

להנות מבלי להסחף

הכרות עם תהליכים חופיים המתרחשים בהשפעת הרוח והגלים, ועם הזרמים שהם יוצרים, כדי לחזור הביתה בריאים ושלמים

מאת

סרגיו דב רוזן¹, P.E., M.Sc.

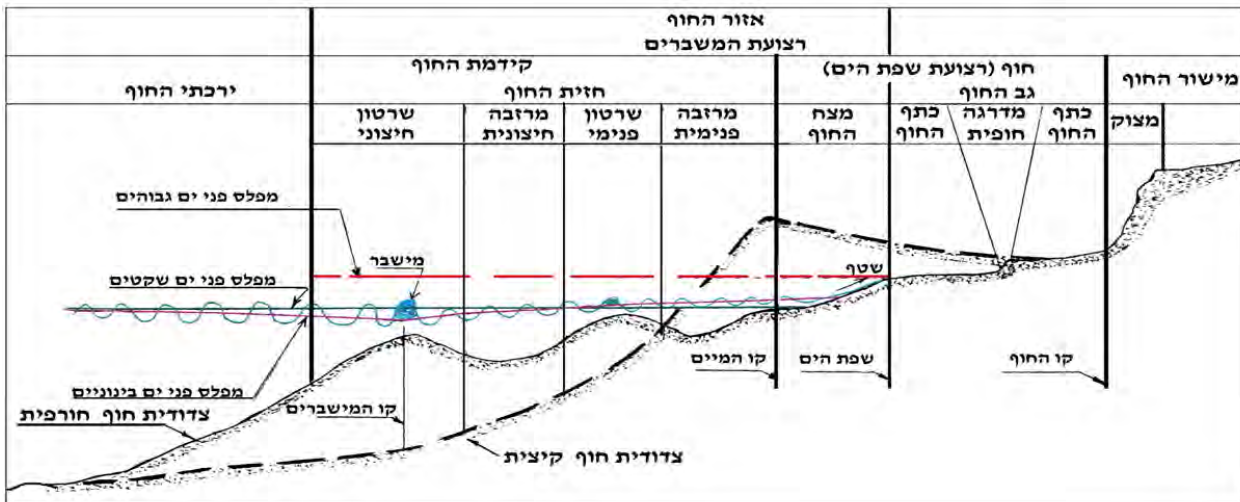
רקע

אזור חוף הים הוא מקום שמושך בארץ כמו בכל מקום בעולם את הציבור כדי לנפוש, לעשות פעילות ספורטיבית, לטייל, לפגוש חברים, לאהוב ועוד. מצער מאוד לכן, כאשר מדי שנה בשנה, במיוחד לפני תחילת עונת הרחצה ולאחר סיומה, אך גם במהלכה, שומעים על מקרים לא מעטים של אירועי טביעה של אנשים. בנוסף מצער להבין, כי כמעט בכל המקרים, האנשים טבעו בעקבות התנהגות שגויה, שנבעה מחוסר ידיעה של התהליכים החופיים המתרחשים באזור החוף בהשפעת הרוח, הגלים והזרמים המושרים על ידם. ישנה אמרה שהים אכזר למי שמתנגד לו, ולכן חכם ונכון יהיה לפעול עם הים, על כן יש קודם כל להכירו. אנסה במאמר זה להביא לידיעת הקוראות ודרכוה מקווה גם לבני ביתם, חבריהם ומכריהם, מידע חיוני להבנת המתרחש בבואם להיכנס לרוחץ או לשחות בים מכל סיבה שהיא.

מבוא

אזור החוף בישראל מאופיין לרב מחופים חוליים, אך ישנם גם מקומות עם חופים סלעיים. בשני המקרים, בהשפעת הרוח והגלים נוצרים זרמים הנעים בים ומסיעים מסות מים וכל הנמצא בתוכם. זרמים אלה יכולים להיות מסוגים שונים ולנוע בכיוונים שונים ובמהירויות שונות וגם יכולות להשתנות בזמן וממקום אחד למשנהו. כידוע לישראל יש חופים בים התיכון, במפרץ אילת בים האדום, בים המלח ובכנרת. התנאים בחוף ים אחד יהיו לרב שונים מאלה שבים אחר וגם באותו ים יתכן כי יהיו שונים מקטע חוף אחד לקטע אחר. מומלץ לכן להתעדכן ככל הניתן בתחזית מזג האוויר ותנאי הים באזור החוף שבו הולכים להימצא. למרות שאתיחס בהמשך לחוף הישראלי בים התיכון, השפעת הרוח והגלים על התפתחות הזרמים ביתר החופים זהות באופן עקרוני, אולם ערכי האפיינים של הרוח (כיוון ועוצמה) ושל הגלים (גובה, זמן מחזור וכיוון) יהיו שונים, ולכן הזרמים שיתפתחו יכולים להיות בעלי אפיינים שונים.

