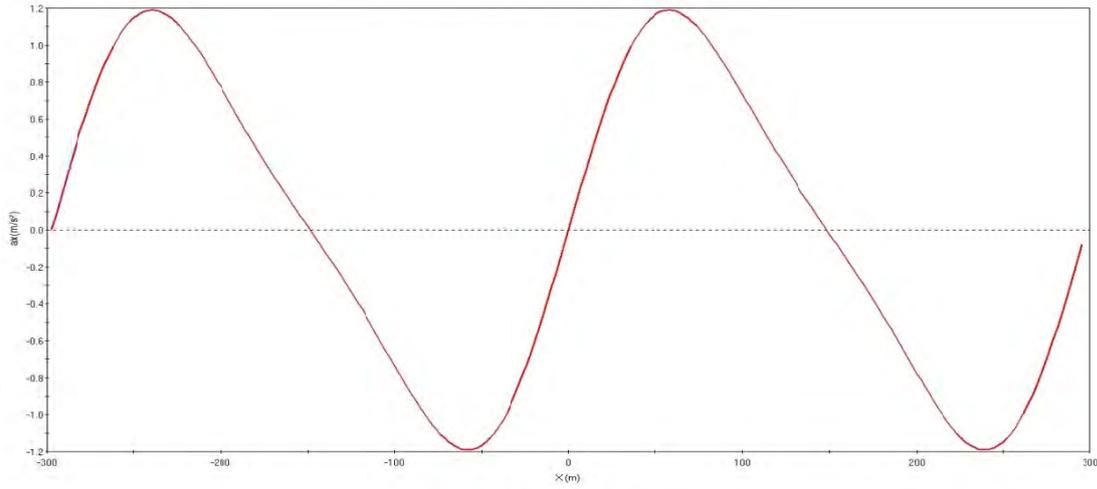


Vertical Velocity (W) at -32.000 m

**איור מס' 6.158 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים**



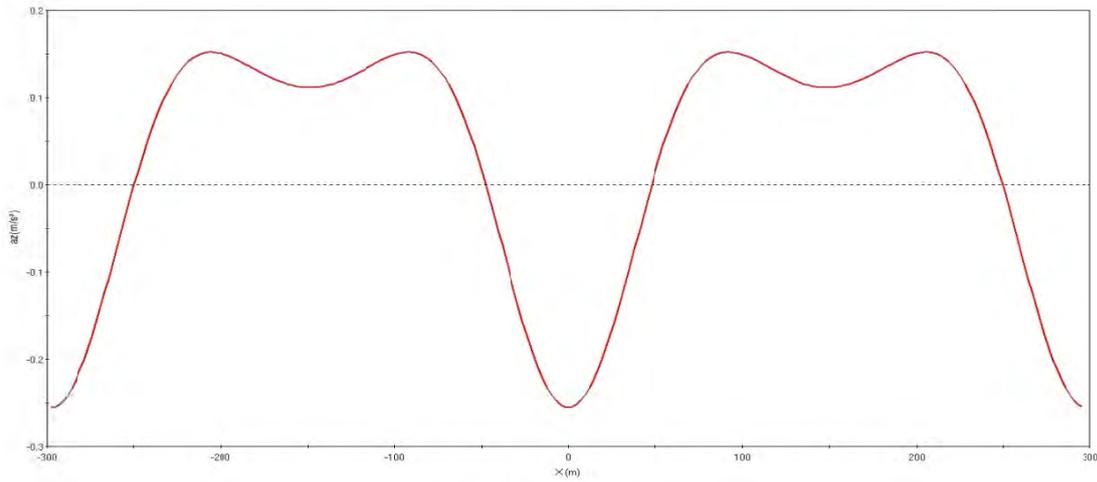
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -32.000 m

**איור מס' 6.159 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים**

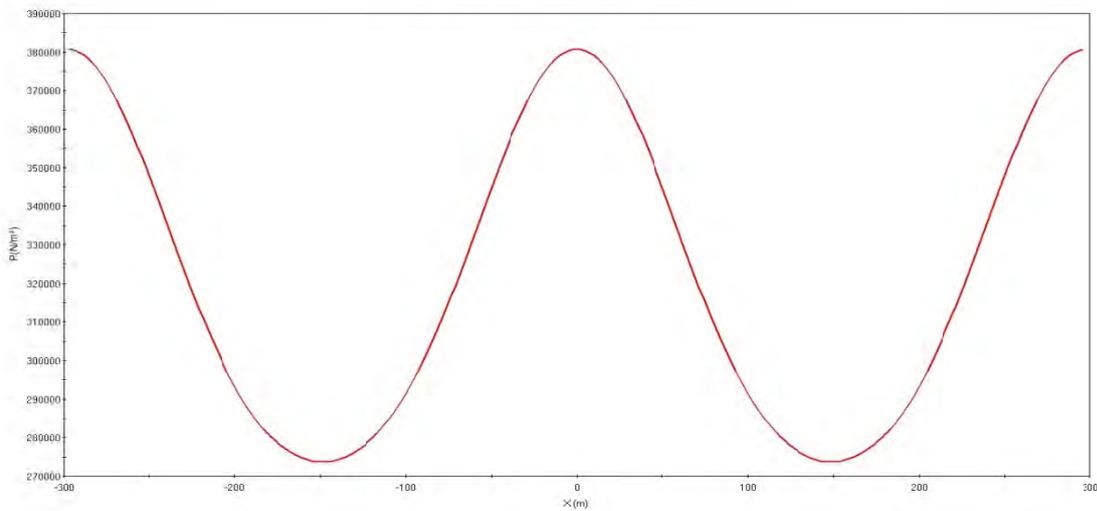
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -32.000 m

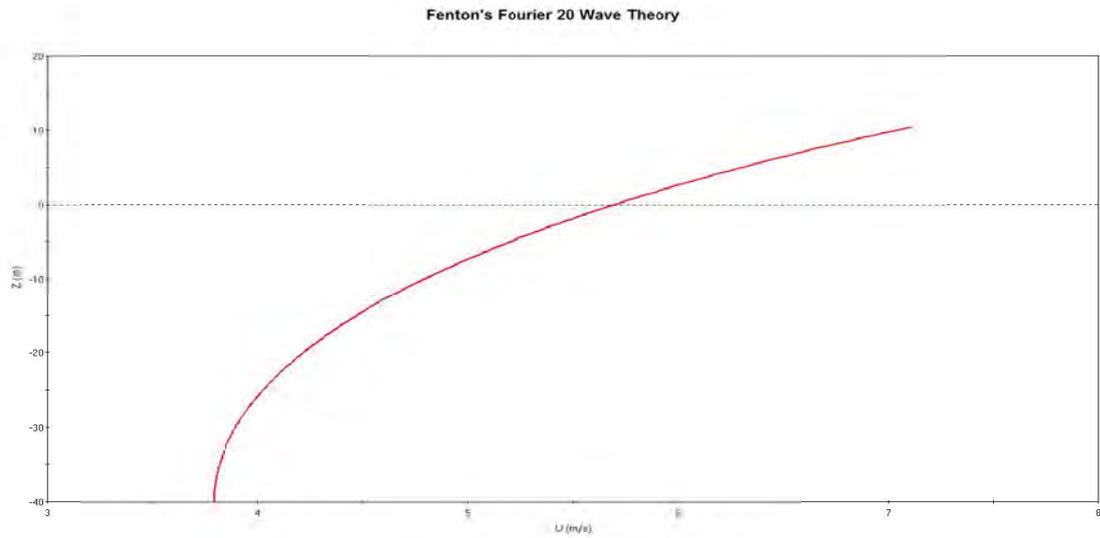
**איור מס' 6.160 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים**

Fenton's Fourier 20 Wave Theory

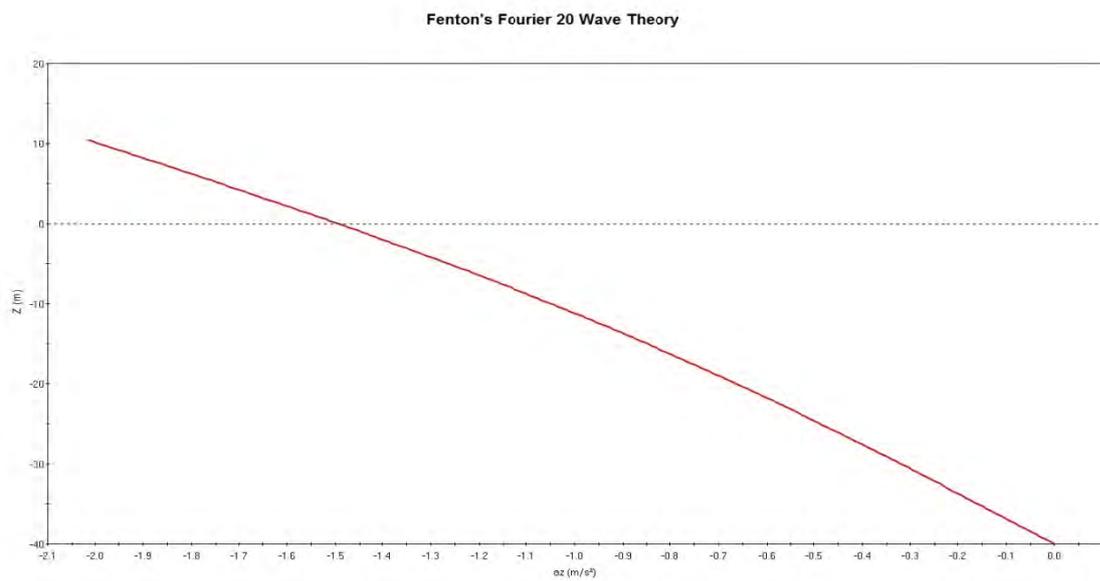


Pressure (P) at -32.000 m

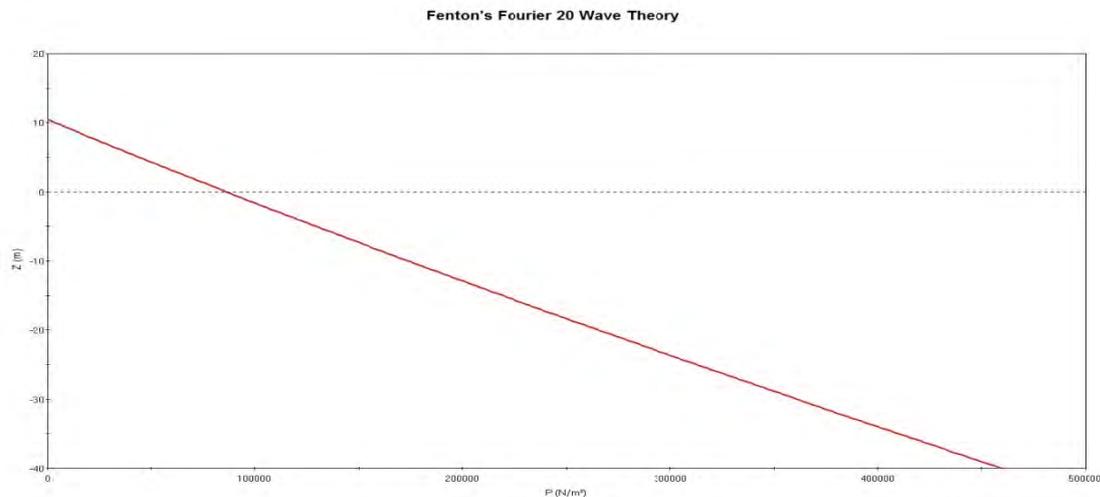
**איור מס' 6.161 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים**



איור מס' 6.162 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים



איור מס' 6.163 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים



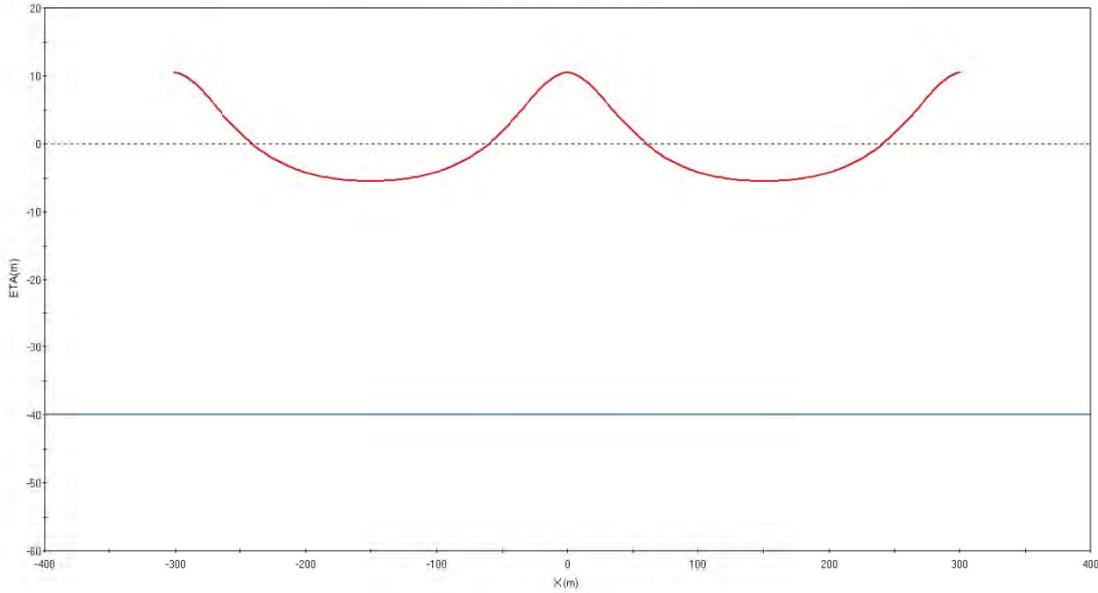
איור מס' 6.164 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים

טבלה מס' 6-21

הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 16.0 מ', זמן מחזור 15.4 שני, זרם כללי של 1.20 מ\שני, x=0, בעומק 22 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 25 שנה

Fourier Series Wave Theory			
Wave height (H):	16.000 m	Celerity (C):	19.564 m/sec
Wave period (T):	15.400 sec	Mean eulerian flood velocity:	0.806 m/sec
Water depth (d):	40.000 m	Mean mass transport velocity:	1.200 m/sec
Celerity def:	Stokes	Mean velocity relative to wave:	18.758 m/sec
Mean velocity (u):	1.200 m/sec	Volume flux due to wave:	15.778 m <sup>2</sup> /sec
Breaking criteria:	0.780	Bernoulli constant:	177.923 m <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
Wave length (L):	301.286 m	# of steps in wave height ramping:	10
# of terms in Fourier series:	20		
Integral Parameters			
Impulse (I):	49204.2	N-s/m <sup>2</sup>	
Kinetic energy (Ek):	178028 N-m/m <sup>2</sup>	Radiation stress (Sxx):	387730 N-m/m <sup>2</sup>
Potential energy (EP):	144778 N-m/m <sup>2</sup>	Energy flux (F):	5.19758e+006 N-m/s-m
Energy density (Ek+EP):	322806 N-m/m <sup>2</sup>	Volume flux (Q):	734.561 m <sup>2</sup> /sec
Mean square of bed velocity (Ub):	4.6149 m/sec	Bernoulli constant (R):	570.14 m <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
Solution surface elevation (crest...trough):			
Fourier coefficients b(I)	1..20	10.4802	-5.51976 m
0.175993	0.0249919	0.00281073	0.000139827 -2.02097e-005
-3.84801e-006	4.59737e-007	2.88521e-007	4.95373e-008 1.00106e-009
-1.20161e-009	-1.61886e-010	3.86612e-011	1.80901e-011 2.60279e-012
-1.28554e-013	-1.09296e-013	-9.46023e-015	4.52508e-015 1.57094e-015
Kinematics/derived values			
Horizontal		Vertical	
Interest point (x/L,z)	0	-22	
Velocity:	4.35646	0	m/sec
Acceleration:	0	-0.586912	m/sec <sup>2</sup>
	Pressure: 284982		N/m <sup>2</sup>
	Water surface elevation: 10.4802		m

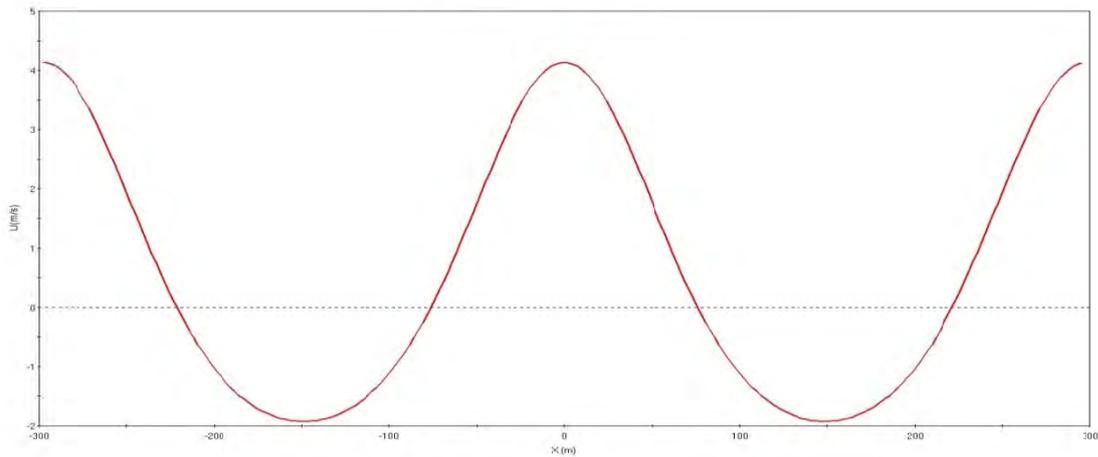
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Water Surface Elevation at -22.000 m

**איור מס' 6.165 – תצורת הגל על פני שני מחזורים**

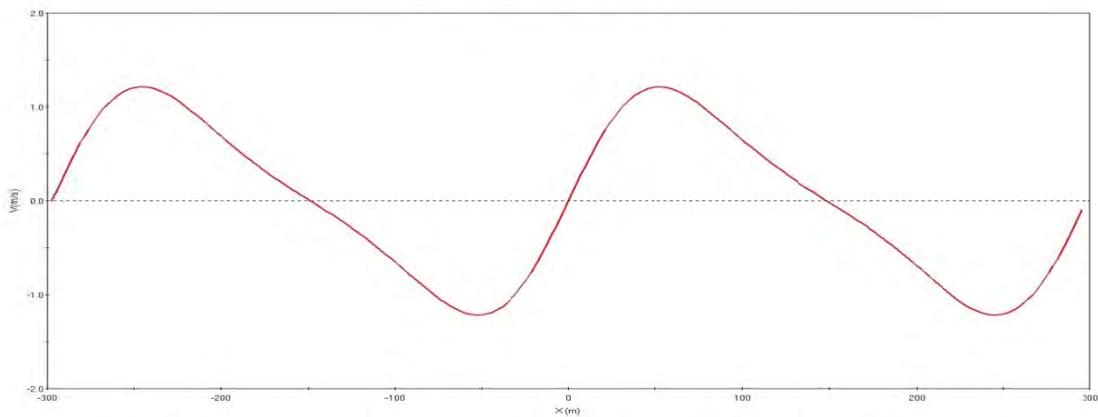
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) at -22.000 m

**איור מס' 6.166 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים**

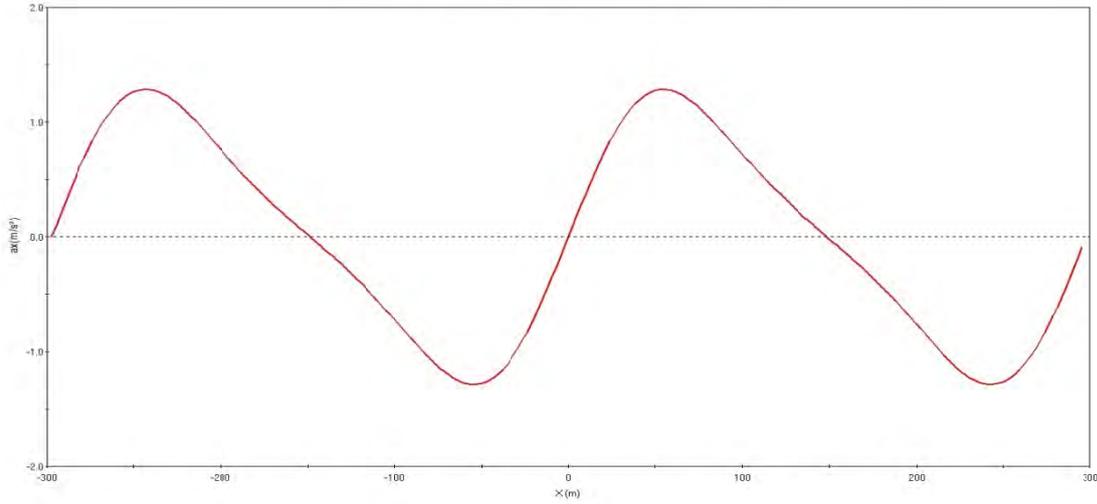
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Velocity (W) at -22.000 m