איור מס' 1 - הגדרת מונחים בצדודית החוף וזיהוי הערמות מושרית גלים בפני הים



החוף הישראלי בים התיכון, באופן כמעט רציף החל מחופי סיני ועד מפרץ חיפה, מרופד בחלקו הרדוד (עד קו עומק 30 מ' בקרוב) בחול קוורצי שמקורו בנילוס אך מעכו צפונה בחול קרבונטי, בקטעי חוף קטנים היוצרים כיסי לכידת חול, שמקורו העיקרי משחיקת קונכיות צדפים. לאורך החוף יש גם מקטעים סלעיים, כגון באזור חוף הבונים, ובחופים מעכו עד ראש הנקרא. אם נבחן חתך של צורת החוף בניצב לקו החוף, בחוף חולי, נקבל את תצורת צדודית החוף כמתואר עקרונית באיור מס' 1. צורת הצדודית משתנה בעיקר בין צדודית חרפית הנוצרת בהשפעת הרוחות

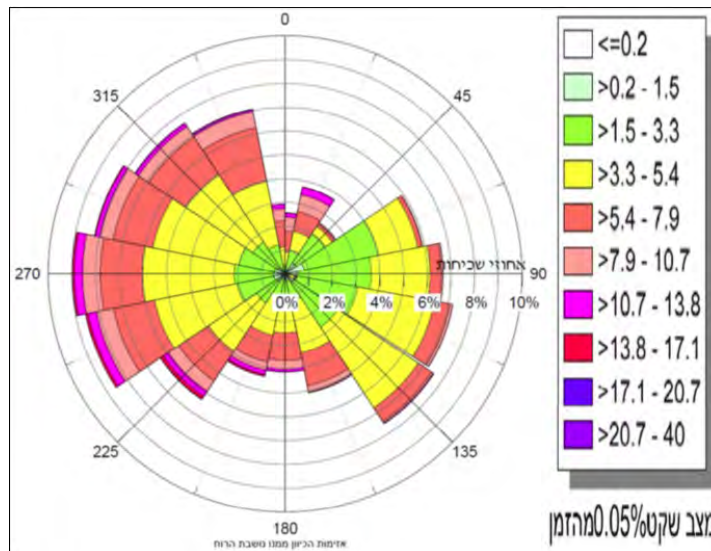
¹ הכותב הוא מנהל המחלקה לגיאולוגיה ימית ותהליכים חופיים במכון הלאומי לאוקיאוגרפיה, חקר ימים ואגמים לישראל, מהנדס חופים ימי, מתאם תכנית MedGLOSS וחבר וועדת ההיגוי של התכנית להקמת מערכת התרעה מוקדמת מצונאמי בים התיכון NEAMTWS.

החזקות והגלים הגבוהים והתלולים בעת סערות החורף, לעומת צדודית קיצית, שנוצרת בהשפעת הגלים הנמוכים יותר והפחות תלולים ומהרוחות החלשות יותר בעונת הקיץ. השפעת סערות החורף והזרמים המושרים על ידם מביאה לכך כי החול במצח החוף נגרע, מוסע ומושקע בים בעומקים של מספר מטרים, תוך יצירת מספר שרטונות. ככל שסערות החורף חזקות (ונדירות) יותר, נוצרים שרטונות בעומקים גדולים יותר. לרוב ניתן להבחין בשרטון עמוק על קו עומק 7 מ' בקרוב, אחד על קו עומק 5 מ' בקרוב ושלישי על קו עומק 2 עד 3 מ' בקרוב. בעונת הקיץ, חול מוסע לכיוון שפת הים, בעיקר מהשרטונות הרדודים יותר, תוך בניית מצח חוף גבוהה ותלול, עד בוא עונת סערות החורף הבאה, וחוזר חלילה.

משטר הרוחות במימי החופין של ישראל בים התיכון

משטר הרוחות מכתוב את האופייניים של גלי הרוח אך גם פועל ישירות על כלי שיט ומשפיע גם על זרמים המתפתחים בעיקר בתחום שמחוץ לרצועת המישברים ובתחום המים הרדודים, וגם במרחקים של למעלה מ-2 ק"מ מהחוף. **בעונת הקיץ**, בעיקר מאמצע יוני עד אמצע ספטמבר, כתוצאה מהחום הגבוה מעל אסיה, נוצר מעל היבשת השקע המונוסוני, שקע עמוק יחסית, הנותר די יציב במשך כל תקופה זאת. מתוך שקע זה נשלחת שלוחה של אפיק הקרוי "אפיק פרסי" העובר דרך פרס, עיראק וסוריה, ממשיך בהקיפו את טורקיה וחוזר דרך קפריסין לישראל ומשם פונה דרומה למצרים ומזרח אפריקה. עקב האפיק הפרסי מתקבלים לחצים נמוכים יותר בדרום טורקיה ובאזור קפריסין מאשר בתחום מימי החופין של ישראל בים התיכון. לחצים אלה גורמים להתהוות הפרשי לחץ המחוללים רוחות הנושבות מכיוון מערב בקרוב. תנודות בהפרשי הלחצים האלה יכולים לשנות במקצת את כיוון הרוח ומהירותה, (לרב נמצאת בטווח שבין 2.5 עד 4 מ'שנ'). **מאביב עד סתיו** הרוח נושבת ברצועה הקרובה לחוף בים וביבשה. **רוח הבריזה**, שהיא רוח בעלת מהירות בסדר גודל של כ-1.5 עד 2.5 מ'שנ', נגרמת עקב הפרשי טמפרטורה של אזור החוף והים. כיוון ומהירות הבריזה משתנה במשך היממה: בשעות הבוקר הבריזה נושבת אל היבשה עקב התחממות מהירה יותר של היבשה מאשר הים, ונושבת לכיוון הים אחר הצהריים עקב התקררות יותר מהירה של היבשה בשעות הערב והלילה, לעומת טמפרטורת מי הים הנוותרת כמעט ללא שינוי בין יום ולילה (רק כ-1°C). בתקופה זאת, מכיוון שגרדיאנט האפיק הפרסי איננו גדול, הופכת רוח הבריזה להיות בעלת השפעה משמעותית על משטר הרוחות. בשעות הבוקר (9-10) הרוח נושבת מדרום מערב בעוצמה של 2.5 עד 4 מ'שנ', בשעות הצהריים משנה כיוון למערבית בעוצמה של כ-4 עד 5 מ'שנ', אחר הצהריים (14-17) נושבת מצפון-מערב בעוצמה של 5 עד 7.5 מ'שנ', ודועכת לגמרי לקראת הלילה. לעיתים, מוקדם בבוקר קורה שהרוח הנגרמת ע"י האפיק הפרסי גוברת אם טמפרטורת היבשה נמוכה ומתקבלת רוח מזרחית או דרום-מזרחית בעוצמה של 1.5 עד 2.5 מ'שנ'. בתחילת הקיץ, כשמי הים קרים יחסית והיבשה עדיין חמה, מהירות רוח הבריזה גבוהה יותר מבאוגוסט, אז טמפרטורת מי הים כמעט כמו טמפרטורת היבשה.

איור 2 - שושנת שכיחות מהירות הרוח הממוצעת השעתית ב-מ'שנ' לפי מדידות חיא"ל בקצה מזח הפחם בחדרה



בעונת החורף מזג האוויר נשלט ע"י מעבר מערכות ציקלוניות (נגד כיוון השעון) הנעות ממערב למזרח. מעבר הציקלונים גורם למצבים מאד בלתי יציבים, כשמרבית הרוחות נושבות מהכיוונים דרום-מערב עד צפון מערב דרך מערב. אף כי השקעים בים התיכון קטנים יחסית לאלה המתפתחים בקווי רוחב צפוניים יותר, הם מסוגלים לחולל עדיין רוחות חזקות ובקצב התפתחות מהיר יחסית. הציקלונים עוברים גם בעונת האביב והסתיו, אך באביב עוצמת השקעים יורדת הדרגתית מתנאי חורף לתנאי הקיץ, והפוך בסתיו. בנוסף למצבים האופייניים שתוארו לעיל צריך להזכיר מספר סוגי רוחות המתפתחים במצבים מיוחדים. המצב הראשון מתרחש לרב באביב ובסתיו ויוצר את רוח השרב. הדבר מתרחש כאשר נוצר שקע שנוע לאורך המדבר הלווי הנע לכיוון מזרח מעל אפריקה. עם הגיעו למצרים,

נוצרת ירידה חדה בלחץ האטמוספרי ומתפתחות רוחות מזרחיות בארץ. כתלות בגודל השקע מתקבלות רוחות בעלות מהירות בין 2.5 עד 5 מ'שני בשקע קטן, ושל 15 עד 20 מ'שני בשקע עמוק. לעיתים השקע נע לאחר מכן צפונה וגורם להתפתחות מהירה של גלים דרום מערביים עד מערביים בעיקר במרכז וצפון חופי הארץ. מצב אחר של התפתחות רוחות הוא כאשר נוצר אפיק מכיוון ים סוף כלפי מזרח הים התיכון, וגם אז נוצרות רוחות מזרחיות, אך עם מהירויות נמוכות יותר. ראוי להזכיר גם תופעה שמתרחשת בסוף הסתיו - בתחילת החורף, אז מתפתחות רוחות מזרחיות קרות ויחסית חזקות, שהערבים מכנים בשם "שרקיע". באיור מס' 2 מוצג גרף השכיחות השנתית הממוצעת של הרוח בקרבת החוף, על בסיס מדידות בתחנת חקר ימים ואגמים לישראל (חיא"ל) בקצה מזרח הפחם בחדרה.

היוצרות הגלים בחוף הים התיכון של ישראל

התפתחות הגלים בפני הים נגרמת ע"י גורמי סביבה שונים. הגלים העיקריים המשפעים על התהליכים המתרחשים באזור החוף הם גלי הרוח, אך ישנם גלים נוספים בעלי השפעה על המתרחש באזור החוף, כגון גלי מועדי הים (גאות ושפל) וגלים המתפתחים בעקבות רעידות אדמה (צונאמי) שלא נדון בהשפעתם כאן.