**איור מס' 6.167 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים**

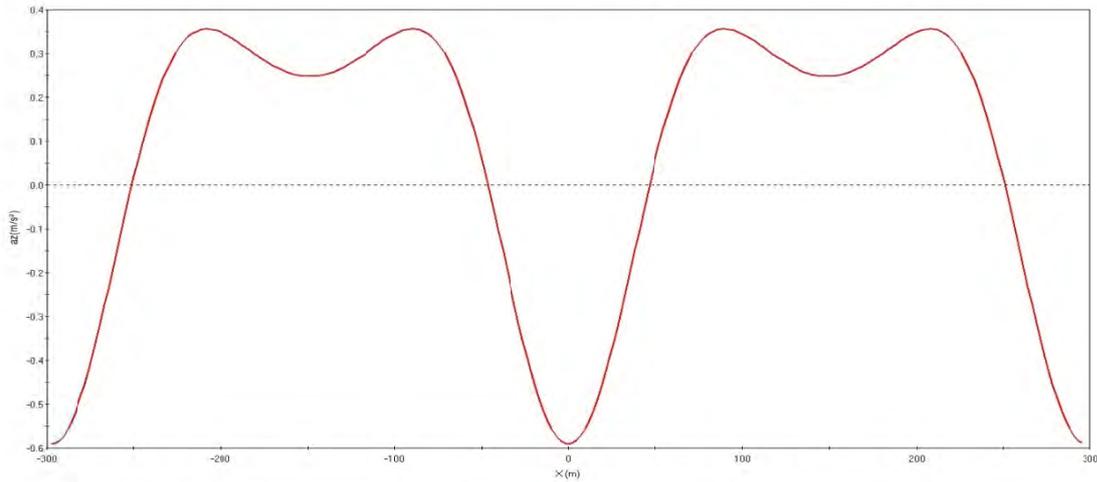
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -22.000 m

**איור מס' 6.168 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים**

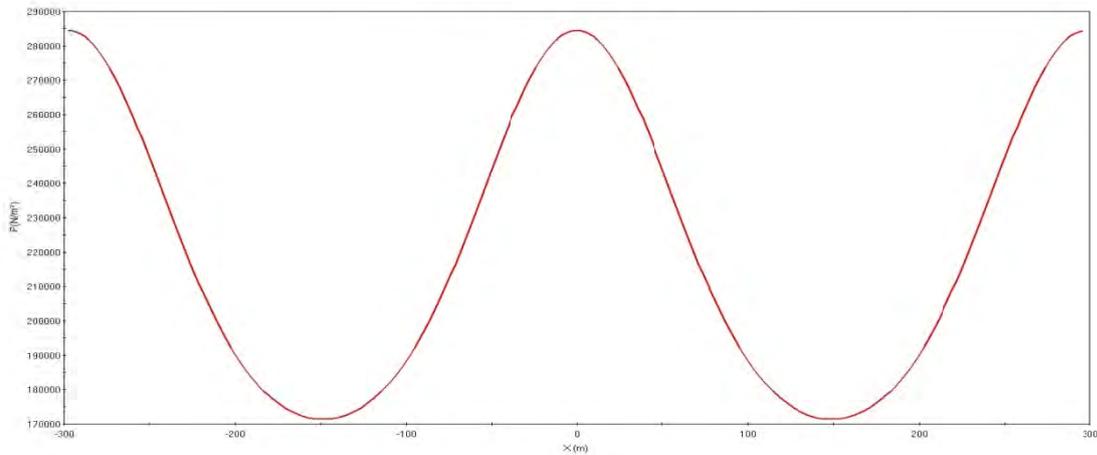
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -22.000 m

**איור מס' 6.169 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים**

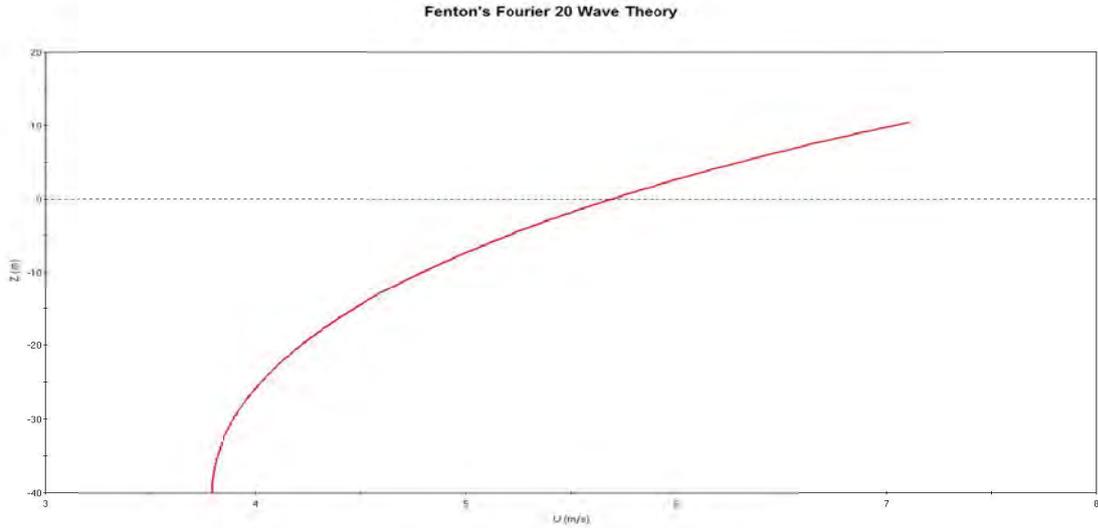
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



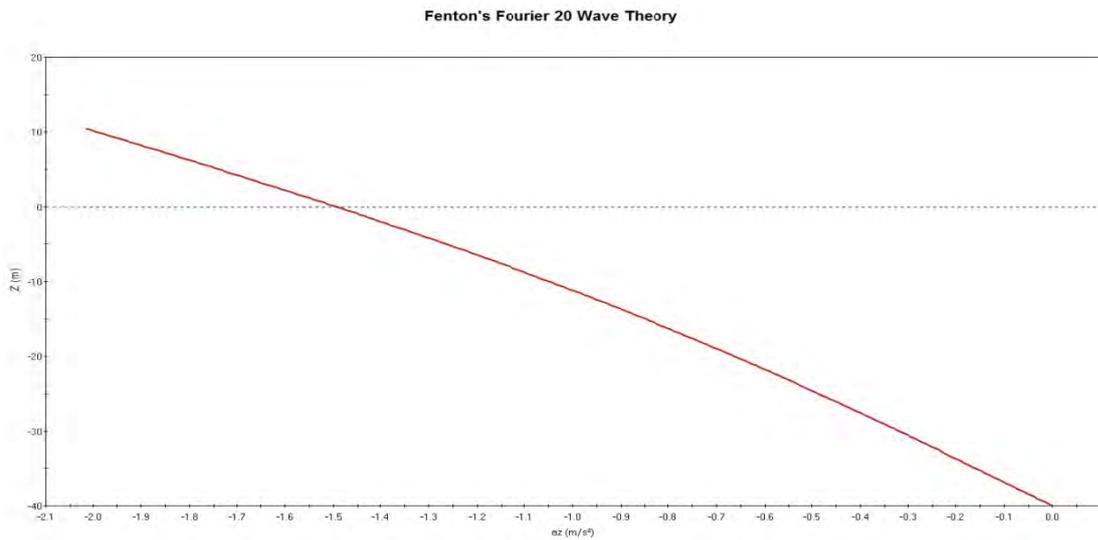
Pressure (P) at -22.000 m

**איור מס' 6.170 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים**

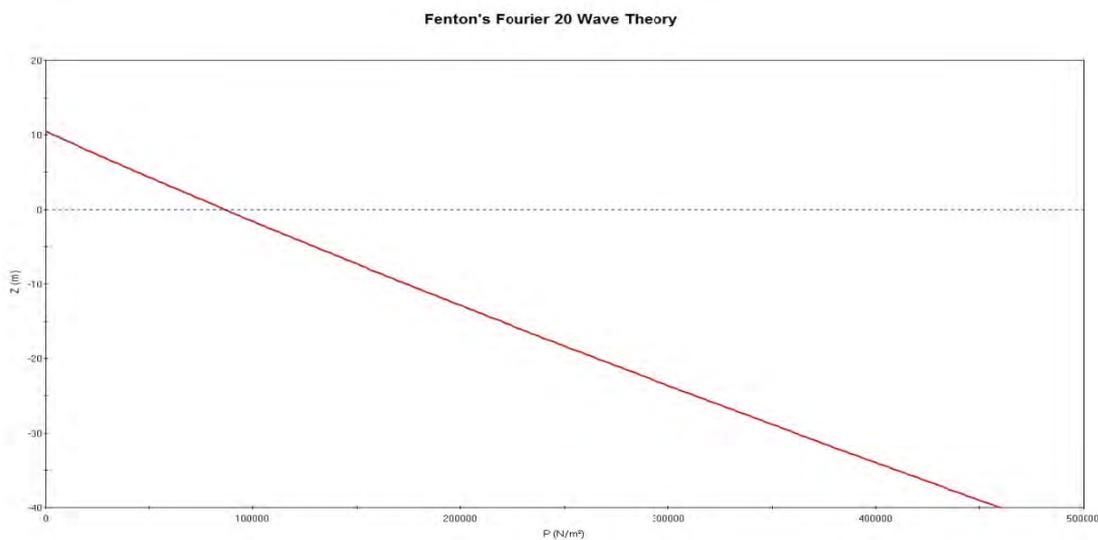




איור מס' 6.171 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים



איור מס' 6.172 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים



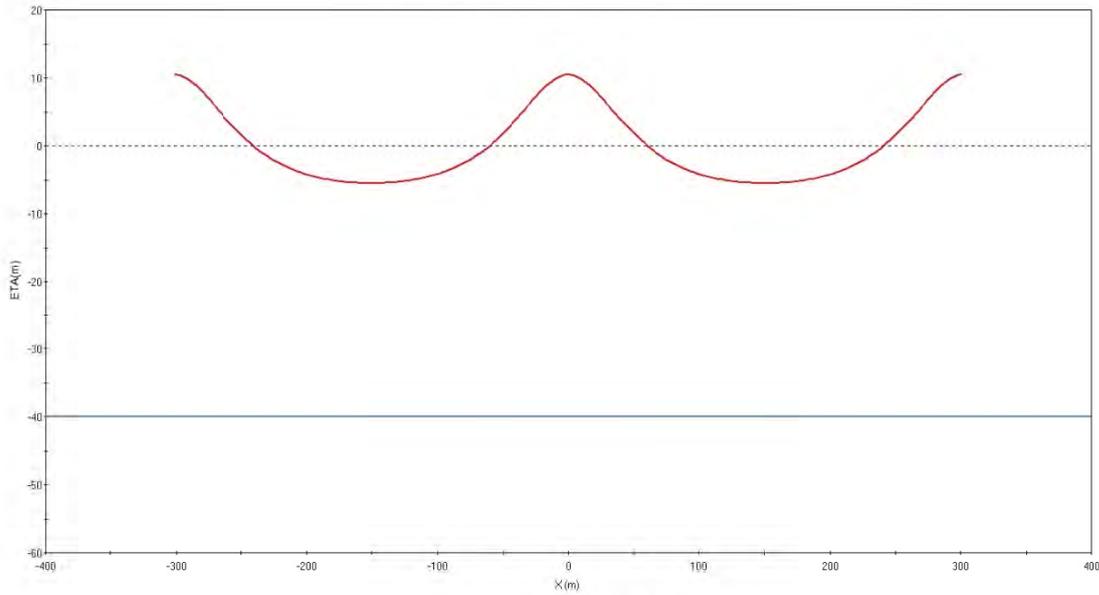
איור מס' 6.173 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים

טבלה מס' 6-22

הידרודינמיקה מול מכמורת, קו עומק 40 מ', גובה גל מרבי 16.0 מ', זמן מחזור 15.4 שני', זרם כללי של 1.20 מ'שני', x=0, בעומק 32 מ' מתחת לפני הים, גובה גל עם תקופת חזרה של 100 שנה וזרם עם תקופת חזרה של 25 שנה

Fenton's Fourier Series Wave Theory			
Wave height (H):	16.000 m	Celerity (C):	19.564 m/sec
Wave period (T):	15.400 sec	Mean eulerian flood velocity:	0.806 m/sec
Water depth (d):	40.000 m	Mean mass transport velocity:	1.200 m/sec
Celerity def:	Stokes	Mean velocity relative to wave:	18.758 m/sec
Mean velocity (u):	1.200 m/sec	Volume flux due to wave:	15.778 m <sup>2</sup> /sec
Breaking criteria:	0.780	Bernoulli constant:	177.923 m <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
Wave length (L):	301.286 m	# of steps in wave height ramping:	10
# of terms in Fourier series:	20		
Integral Parameters			
Impulse (I):	49204.2	Radiation stress (Sxx):	387730 N-m/m <sup>2</sup>
Kinetic energy (Ek):	178028 N-m/m <sup>2</sup>	Energy flux (F):	5.19758e+006 N-m/s-m
Potential energy (EP):	144778 N-m/m <sup>2</sup>	Volume flux (Q):	734.561 m <sup>2</sup> /sec
Energy density (Ek+EP):	322806 N-m/m <sup>2</sup>	Bernoulli constant (R):	570.14 m <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
Mean square of bed velocity (Ub):	4.6149 m/sec		
Solution surface elevation (crest,..trough):			10.4802
			-5.51976 m
Fourier coefficients b(I)	1.120		
	0.175993	0.0249919	0.00281073
	-3.84801e-006	4.59737e-007	2.88521e-007
	-1.20161e-009	-1.61886e-010	3.86612e-011
	-1.28554e-013	-1.09296e-013	-9.46023e-015
Kinematics/derived values			
Horizontal		Vertical	
Interest point (x/L,z)	0	-32	m
Velocity:	5.7376	0	m/sec
Acceleration:	0	-1.41093	m/sec <sup>2</sup>
Pressure:	99722.2		N/m <sup>2</sup>
Water surface elevation:	10.4802		m

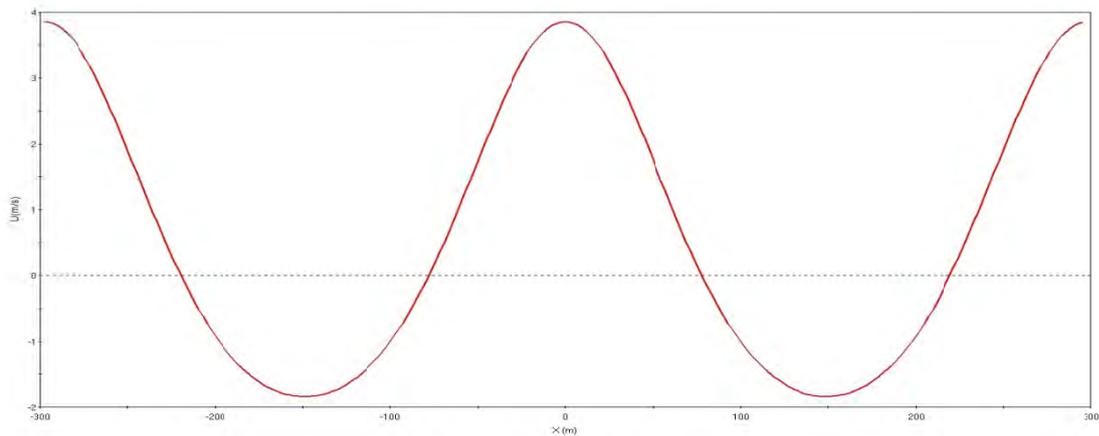
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Water Surface Elevation at -32.000 m

**איור מס' 6.174 – תצורת הגל על פני שני מחזורים**

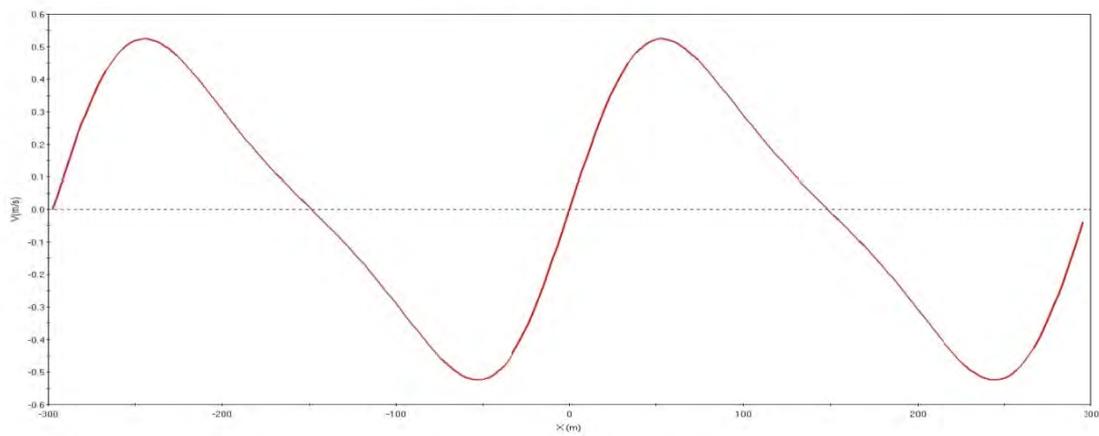
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Velocity (U) at -32.000 m

**איור מס' 6.175 – מהירות אופקית על פני שני מחזורים**

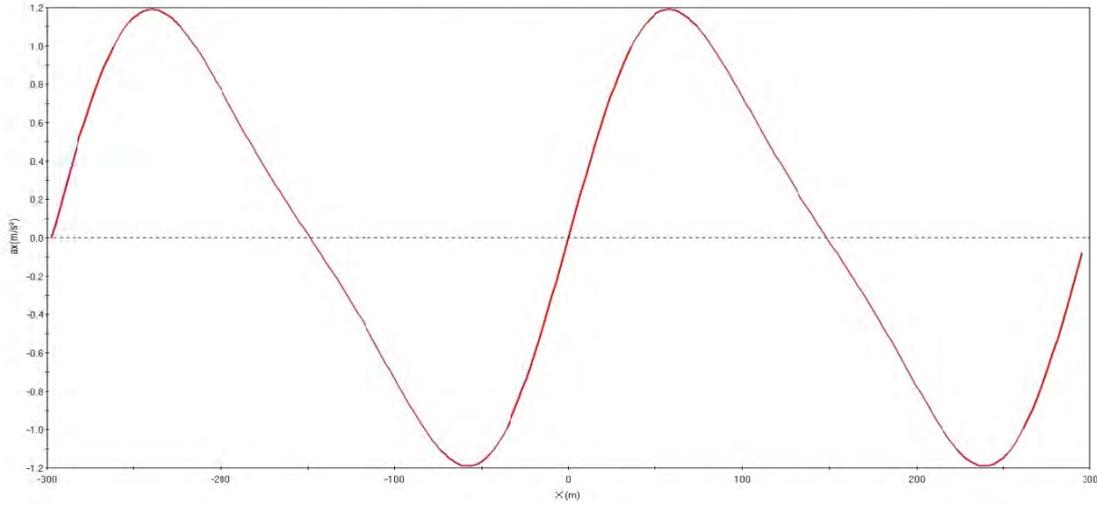
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Velocity (W) at -32.000 m

**איור מס' 6.176 – מהירות אנכית על פני שני מחזורים**

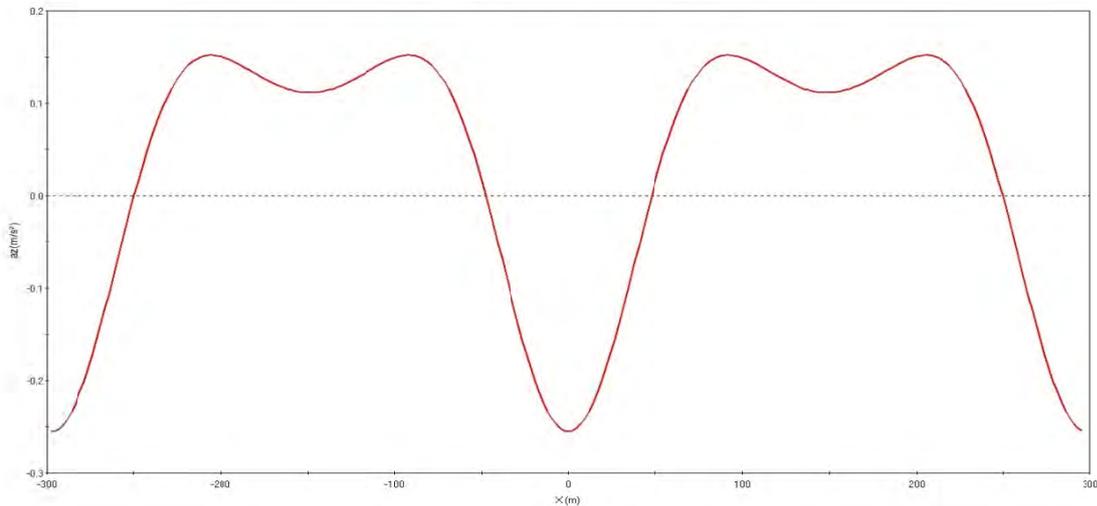
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Horizontal Acceleration ( $a_x$ ) at -32.000 m