בהמשך אתייחס בעיקר לגלי רוח המתקדמים אל אזור החוף של ישראל בים התיכון. גלים אלה מאופיינים ע"י גובה הגל (מדוד משפל הגל לשיא הגל), זמן המחזור של הגל (הזמן הדרוש למעבר שני שיאי גלים עוקבים דרך נקודה קבועה), וכיוון ההתקדמות של הגל. המרחק בין שיאי שני גלים עוקבים נקרא אורך הגל. מהירות התקדמות הגל (הנקראת חפזות הגל) מוגדרת כמנה של אורך הגל לזמן המחזור שלו. כללית ניתן למיין את הגלים לפי מיקום הגלים ביחס למיקום היווצרותם ע"י פעולת נשיבת הרוח על פני המים. כאשר הגלים המתפתחים נעים בתוך אזור היצירה, הם נקראים גלי רוח (sea waves) ואפייניהם (זמן המחזור, גובה הגל וכיוון ההתקדמות הגל) תלויים במשך הזמן של נשיבת הרוחות, בעוצמת הרוחות ובאורך התחום בו נושבות הרוחות (fetch), וכיווניהם יהיו בכיווני תנועה בטווח של $\pm 90^\circ$ ביחס לכיוון נשיבת הרוח. כאשר הגלים מתקדמים אל תחומים שמחוץ לאזור בו נוצרו, מתחילה הפרדה בין הגלים בעלי זמני המחזור השונים. אלה ארוכים יותר (עם זמני המחזור ארוכים) נעים במהירות גבוהה יותר מהגלים הקצרים יותר. לכן, במרחק מסוים מאזור היצירה בו נושבת הרוח, ניתן יהיה להבחין בגלים ארוכים המתקדמים אל כיוון החופים למרות שאין שם רוחות מקומיות. גלים אלה נקראים גלי גיבוע (swell). הגלים נעים לכיוון החופים מבלי לשנות את ערכי האפיינים שלהם, כל עוד המים עמוקים די שלא תורגש הקרקעית. כאשר הגלים מתקרבים לחופים הם מתחילים "להתחכך" בקרקעית ומאותו רגע מתחילים לשנות את אפייניהם בהתקרבם לחוף. הגבול של תחום המים העמוקים מוגדר כעומק המים הגדול ממחצית אורך הגל ואם ידועים אופייני הגלים במים עמוקים ניתן לקבל אומדן טוב של אפייני הגלים במים רדודים יותר ע"י חישוב השינויים הצפויים להתרחש במצב נתון כלשהו. התקדמות הגל לכיוון החוף מתרחשת תוך שינוי אורך הגל וגובה הגל בהשפעת פעולה משולבת של שתי תופעות הקרויות יחד רפרקציית גלים. התופעה הראשונה היא תופעת ההחפה (shoaling) בה אורך הגל ומהירותו קטנים ככל שהמים נעשים רדודים יותר, והתופעה השנייה היא רפרקציית הגלים (wave refraction) שגורמת לשינוי כיוון התקרבות הגלים, עם שאיפה להגיע עם חזית הגלים ככל שניתן במקביל לקו החוף. רפרקציית הגלים (המשולבת) גורמת לכך שגובה הגל עולה לעומת הקטנת אורכו תוך התקדמות לכיוון החוף עד למצב שבו הגל יהיה מאוד תלול, מצב לא יציב שיביא לשבירת הגל. בהמשך יוצר גל חדש קטן וקצר יותר שימשיך לכיוון קו המים, ששוב ישבר וכך הלאה. בחינה של כיוון התנועה של חלקיקי המים במהלך מחזור גל אחד מראה כי בשיא הגל תנועתם היא בכיוון התקדמות הגל ובשפל הגל היא מנוגדת לכיוון זה. ככל שהגל מתקדם למים רדודים יותר, משתנה צורת הגל והופכת אסימטרית, עם הגדלת גובה שיא הגל ופחיסת שפל הגל. ניתן להראות כי קיים קשר ישיר בין גובה הגל הנשבר לעומק המים בו הוא נשבר. נוסחה מקורבת היא שגובה הגל הנשבר הוא 0.78 מעומק המים במקום השבירה, אך בפועל היחס נע בין 0.5 עד 1 בקרוב, כתלות בשיפוע הקרקעית וזמן המחזור של הגל.