**איור מס' 6.177 – תאוצה אופקית על פני שני מחזורים**

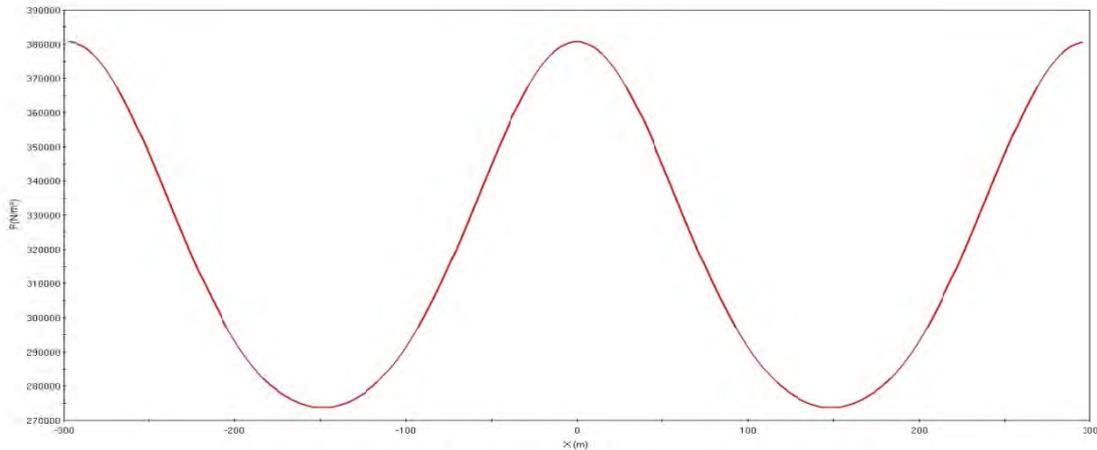
Fenton's Fourier 20 Wave Theory



Vertical Acceleration ( $a_z$ ) at -32.000 m

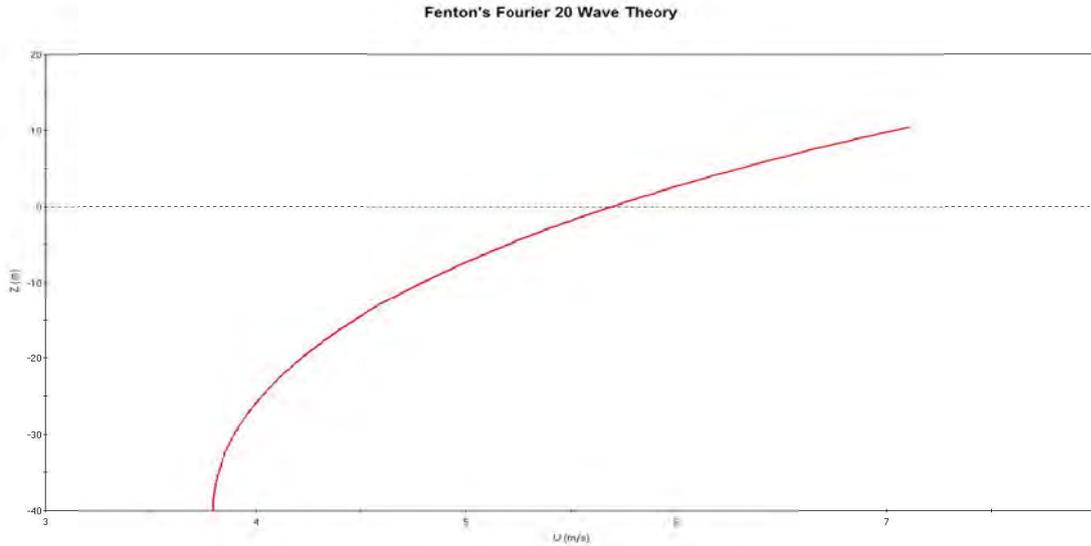
**איור מס' 6.178 – תאוצה אנכית על פני שני מחזורים**

Fenton's Fourier 20 Wave Theory

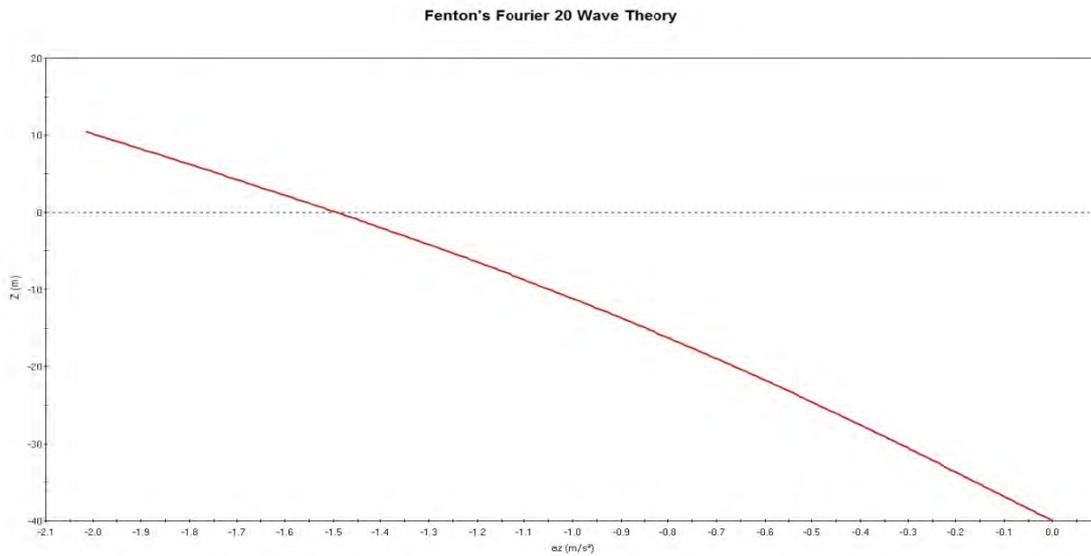


Pressure (P) at -32.000 m

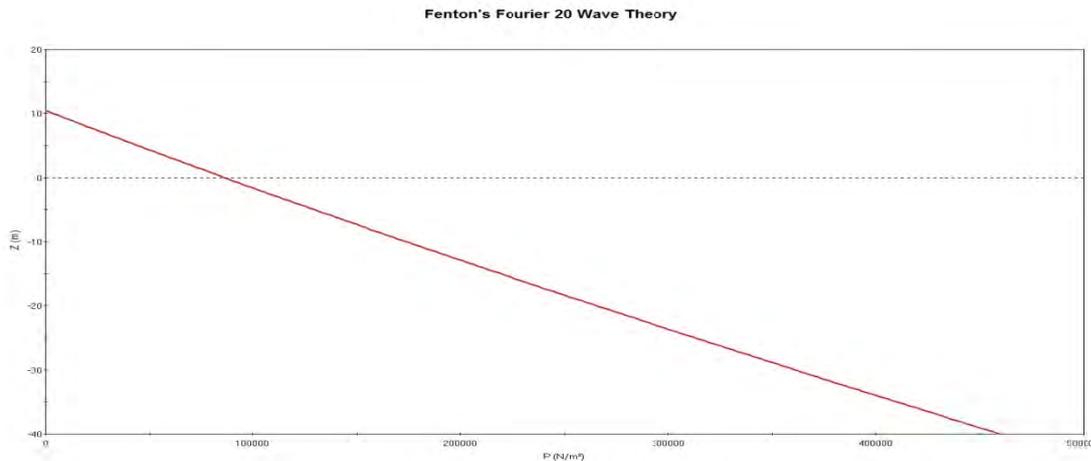
**איור מס' 6.179 – פרוס הלחץ על פני שני מחזורים**



**איור מס' 6.180 – מהירות אופקית בשיא הגל בעמודת המים**



**איור מס' 6.181 – תאוצה אופקית בשיא הגל בעמודת המים**



**איור מס' 6.182 – פרוס הלחץ בשיא הגל בעמודת המים**

### 6.3 ב' הצגת תוצאות של אומדנים של הכוחות על גוף טבול בים במיקום המיועד לכלובי הדגים מול מכמורת

בטבלה מס' 23-6 להלן, מוצג סיכום של הכוחות גרר ואינרציה שהתקבלו עבור המצבים שנבחנו לאזור מכמורת על קו עומק 40 מ' (החישובים בהדמיות בוצעו הן לקצה הכלוב העליון בעומק 22 מ' והן לקצה התחתון של הכלוב בעומק 34 מ' אך החישובים בוצעו על כלוב בגובה 12 מ' כלומר עד לעומק 34 מ', היות ובהרצות התקבל הפרוס על הכוחות והתאוצות עד לקרקעית). התוצאות התקבלו תוך שימוש בנוסחאות החצי אמפיריות (ערכי המקדמים) שמוצגות ב- Berstad et al. (2012) עבור כלוב עם עובי חוט רשת ללא קשרים של 4 מ"מ כולל צימדה ימית, וגודל תא רשת של 18 מ"מ (מציר לציר). החישוב בוצע כאמור עבור כלוב בקוטר 18 מ' וגובה (שוקע) 12 מ', המוקם עם קצהו התחתון 6 מ' מעל הקרקעית, תוך שימוש בפרוס המהירויות והתאוצות האנכי בשיא הגל שהתקבלו בהדמיות שהוצגו בסעיף 6.3 א' ובתוספת זרם קבוע. החישובים אינם כוללים כוחות על הטבעת העליונה (וואו נוספות, ולא על המשקלות מתיחה של הכלוב אם היא נעשית באמצעות משקולות ושרשראות ולא באמצעות כבלי מתיחה מחוברים למצופים. החישובים מציגים בצורה איכותית יותר את השפעות תנאי התכן והמיקום (עומק) של בתנאי השרידות. חישוב כוח האינרציה נעשה תוך אומדן של מסה נוספת של 30% על מסת הכלוב.

#### טבלה מס' 23-6 – תוצאות חישוב אומדן הכח המופעל על כלוב במצב שרידות מול מכמורת

סודר	מקום	קו עומק	עומקי הכלוב (מ- עד)		H	T	תקופת חזרה	V	תקופת חזרה	כח גרר ואנרציה
			מ'	מ'						
-	-	מ'	מ'	מ'	מ'	שני	מיאשני	שנים	שנים	Ton
1	מכמורת	-40.0	-22.0	-34.0	15.3	13.0	50	1.00	10	599
2	מכמורת	-40.0	-22.0	-34.0	15.3	13.0	50	1.20	25	837
3	מכמורת	-40.0	-22.0	-34.0	15.3	15.1	50	1.00	10	1,085
4	מכמורת	-40.0	-22.0	-34.0	15.3	15.1	50	1.20	25	1,342
5	מכמורת	-40.0	-22.0	-34.0	16.0	13.3	100	1.00	10	815
6	מכמורת	-40.0	-22.0	-34.0	16.0	15.4	100	1.00	10	1,494
7	מכמורת	-40.0	-22.0	-34.0	16.0	15.4	100	1.20	25	1,903

ערכי הכוחות המוצגים בטבלה לעיל, מראים את השפעת בחירת תקופת החזרה הממוצעת של הגלים והזרמים למצב שרידות. כמו כן, הם מוכיחים כי לצורך חישוב כוחות בשרידות לאזור חופי ישראל, תקופת שיא הספקטרום לפרוס JONSWAP כפי שמוצג בפרק 2, מובילה לערכי כוחות גדולים מאשר בחישוב עם זמן מחזור המומלץ לפי התקינה הבינלאומית.

הכוחות עבור שרשרת כלובים העומדים האחד מאחורי השני יהיו לפי הערך של הכח עבור הכלוב שלפניהם עם הקטנת ערך של כ-50%. יש לשים לב כי במידה ויהיו יותר מדי כלובים בטור, חלקם יהיו בשיא הגל, אחד אולי במצב גובה גל אפס וחלקם בשפל הגל ואז עבור אותם כלובים כיוון הכח יהיה הפוך ויותר קטן (בגלל שכיוון הזרם לא ישתנה).

אנו מבקשים להזכיר כי האומדן הנ"ל הוא יותר איכותי מכמותי, ולצורך תכנון מערך כלובים יש צורך בטיפול הרבה יותר מעמיק ומפורט.

#### 6.4 לקחים לגבי דרישות אפיון לעמידות כלובי דגים שיוצבו מול החוף הישראלי

לאחר שלמדנו את האפיונים הסטטיסטיים של הסביבה הימית ושל הבעיות הכרוכות בהצבת ושרידות חוות כלובי דגים, ננסה לסכם להלן לקחים שעשויות להיות רלוונטיות עבור מתכנני הקמת כלובי דגים בחופי ישראל בים התיכון מבחינת אפשרויות השרידות והתפעול שלהן לאורך זמן.