גלי הרוח המגיעים לחוף הישראלי נוצרים באגן הים התיכון ע"י הרוחות הנושבות בו. משטר הרוחות שתואר מקודם מכתוב את האפייני גלי הרוח. בעונת החורף מזג האוויר נשלט ע"י מעבר מערכות ציקלוניות הנעות ממערב למזרח, כמסומן באיור 3. במערכות אלה כיוון הרוח הינה נגד כיוון השעון במשיק לקווי שווי הלחץ. מעבר הציקלונים גורם למצבים מאד לא יציבים. אורך משב הרוח המרבי הינו בכיוון מערב, לכן זה הכיוון ממנו מתקבלים הגלים הגבוהים ביותר. הציקלונים נעים יחסית לאט, ונדרשים לרוב מספר ימים לנוע באגן המזרחי של הים התיכון. לעיתים, הציקלונים נשארים אפילו כמעט ללא תנועה יום או יומיים באזור קפריסין, ואז מתקבלים מצבי רוחות הנושבים מכיוונים מערביים במשך זמן רב יחסית, דבר המחולל התפתחות סערות עם גלים גבוהים בחוף הישראלי. גם באביב ובסתיו מתרחש מעבר הציקלונים, אך באביב עוצמת השקעים יורדת הדרגתית מתנאי חורף לתנאי הקיץ, וההפך בסתיו. מכיוון שהגלים שנוצרו בתא סערה מסוים נעים בכיוונים שונים, הגלים המתקרבים למקום מסוים יהיו רק גלים ממרווח כיוונים מסוים. לכן, כפי שמתואר באיור 3, הכיוון הממוצע של הגלים במים עמוקים בקרבת החוף יהיה שונה לאורך החוף. בקיץ נקבל לאורך החוף מהדרום עד הצפון מצבי גלים עם כיוונים שונים, בהפרישי זוית התקרבות של עד כ-25 מעלות. לעומת זאת, בחורף, נקבל הפרישי זוית של מספר מעלות ספורות בלבד (2-8). יתר על כן, לעיתים, בגלל שחלק מהסערות מתפתחות מכיוון הים האגאי או אפילו מהאדריאטי, נקבל מצב כיוון גלים כמעט זהה מאזור הדרום עד אזור המרכז, ורק משם צפונה נקבל שינוי בכיוון התקרבות הגלים, לפחות בחלק מהסערה.

איור מס' 3 – מסלול תנועת הציקלונים בסערות החורף ושינוי כיוון הגלים לאורך החוף הישראלי בים התיכון

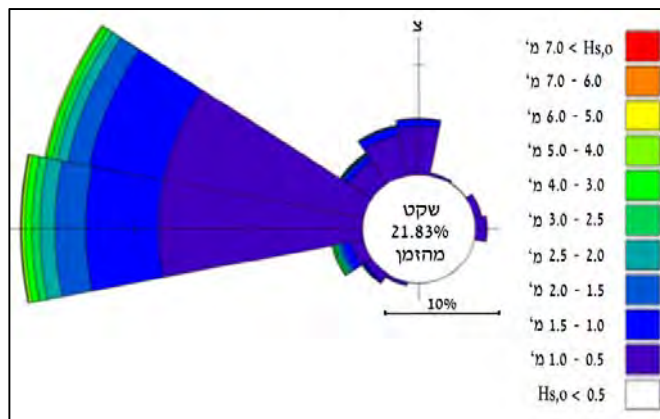


משטר הגלים בחופי ישראל בים התיכון

משטר הגלים בחופי ישראל בים התיכון במים עמוקים די דומה לכל אורך החוף הישראלי, עם עלייה קטנה בגובה הגל בעת סערות החורף ככל שמצפינים ושינוי בכיוון התקרבות הגלים כפי שתואר לעיל. לעומת זאת, יש לשים לב כי הנטייה של קו החוף וקווי העומק משתנים לאורך החוף מזרם לצפון. לדבר זה יש חשיבות ניכרת כפי שיתואר בהמשך. ניתן לסווג את גלי הרוח לשלוש קבוצות, על פי טווח הזמן בו מעוניינים לבחון את השפעות הגלים: טווח זמן קצר, טווח זמן ארוך וטווח זמן קיצוני. בטווח הזמן הקצר עוקבים אחר הקשרים בין הגלים השונים המתקיימים במשך זמן קצר של דקות עד שעות בודדות, ע"י בחינת הקשרים בין הפרמטרים המאפיינים כל מצב ים בטווח זמן קצר. השתנות פרמטרים אלה במשך ימים, חודשים ושנתית נתונה ע"י אפיון מצב הים לטווח זמן ארוך, והשתנות פרמטרים אלה בטווחי זמן של עשרות עד אלפי שנים ניתנת ע"י האפיון לטווח זמן קיצוני.

בטווח הזמן הקצר ניתן להתייחס לתכונות הגלים ולקשרים בין הגלים הבודדים, ואפשר להראות שמבחינה סטטיסטית דטרמיניסטית, גובה הגלים השונים עוקב אחר פרוס הנקרא ריילי (Rayleigh) הקושר בין גובהי הגלים השונים על פי הסתברות הופעתם, ומספיקה ידיעת ערך גובה הגל הממוצע ומספר הגלים במשך תקופת זמן קצרה של עד מספר שעות, כדי שניתן יהיה להעריך גובה כל גל באותה תקופת זמן. מקובל להשתמש בגובה גל אחר הקרוי גובה גל סיגניפיקנטי (significant) המייצג את גובה הגל השקול לגובה ממוצע שליש הגלים הגבוהים באותו מצב ים ומקובל לסמן גובה זה בסימון H_s או $H_{1/3}$. בחוף הישראלי, גלי הרוח מקומיים הם בעלי זמני מחזור קטנים (3 עד 8 שניות) לעומת גלי סערה, בעלי זמני מחזור מעל 9 שניות. לפי כך, אפשר להגדיר את המיקום בו נשברים הגלים, כאשר התחום שבין קו המים בחוף וקו התחום בו נשברים הגלים מכונה רצועת המישברים. באיור 4 מוצגת שושנת גובהי הגלים במים עמוקים מול חופי חדרה, על בסיס מדידות שבוצעו בקצה מזרח הפחם בחדרה.