א. ראינו כי מיקום הכלובים ועומק ההצבה של הכלובים בעת מצבי שרידות חשובים, וככל שהכלובים ניתנים לשיקוע בעומק גדול יותר כך יקטנו הכוחות שיפעלו על הכלובים ותגדל השרידות שלהם. לפי כך, עדיף לנסות להציב כלובים על קווי עומק עמוקים יותר, אך לא מעבר קו עומק 80-מ' כי אז נוצרות בעיות תפעול הכלובים בגלל ההתרחקות מבסיס תחזוקה חופי.

ב. אנו התייחסנו בעבודה הנוכחית במיוחד לכלובים שקועים לגמרי, כי אז מוקטנים הכוחות הפועלים עליהם. כלוב הנמצא בסמוך לפני הים או על פני הים חשוף לכוחות גדולים יותר משמעותית ולכן התפקוד שלו מוגבל רק לתנאי ים שקטים יחסית.

ג. מאידך, ראינו כי כלובים המאוזנים בעמודת המים ע"י שרשראות מסוג TLC או SUBFLEX צפויים להימצא בבעיה אם משתמשים בשרשרות. זאת מאחר ואם הכלובים מתקרבים או מורדים לעומק של מספר מטרים מעל קרקעית הים, כאשר השרשרות מגיעות עד פני קרקעית הים, הם עלולים לשקוע עוד יותר ואפילו להיפגע ממגע עם הקרקעית. הסיבה לכך נעוצה בכך שבתחומי ההצבה לרב הקרקעית חולית או טינית עם תכולת חול מסוימת, דבר ההופך אותה בזמן סערות גלים לקרקעית מתנזלת. עקב כך, שרשרות שאמורות להיות מונחות על הקרקעית ובכך להקטין את הכח על הכלובים ולגרום להם להימצא מעל הקרקעית בגובה מתוכנן, עלולות להמשיך למשוך את הכלובים בתוך הקרקעית המתנזלת ובכך לגרום לשקיעת הכלובים עד הקרקעית. יתרה מכך, בשוך הסערה הם עלולים להילכד בתוך הקרקעית שהופכת שוב למוצק ולגרום למניעת עליית הכלוב מעל הקרקעית. גם העוגנים עלולים לשקוע בעת התנזלות הקרקעית או לחליפין, עלולים להישלף מתוך הקרקעית המתנזלת ולכן יש לבצע בדיקות קרקעית ותת קרקע באתר המיועד להצבת כלובי דגים ולתכנן את מערכת העוגנים בהתאם. לדעתנו, הפתרון של השקעת כלובים לעומק קרוב לקרקעית הים מחייב או הצבה על אזור בו הקרקעית קשה ולא מתנזלת בסערות או ששיטת שמירת העומק תתבסס על מערך מצופי מתיחה ולא על משקולות משרשרות פלדה.

ד. כפי שהתברר מניתוח אירועי הסערות בהם נגרמו נזקים לכלובי דגים, חלק מהנזקים ארעו להערכתנו עקב כוחות גדולים מאוד, שהתפתחו בזמן סערות עם גלים גבוהים וגם זרמים חזקים. לדעתנו, חלק מהנזקים נגרמו בגלל בעיות הקשורות להתנזלות הקרקעית, כפי שהסברנו לעיל.

ה. לפי מה שהוסבר לנו, חלק אחר מהנזקים שנגרמו היו עקב קריעת רשתות ע"י כרישים אשר נשכו את הרשת באיזור של הצטברות פסדים (גוויות של דגים מתים). על פי סקר שבוצע לאחרונה (שניר וברש, 2017) מסתבר שנוזקים מסיבה זו מוכרת גם במקומות אחרים בעולם. לפי חוקרים אלה, איסוף יומיומי של הפסדים מהווה פתרון מיטבי להקטנת משיכת כרישים לכלובי דגים.

ו. כלובי הדגים שהוצבו בנמל אשדוד ליד לשובר הגלים הראשי, ניזוקו ככל הנראה בגלל ממספר סיבות:  
(i) הכלובים הוצבו קרוב מדי לשובר הגלים, במיוחד באזור שובר הגלים החדש יותר המוגן ביחידות קוביות אנטפר. באזור זה שובר הגלים תוכנן מראש לאפשר הצפתו בזמן סערות גלים חזקות, כאשר מי ההצפה מורחקים מצידו הפנימי של שובר הגלים ע"י מגלשות. עקב כך, כמויות המים הגדולות העוברות מעל שובר הגלים הגיעו ישירות לאזור הימצאות כלובי הדגים במהירויות מאוד גבוהות, דבר שיצר מכות חזקות הכלובים ובדגים.  
(ii) להערכתנו, חלק מהכלובים נמצאים באזור נקודת נד של גל ארוך התונד בנמל אשדוד, שנוכחותו שם נבדקה

במספר מודלים פיזיים של הרחב נמל אשדוד על ידי המחבר הן בחו"ל במעבדת DHI וכן בארץ. בנקודת נד של גל ארוך הנוצר בגלל תהודת נמל, ישנן זרימות אופקיות מאוד חזקות של מסי מטרים לשניה. המצאות כלובים באזור נקודת נד מפעילה כוחות גרר גדולים על הכלובים ועל מערכת העגינה שלהם, שאם לא לקחה אותם בחשבון, יכולה לקרוס או הכלובים יינזקו.

ז. נראה כי בתכנון של כלובי דגים בארץ, לא היתה התחשבות בתופעת ספירל אקמן, שלדעתנו יתכן וגרמה יחד עם השפעת התנזלות הקרקעית, לפחות בסערה ב-2009 להסתבכות כלובים בעת הסערה וצמצום נפח הכלובים עם עקה ותמותה של חלק מהדגים באותם כלובים.



## 6.5 מסקנות לגבי עמידות הכלובים שהוצבו עד היום בים בתלות באורך החיים הכלכלי והסיכון

על פי סקירת אירועי הסערות בתקופה 2009-2015 והדיווחים של הנזקים לכלובי דגים, וניתוח המצב הסביבתי באותן סערות, התרשמנו כי אורך החיים של הכלובים מתאים לאורך חיים כלכלי של כ-5 שנים עם סיכון של 10%, סיכון שגבוה מהסיכון הסביר המקובל בתכן ותפעול ימי. מומלץ לנסות לשפר את עמידות כלובי הדגים ע"י הצבת דרישה כי יתוכננו לכך שהסיכון לא יעלה על 5% עבור תקופת אורך חיים כלכלי של 5 שנים. הבסיס להערכה הנ"ל הם ערכי תקופות החזרה של סערות הגלים והזרמים בהם דווח על נזקים לכלובי דגים.

לדעתנו, הדבר מחייב תכנון מבוסס חישוב כוחות מטאו-ימיים יותר מושכל, באמצעות ביצוע הדמיות במודלים מתקדמים של מערכות העגינה, כדי לאפשר עמידה בכוחות גדולים יותר, וואו הצבת הכלובים בזמן סערות בקווי עומקים גדולים יותר מ-40 מ'. מומלץ כי הכלובים יוצבו על קווי עומק 60 עד 80 מ' או יותר (תלוי גם בעלויות התפעול העולות ככל שעולה המרחק מהבסיס החופי) והקפדה להשקעתם בעת קבלת התרעות על סערות חזקות וזרמים חזקים, כך שתחתית הכלוב יהיה לא קרוב מכ-6 עד 10 מ' מפני הקרקעית. במקביל דרוש חיפוש ומציאת פתרונות שימנעו שקיעת שרשרות ייצוב של עומק הטבילה של הכלובים, בעת סערות חזקות, העשויות לגרום להתנזלות של הקרקעית.

חשוב לדאוג לקבלת התרעה ממוקדת מוקדמת מספיק של צפי לאירועי מצבי ים עם גלים וזרמים מאוד חזקים. קבלת התרעה מוקדמת וממוקדת למיקום הכלובים חיונית לכל סוגי הכלובים שיוצבו. התרעה ממוקדת כזאת אפשרית באופן עקרוני ע"י שימוש בתחזיות אופרטיביות ממוקדות למיקום חוות הכלובים ממודל SELIPS של חיא"ל וממודל גלים מסוג WAVEWATCH III, שכויל לאזור מדף היבשת הישראלי בים התיכון באמצעות מדידות בשטח באמצעות מכ"מ בתדר גבוהה.

בין התוכנות המתקדמות ביותר לתכן כלובי לים ומערכות העגינה שלהם ניתן לציין בדיקות באמצעות מודל AquaSim של החברה הנורבגית Aquastructures (<http://aquastructures.no>) או התוכנה OrcaFlex של החברה האנגלית Orcina (<https://www.orcina.com>).

## 7. המלצות מערכתיות על התרעה, גילוי ותגובה

כפי שציינו בסעיף הקודם, כדי למזער הסיכון לפגיעה בכלובי דגים יש צורך לקבל התרעה מוקדמת של מצב הגלים והזרמים הצפוי לפחות יומיים קדימה. כיום ניתן לקבל תחזית טובה של מצב הים אם כי היא אינה ממוקדת ודווקא בזמן שיאי סערות התוכנות המופעלות לרב מטעות כי נותנות תחזיות מוגזמות של גובה הגלים. בעולם ידוע כי כדאי להריץ יותר ממודל גלים אחד. על פי בדיקות שבוצעו בחו"ל הסתבר כי חבילת התוכנה WAVEWATCH III מצליחה לתת תחזיות אמינות יותר משימוש בחבילת התוכנה WAM בגרסתה האחרונה. מומלץ ליצור קשר עם חיא"ל כדי שיפעיל בנוסף לתוכנת WAM גם את תוכנת WAVEWATCH III.

לגבי תחזיות זרמים בעמודת המים, אפשר לציין כי חיא"ל מריץ כיום את מודל SELIPS כחלק ממערכת משולבת ים תיכונית של גופי מחקר. לצערנו, כרגע המודל מורץ בסריג גס מדי כדי שיהיה שימושי למתן התרעה לצורכי חקלאות ימית, למרות שהמודל מורץ במצב אופרטיבי עם עדכונים יומיים. מומלץ לבוא בדברים עם חיא"ל לפיתוח והתאמת מודול המצופף את הסריג החישובי באזורי אתרי כלובי דגים, עם סריג בעל גודל צלע של לא יותר מ-25 מ' ופתרון בשכבות עומק רבות יותר כדי לקבל מידע על הזרמים בתחום העומקים בהם מתוכנים להפעיל כלובים בעמודת המים.

יישום ההמלצות הנ"ל צפוי לשפר באופן משמעותי את אפשרות ההגנה על כלובי הדגים. בנוסף יש לדרוש כי מערכות כלובי דגים ייבדקו באמצעות מודלים כאלה שהוצעו מקודם וכן לבצע תכנית בקרה שוטפת והחלפה תקופתית של חבלי העגינה, גם אם למרעית עין בלתי מקצועית החבלים נראים במצב סביר.