איור מס' 4 – שושנת התפלגות כיווני הגלים והגבהים במים עמוקים מול חופי חדרה



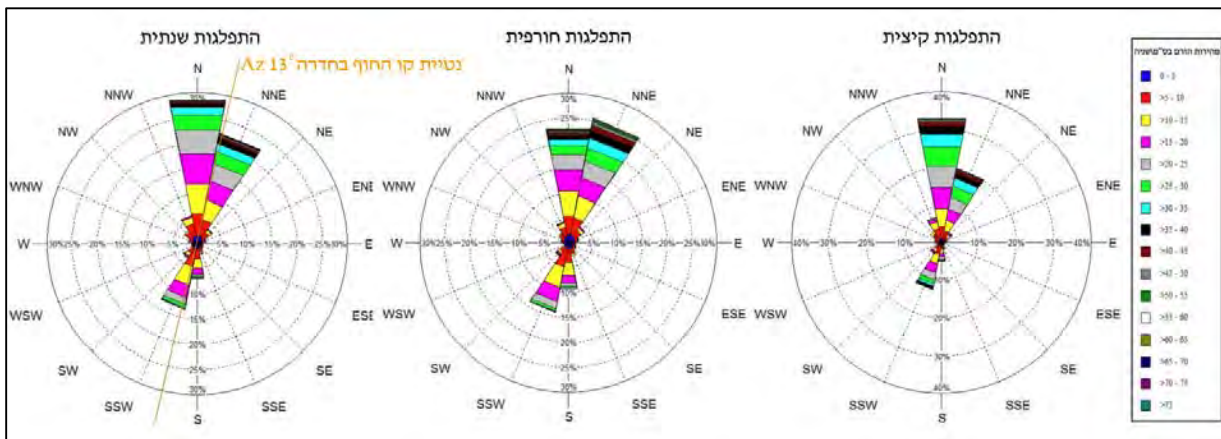
משטר הזרמים בחופי ישראל בים התיכון

מחוץ לרצועת המישברים של החוף הישראלי, הזרימה הכללית נגרמת בעיקר ע"י הזרם הגיאוסטרופי וע"י הרוח, דבר היוצר שקול זרימה מקבילה לקווי העומק בקרוב, שעוצמתה עולה בעת התרחשות רוחות מקומיות חזקות. הזרימה

הגיאוסטרופית (הכללית) הינה ציקלונית, בכיוון מנוגד לכיוון השעון (צפונה) רב הזמן (כ-70% מהזמן בשנה) ומקבילה באופן כללי לקו החוף. לעיתים היא יכולה לשנות כיוון ולנוע בכיוון הפוך למשך מספר ימים עד שבועות. הזרמים במרבית הזמן הינם חלשים עם מהירויות של כ-5 עד 10 ס"מ/שנייה. הפרוס האנכי של עוצמת הזרם בחוף די אחיד, אך היא קטנה בכיוון הקרקעית בקיץ.

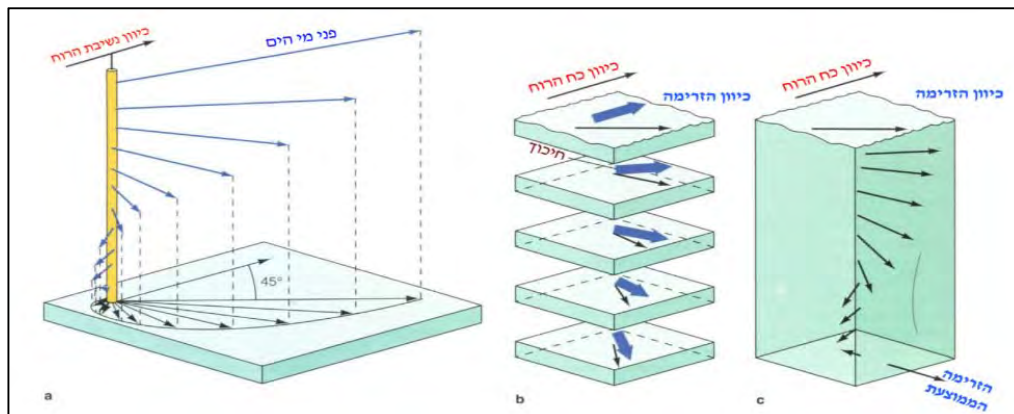
כמו כן, לגבי הפרוס לאורך חתך ניצב לקו חוף, ניתן לציין אזור של המהירות זרימה הכללית די אחיד בטווח קווי העומק 30 עד 100 מ', לאחריו תחום של הגדלת המהירות במדרון היבשת במספר אחוזים עד מספר עשרות אחוזים (בין קווי עומק 100 מ' עד 150 מ') ולאחר מכן ירידה לערך שקרוב לזה שבין 30 מ' עד 100 מ' בקרוב. בין קו עומק 30-100 מ' וקו החוף ישנה הקטנה של מהירות הזרם הגיאוסטרופי לכיוון החוף, עד כמעט אפס בקו החוף. ואולם, במקרים מסוימים נצפו וגם נמדדו זרמים בעלי מהירות של למעלה מ-1 מ/שני (ערך מרבי מדוד מעל 1.4 מ/שני). מדידות אקראיות באזור עתלית במאה שעברה הצביעו על קיום זרמים חזקים יחסית באזור זה, שלא היו מוכרים באזורים אחרים. תרומת הרוח לעוצמת הזרמים וכיוונם הינה משמעותית ביותר ולרב השלטת. כמו כן, על פי מדידות קיימות, ניתן לומר כי העוצמות הגדולות של הזרמים נמדדו כמעט תמיד כאשר כיוון הזרם היה צפוני, במקביל בקרוב לקווי העומק. באיור 5 מוצגת שושנת מהירויות הזרמים השנתית, החורפית והקיציית הממוצעת מול חופי חדרה כ-2.1 ק"מ מהחוף 5 מ' מתחת לפני הים. אפשר לומר כי היא מאפיינת את משטר עוצמות הזרמים במרחק ועומק כאלה מהחוף, מלבד מבחינת הכיוונים, המשתנים יחסית לשינוי של איזמות הניצב לקו החוף בחופים אחרים.

איור 5 - שושנת הזרמים מול חופי חדרה 2.1 ק"מ מהחוף, 5 מ' מתחת לפני הים (קיץ 04-10; חורף 01-03, 11)



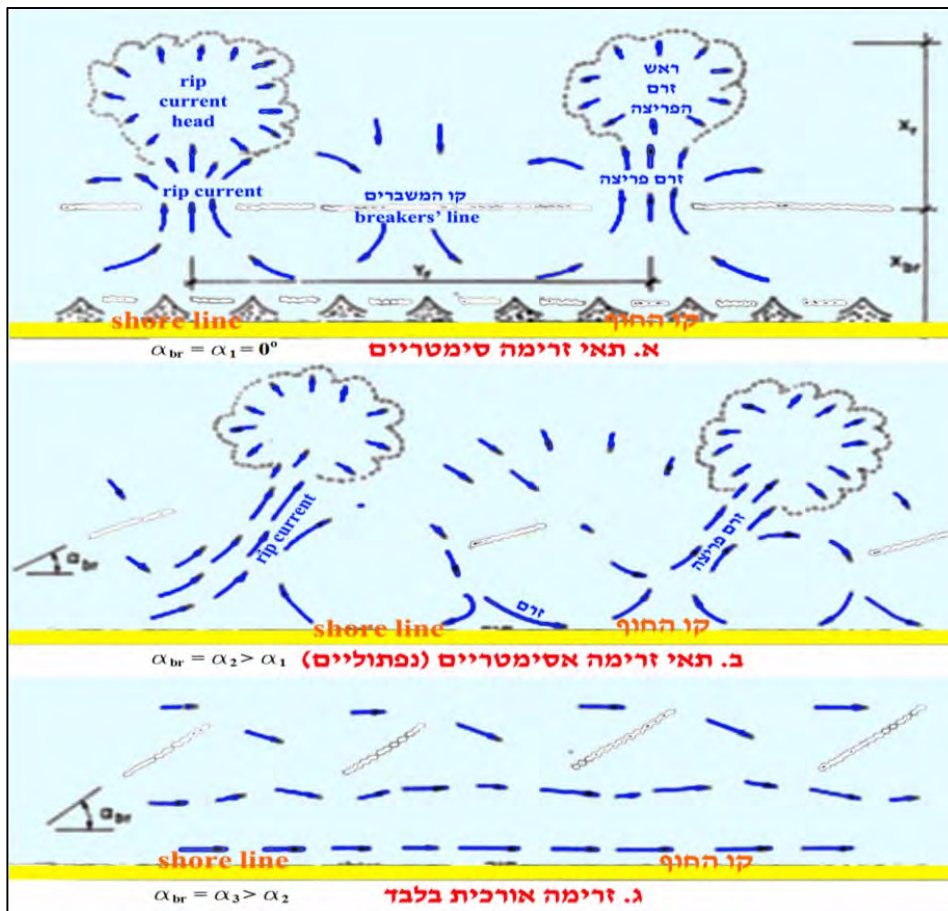
ראוי לציין גם כי בעת נשיבת רוחות מקומיות מתקבל שינוי בכיוון הזרם בעמודת המים שינוי הקרוי תופעת **ספירל Ekman** והיא מומחשת באיור 6 שבו שלושה איורי המשנה להסבר כלהלן: (a) מודל ספירל Ekman שתואר לעיל; (b) ניתן לתאר את עמודת גוף המים כמורכבת משכבות מים. השכבה העליונה מונעת קדימה על ידי נשיבת הרוח עליה, וכל שכבה מתחתיה תנוע בהשפעת כח קוריוליס באמצעות כח החיכוך בין השכבות. כל שכבה עוקבת נע במהירות איטית יותר, ובהסתת כיוון ביחס לשכבה שמעליה (ימינה בחצי הכדור הצפוני, שמאלה בחצי הכדור הדרומי) עד שהשפעת החיכוך הופכת זניחה; (c) למרות שכיוון הזרימה שונה עבור כל שכבה בעמודה, הממוצע התיאורטי של כיוון הזרימה של המים בחצי הכדור הצפוני הוא 90° ימינה מכיוון הרוח הנושבת בפני המים. בסופו של דבר, הזרם המתקבל יהיה השקול של הזרם מושרה ע"י הרוח והזרם הגיאוסטרופי הכללי.