בעבודה הנוכחית ערכנו חקירה ואפיון חדש של המשטר המטאו-ימי בחופי ישראל מול אשדוד ומכמורת ולמעשה בכל התחום בין חיפה ואשקלון, דבר המאפשר לספק מידע אמין למתכנני מערכות חוות כלובי דגים להצבה בים.

בנוסף, ניתחנו את אירועי הסערות שהתרחשו מאז 2009, בחנו הבעיות לתכנון ואומדן מהימן של הכוחות הפועלים על כלובי דגים והאמצעים הזמינים לטיפול בהן. הוצעו דרכים לשיפור סיכוי השרידות של כלובי דגים (שימו במודלים מתקדמים, התחשבות באפייני הקרקעית באזורים המיועדים לכלובי דגים).

המחקר הורחב יותר מתכנית המקור ונמשך תקופה הרבה יותר ארוכה מהמתוכנן בעיקר בגלל מחלה שפגע זמנית ביכולת העבודה של המחבר. תודת המחבר לאינג' נעם מוזס ולמשרד החקלאות על הסבלנות וההבנה למצב, ועל ההערות הענייניות והמועילות של אינג' נעם מוזס לטיטת הדו"ח. תקוותנו כי המידע המוצג בדו"ח, שנתח על ידנו אך נאסף בעמל רב תוך השקעת משאבים ניכרים ע"י חקר ימים ואגמים לישראל, חברת נמלי ישראל באמצעות המכון להנדסה ימית והשירות המטאורולוגי הישראלי וכן המידע ממחקרים רבים, יהווה כלי עזר מועיל למפעילי כלובי דגים נוכחיים ועתידיים בתכנון, תפעול ותחזוקת חוות כלובי דגים מול החוף הישראלי בים התיכון.

## 9. מקורות ספרות

- גולן א., 2012. מבנה ויציבות מדף היבשת העליון, דו"ח חיא"ל מס' H40/2012, חיפה
- ברש, ע., א. שניר, 2017. צמצום יחסי הגומלין בין כרישים לחוות גידול דגים בים הפתוח. בהוצאת רשות הטבע והגנים, משרד החקלאות ופיתוח הכפר והחברה להגנת הטבע
- לרמן אדריכלים ובוני ערים בע"מ, 2012. שלבים א+ב הצגת חלופות עקרוניות לטיפול בגז ובחירת אתרים ימיים לבחינה בתסקיר ההשפעה על הסביבה, לדיון במועצה ארצית, מרץ 2012.
- רוזן, ס' ד', 1999. בחינת מיקום מיטבי להצבת כלובי דגים במימי החופין של ישראל בים התיכון, דו"ח חיא"ל מס' H37/98, חיפה, מרץ 1999
- Ágústsson G., 2004. Design considerations and loads on open ocean fish cages south of Iceland, M.Sc. thesis, University of Iceland, June 2004
- Aarsnes J. V., H. Rudi and G. LoLand, 1990. Current forces on cage, net deflection, *Engineering for offshore fish farming*. Thomas Telford, London, 1990
- Almagor G., Gill D., and Perath I., 1998, Marine Sand Resources Offshore Israel, Geological Survey of Israel, Report GSI/25/98.
- Ashkenazy Y., 2017. Energy transfer of surface wind-induced currents to the deep ocean via resonance with the Coriolis force, *Journal of Marine Systems* 167 (2017) 93–104.
- Berstad, A.J. and Heimstad, L.F. (2015), "Numerical Formulation of Sea Loads to Impermeable Nets", VI International Conference on Computational Methods in Marine Engineering MARINE 2015, Rome Italy
- Berstad, A.J., Heimstad, L.F. and Walaunet, J. (2014) "Model Testing of Fish Farms for Validation of Analysis Programs." Proceedings of the ASME 2014 33rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2014, (June 8-13 2014), San Francisco, California. OMAE2014-2464
- Berstad, A.J., Walaunet, J. and Heimstad, L.F. (2012), "Loads from Currents and Waves on Net Structures." Proceedings of the ASME 2012 31st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2012, (July 1-6, 2012), Rio de Janeiro, Brazil. OMAE2012-83757.
- Berstad, A. J., Tronstad, H., Ytterland, A. (2004), "Design Rules for Marine Fish Farms in Norway. Calculation of the Structural Response of such Flexible Structures to Verify Structural Integrity." Proceedings of OMAE2004 23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering June 2004, Vancouver, Canada. OMAE2004-51577
- Berstad, A. J. and H. Tronstad (2005a), "Response from current and regular/irregular waves on a typical polyethylene fish farm", *Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources*. Eds. C. Guedes Soares, Y. Garbatov, N. Fonseca. 2005 Taylor & Francis Group London. ISBN #: 0 415 39036 2.
- Bessonneau J.S., Marichal D. 1998. Study of the dynamics of submerged supple nets (application to trawls), *Ocean Engineering*, 25(1), pp 563-583
- Beveridge M. C. M., 2004. *Cage Aquaculture*, 3<sup>rd</sup> Ed., 2004 by Blackwell Publishing Ltd
- Beveridge, M.C.M.B. 1996. *Cage aquaculture*, 2nd Edn. Fishing News Books, Oxford, p. 346.

Blendermann W., 1987. An analysis of the hydrodynamic forces on cables and nets, *Applied Ocean Research*, 1987, Vol. 9, No. 4

Bratteland E., ed., 1988. Advances in Berthing and Mooring of Ships and Offshore Structures, Kluwer Academic Publishers.

Burrows R., R.G. Tickell, D. Hames & G. Najafian, 1997. Morison wave force coefficients for application to random seas, *Applied Ocean Research*, 19 (1997) 183-199, Elsevier Science.

Cairns, J. and Linfoot, B.T. 1990. Some considerations in the structural engineering of sea cages for offshore fish farming. In: - *Aquaculture Engineering, Technologies for the future*, Thomas Telford, London, pp. 63-77.

Carson, R.M. 1988. Engineering analysis and design of cage systems for exposed locations, in: *Aquaculture Engineering: Technologies for the Future*. Ing. Chem. Eng. Symposium series No. 111, pp. 77-96, EFCE Publication Series No. 66, Institution of Chemical Engineers, Rugby, UK.

Chalia s., 2014. A Numerical Simulation of Full 3D Model of Net-Cage Structure - Mooring Line Tension, *International Journal of Current Engineering and Technology*, Vol. 4, No. 4 (Aug 2014), <http://inpressco.com/category/ijcet>

Chang Y.-C., G.-Y. Chen, R.-S. Tseng, L. R. Centurioni, and Peter C. Chu, 2012. Observed near-surface currents under high wind speeds, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 117, C11026, doi:10.1029/2012JC007996

Chen H., and Christensen E.D., 2015. Methods for current and wave interaction with fish cages: A review. In Christensen, E. D., Sumer, B. M., Schouten, J.-J., Kirca, Ö., Petersen, O., Jensen, B., ... Burchard, H. (2015). D5.3 Interaction between currents, wave, structure and subsoil., MERMAID mermaidproject.eu, FP7 Theme [OCEAN.2011-1] "Innovative Multi-purpose off-shore platforms: planning, design and operation"

Cheslav B., B. Colbourne, N. Bose, W. Raman, 2009. Aquaculture Net Drag Force and Added Mass, *Aquacultural Engineering* 41, pp. 14–21.

Cifuentes C. and M. H. Kim, 2014. Dynamic Analysis for the Global Performance of An SPM-Feeder-Cage System Under Waves and Currents, *China Ocean Eng.*, Vol. 29, No. 3, pp. 415 – 430

Cremer M. C., H. P. Lan, and J. Chappell, 2008. Engineering Manual: U.S. Soybean Industry OCAT Offshore Ocean Fish Culture Cage, U.S. Soybean Export Council

Dept. of Agriculture, Food and the Marine, 2016. Protocol for Structural Design of Marine Finfish Farms, April 2016, Ireland

Fredsoe J., and Deigaard R., 1992, *Mechanics of coastal sediment transport*, World Scientific, Singapore.

Fredriksson D. W., J. C. DeCew, I. Tsukrov, 2003. Development of structural modeling techniques for evaluating HDPE plastic net pens used in marine aquaculture, *Ocean Engineering* 34 (2007) 2124–2137

Fredriksson D. W., J. DeCew, C. Turmelle, J. D. Irish, 2007. Engineering Support for the Development of a Submersible Fish Cage for Open Ocean Aquaculture, United States Naval Academy, Division of Engineering and Weapons, Report EW-03-01

Fredriksson D. W., M. R. Swift, J.D. Irish, I.Tsukrov, B. Celikko, 2003. Fish cage and mooring system dynamics using physical and numerical models with field measurements, *Aquacultural Engineering* 27 (2003) 117-146

Fredriksson D. W., M. R. Swift, O. Eroshkin, I. Tsukrov, J. D. Irish, and B. Celikkol, 2005. Moored Fish Cage Dynamics in Waves and Currents, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 30, NO. 1, January 2005

Fu S., Y. Xu, K. Hu, Q. Zhong, and R. Li, 2014. Experimental Investigation on Hydrodynamics of a Fish Cage Floater-net System in Oscillatory and Steady Flows by Forced Oscillation Tests, *Journal of Ship Research*, Vol. 58, No. 1, March 2014, pp. 20-29

Gansel L. C., D. R. Plew, P. C. Endresen, A. I. Olsen, E. Misimi, J. Guenther, Ø. Jensen, 2015. Drag of Clean and Fouled Net Panels – Measurements and Parameterization of Fouling, *PLOS ONE* 10(7):e0131051. doi:10.1371/journal.pone.0131051

Golik A., Gardosh M., Gill D., and Almagor G., (1998), "Artificial Islands Project - Shallow Seismic Survey - Interim Report", IOLR report H31/98, August 1998

Goudey C. A., G. Loverich, H. Kite-Powell, and B. A. Costa-Pierce, 2001. Mitigating the environmental effects of mariculture through single-point moorings (SPMs) and drifting cages, *ICES Journal of Marine Science*, 58: 497-503. 2001

Hecht A. and I. Gertman, 2001. Physical features of the eastern Mediterranean resulting from the integration of POEM data with Russian Mediterranean Cruises, *Deep-Sea Research I* 48 (2001), 1847-1876

Hecht, A., Pinaridi, N. and Robinson, A.R. 1988. Currents, water masses, eddies and jets in the Mediterranean Levantine Basin. *J. Phys. Oceanogr.*, 18: 1320-1353.

Hsiao S-S., and M-C. Lin, 1999. Wave forces on a large structure in the presence of a current, *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 7, No. 1, pp. 17-25 (1999) 17

Hsiao S-S., M-C. Lin and N-C. Hu, 2002. DRBEM analysis of combined wave refraction and diffraction in the presence of current, *J. of Marine Science and Technology*, Vol. 10, No. 1, pp. 54-60

Hu K., S. Fu, Y. Xu, L. Ma, and Y. Chen, 2014. Hydrodynamic response of multiple fish cages under wave loads, Proc. ASME 2014 33rd Intl. Conf. Ocean, Offshore and Arctic Engrng, June 8-13, 2014, San Francisco, USA, paper OMAE2014-23716

Huang C-C., H-J.Tang, J-Y Liu, 2006. Dynamical analysis of net cage structures for marine aquaculture - Numerical simulation and model testing, *Aquacultural Engineering*, 2006

Huguenin J. E., 1997. The design, operations and economics of cage culture systems, *Aquacultural Engineering* I6 (1997) 167-203

ISO 16488:2015, 2015. Marine finfish farms - Open net cage - Design and operation, International Standards Organization, 15 July 2015.

Iwagaki, Y., T. Sakai, T. Toshio, O. Yukio, 1997. Wave Refraction and Wave Height Variation Due to Current, Citation Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute, 27(2), 73-91, Issue 1977-06

James J. G., S. Kumar, K K Dharmasree, V. Nagarajan, C. K. Mukherjee, and B. Dash, 2015. Observation on Forces and Motions of a Mariculture Cage From Model and Prototype Experiments, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. September 2015

Kankainen M., R. Mikalsen, 2014. Offshore fish farm investment and competitiveness in the Baltic Sea, EU project Aquabest, Finnish Game and Fisheries Research Institute, Helsinki, <http://www.aquabestproject.eu/reports.aspx>

Kim T.-H., D. W. Fredriksson and J. DeCew, 2008. Hydrodynamics of submersible aquaculture cage system using numerical model, *J. Kor. Soc. Fisheries Technology*, 44(1), 46-56, 2008

Kitazawa D., Y. Mizukami, M. Isobe, H. Kinoshita, M. Hirayama, S. Ikeda, Y. Takeuchi, 2011. Tank model testing of a fish-cage flotation/submersion system using flexible hoses, *Proc. ASME 2011 30th Intl. Conf. on Ocean, Offshore and Arctic Eng., OMAE2011*, June 2011, Rotterdam, The Netherlands

Kumar V., and Karnatak G., 2014. Engineering consideration for cage aquaculture, *IOSR Journal of Engineering*, Vol. 04, Issue 06 (June. 2014), V6 pp. 11-18.

Kunitsa D., [Z. Rosentraub](#), [M. Stiassnie](#), 2005. Estimates of winter currents on the Israeli continental shelf, *Coastal Engineering* 52 (2005) 93–102

Lee C. W., G. H. Lee, M. Y. Choe, D. H. Song, S. A. Hosseini, 2009. Dynamic behavior of a submersible fish cage, *Proc. ASME 2009 28th Intl. Conf. on Ocean, Offshore and Arctic Eng. OMAE2009*, 2009, Honolulu, Hawaii, USA

Lee C. W., J. Lee, and S. Park, 2015. Dynamic Behavior and Deformation Analysis of the Fish Cage System Using Mass-Spring Model, *China Ocean Eng.*, Vol. 29, No. 3, pp. 311– 324

Leenknecht D. A., A. Szuwalski and A. R. Sherlock, 2004. Automated Coastal Engineering System (ACES), Technical Reference, Coastal Engineering Research Center, USA Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi, USA. Version 1.07, 1992, Veritech Enterprises.,USA

Lekang O.-I., 2007. *Aquaculture Engineering*, Blackwell Publishing Ltd.

Malanotte-Rizzoli, P. and Robinson, A.R. 1988. POEM: Physical oceanography of the eastern Mediterranean. *EOS, The Oceanography Report*, 69: 194-203.

Marine Scotland, 2015. A Technical Standard for Scottish Finfish Aquaculture, The Scottish Government, June 2015, Edinburgh

Mochet C., F. Paquereau, N. Decultot, 2014. Mooring Integrity: Forensics Programs on Used Mooring Connectors Lessons Learned, Present Practices & Future Developments, Deep Offshore Technology International Conference, Aberdeen, Scotland, October 2014., Paper DOT-2014-79

Mojjada S.K., I. Joseph, P. S. Rao, C. K. Mukharjee, S. Gosh AND G. S. Rao, 2013. Design, development and construction of open sea floating cage device for breeding and farming marine fish in Indian waters, *Indian J. Fish.*, 60(1) : 61-65, 2013

Norwegian Standard NS 9415.E:2009, 2009. Marine fish farms - Requirements for site survey, risk analyses, design, dimensioning, production, installation and operation, Norwegian Ministry of Fisheries and Coastal Affairs, 10 Nov. 2009, published April 2010, Standards Norway

Ozsoy, E., A. Hecht, U. Unluata, S. Brenner, H. I. Sur, J. Bishop, M. A. Latie, Z. Rozentraub and T. Oguz, 1993. Synthesis of the Levantine Basin circulation and hydrography, 1985-1990, *Deep-Sea Research H*, Vol. 40, No. 6, pp. 1075-1119.

Perlin, A. and Kit, E. 1999. Longshore sediment transport on Mediterranean Coast of Israel, *Journal of the Waterways, Port, Coastal and Ocean Division, ASCE*, 125 (2), 80-87.

Pillay T. V. R., and M. N. Kutty, 2005. *Aquaculture principles and practices*, 2<sup>nd</sup> Ed., Blackwell Publishing Ltd

Poulain P-M, M. Menna, and E. Mauri, 2012. Surface Geostrophic Circulation of the Mediterranean Sea Derived from Drifter and Satellite Altimeter Data, *Journal of Physical Oceanography*, Volume 42, pp. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JPO-D-11-0159.1>

van Rijn L.C., 1989, *Handbook Sediment Transport by Currents and Waves*, Delft Hydraulics, Rep. H 461.

Robinson A.R., Hecht A., Pinardi N., Bishop J., Leslie W.G., Rosentraub Z., Mariano A.J. and Brenner S., 1987. Small synoptic/mesoscale eddies and energetic variability of the eastern Levantine basin. *Nature*. 327(6116):131-133.

Robinson A.R., Malanotte-Rizzoli, A. Hecht, A. Michelato, W. Roether, A. Theocharis, U. Onluata, N. Pinardi, A. Artegiani, A. Bergamasco, J. Bishop, S. Brenner, S. Christianidis, M. Gacic, D. Georgopoulos, M. Golnaraghi, M. Hausmann, H.-G. Junghaus, A. Lascaratos, M.A. Latif, W.G. Leslie, C.J. Lozano, T. Oguz, E. Ozsoy, E. Papageorgiou, E. Paschini, Z. Rozentroub, E. Sansone, Scarazzato, R. Schlitzer, G.-C. Spezie, E. Tziperman, G. Zodiatis, L. Athanassiadou, M. Gerges, M. Osman, 1992. General circulation of the Eastern Mediterranean, *Earth-Science Reviews*, 32 (1992) 285-309

Robinson, A.R., M. Golnaraghi, W.G. Leslie, A. Artegiani, A. Hecht, E. Lazzoni, A. Michelato, E. Sansone, A. Theocharis and U. Onluata, 2001. The eastern Mediterranean general circulation: features, structure and variability, *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 15 (1991) 215-240

Rosen D.S., 2006. A Winds, Sea Levels and Waves Characterisation of the Eastern Mediterranean, Emphasising the Israeli Coast. in: Rosen S.D. – ed., *A Concise Physical, Chemical and Biological Characterization of the Eastern Mediterranean with Emphasis on the Israeli Coast*, IOLR report no. H07/2006, February 2006, Haifa.

Rosen D.S., and E. Kit, 1981. Evaluation of the Wave Climate at the Mediterranean Coast of Israel, *Israel Journal of Earth-Sciences*, Vol. 30, No. 4, August 1981, pp. 120-134.

Rosentraub Z., Brenner S., 2007. Circulation over the southeastern continental shelf and slope of the Mediterranean Sea: Direct current measurements, winds, and numerical model simulations, *Journal of Geophysical Research Atmospheres* Vol. 112, C11001, November 2007, doi:10.1029/2006JC003775

Rosentraub Z., 1995. Winter currents on the continental shelf of Israel. D.Sc. Research Thesis, Technion-Israel Institute of Technology, Haifa.

Rosentraub Z., and I. Gertman, 1996. Hydrographic survey to investigate the thermohalin structure and circulation on the Israeli continental margin. Final report for year 1996. Ministry of Energy and Infrastructure, Rep. ES-65-96, IOLR Rep. H28/96.

Rosentraub Z., 2000. New current measurements off Tel Aviv-Herzlia coast. Yearly summary Rep. 1999-2000, In: *Assessment of marine environmental impacts due to construction of artificial islands*. Israel Land Management Administration, Progress Rep. No. 8., IOLR Rep. H34/00.

Rosentraub Z., 2004. Current measurements off Ashdod Port. Final Report: Third year of measurements: July-2003-July 2004. Submitted to the Port and Railways Authority. IOLR Rep. H38/2004.



Rosentraub Z., 2006. An overview of the physical oceanography of the Levantine basin. in: Rosen S.D. – ed., A Concise Physical, Chemical and Biological Characterization of the Eastern Mediterranean with Emphasis on the Israeli Coast, IOLR report no. H07/2006, February 2006, Haifa.

Rudi H., J.V. Aarsnes, and L.A. Dahle, 1988. Environmental forces on a floating cage system, mooring considerations. In: Aquaculture Engineering: Technologies for the Future. Ing. Chem. Eng. Symposium series No. 111, pp. 97-122, EFCE, Publication Series No. 66, Institution of Chemical Engineers, Rugby, UK.

Sadhan V. A., V. Nagarajan, S. Moulick, C. K. Mukherjee and B. Dash, 2014. Design aspects and laboratory simulation study of a floating marine fish cage prototype with mooring system, *Indian J. Fish.*, 61(4) : 26-30, 2014

Sarpkaya T., and Isaacson M., 1980, Mechanics of wave forces on offshore structures, Van Nostrand Reinhold Co., N.Y., USA.

Scott D.C.B., and Muir J.F., 2000. Offshore cage systems: A practical overview, in: Muir J., Basurco B.,- Eds., *Mediterranean offshore mariculture*. Zaragoza: CIHEAM, 2000. p. 79-89 (Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches; n.30.

Siddiqui M. A., V. Nagarajan, 2016. Dynamics of a Single Point Mooring Marine Aquaculture Cage as a Simple Vibrating System, Intl. *Journal of Maritime Technology*, Vol.5, Winter 2016 (13-25)

Sim-Smith C., and Forsythe A., 2013. Comparison of the international regulations and best management practices for marine finfish farming, MPI Technical Paper No. 2013/47, National Institute of Water & Atmospheric Research, New Zealand, October 2013

Turner R., 2000. Offshore mariculture: Mooring system design, in: Muir J., Basurco B.,- Eds., *Mediterranean offshore mariculture*. Zaragoza: CIHEAM, 2000. p. 159-172 (Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches; n.30

Veritech Inc., 2004. CEDAS ver 4.03, updated 2015.

Zhao Y., T. Xu, C. Bi, G. Dong and S. Liu., 2012. The Numerical Simulation of Hydrodynamics of Fishing Net Cage, in: Zheng Jinhai, ed., *Hydrodynamics - Theory and Model*, Chapter 12, InTech, March 2012, <http://www.intechopen.com/books/hydrodynamics-theory-and-model>