איור 6 – תאור תופעת ספירל Ekman לשינוי בכיוון הזרם בעמודת המים בהשפעת הרוח המקומית



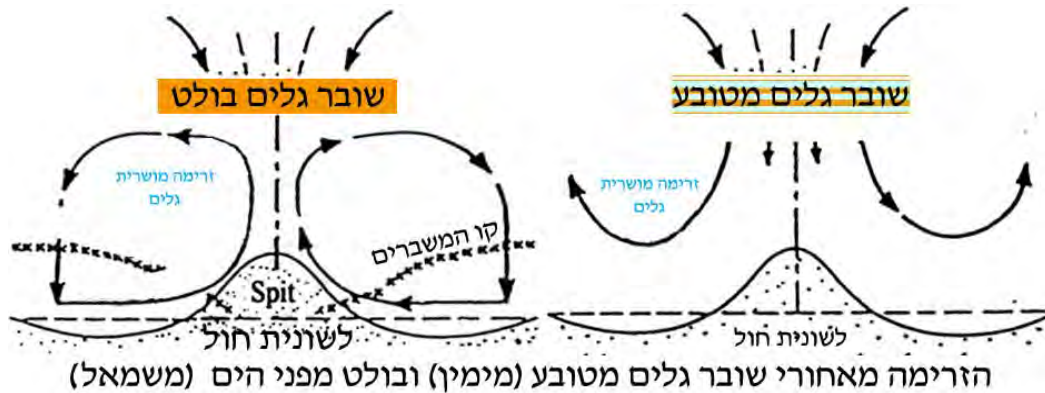
בתוך רצועת המשברים (שלו רוב הינה בין קו החוף לקו עומק 5- מ' עד 10- מ' בסערות גדולות) מתקיימת זרימה שמושרת בעיקרה ע"י הגלים ובזמן סערות גם ע"י תרומה של נשיבת הרוח. היא מתבטאת בעיקר בקיום זרימה לאורך החוף, על-פי כיוון ההתקרבות של הגלים. עוצמתה הזרימה האורכית תלויה בזווית התקרבות הגלים ביחס לאוריינטציה קו החוף (ככל שהזווית גדולה יותר עולה עוצמת הזרימה לאורך החוף, ובמקרה של גלים ניצבים לחוף זרימה זאת נעלמת כמעט לגמרי ונוצרים זרמים חזקים הקרויים זרמי פריצה (rip currents), הנעים מקו החוף עד מעבר לגבול רצועת המשברים, שם דועכים במהירות. מבחינים בזרם פריצה באזור הצואר, בו המהירות הכי גבוהה, ובראש בו דועכת המהירות. במצבי ביניים נוכחים בקיום שני סוגי הזרמים הנ"ל. סוגי הזרמים מושרי הגלים המתפתחים ברצועת המשברים כתלות בכיוון התקרבות הגלים ביחס לקווי העומק והחוף מוצג באיור 7. **הזרם האורכי** (longshore current) משנה עוצמתו בחתך ניצב לחוף, תוך השגת מהירות מרבית במרחק של כשני שלישי של מרוחב רצועת המשברים, מדוד מקו החוף. בזמן סערות המהירות המרבית של הזרם האורכי יכולה לעלות על 2.5 מ'שני. **זרמי הפריצה** יכולים גם הם להגיע למהירויות של 2 עד 3 מ'שני, אך לא רק במצבי סערה אלא גם במצבי ים שקטים יותר. חשוב לציין כי זרמי הפריצה הם זרמים צרים ביותר (מטרים בודדים) המופעים לאורך החוף כל כמה עשרות עד מאות מטרים, ונעים משפת הים אל מעבר לקו המשברים, שם מהירותם דועכת מהר. הם יכולים לתרום להובלת מזהמים, חומר מרחף וגם אנשים מקרבת שפת הים אל מעבר לקו המשברים אל תחום המים העמוקים. קיימים זרמי פריצה "כלואים" למיקום מסוים, בין אם זה תבליט מיוחדת בקרקעית כורכרית (למשל דרמית לשדות ים) וגם ליד ראשי דורבנות וראשי שוברי גלים מנותקים. אולם, גם בחוף הטבעי ללא מבנים, ניתן לפגוש זרמי פריצה, שעוצמתם, והמרווחים ביניהם מושפעים מאופייני הגלים (כיוון, גובה, זמן מחזור). בהרבה מקרים, הגלים המתקרבים אל החוף מעבירים מסת מים מעל שרטונות החוף הרדודים, ומסה זאת מנוקזת הימה ע"י יצירת זרם פריצה שיצור תעלה צרה ועמוקה בקרקעית. במחקר שבוצע ביפן נמצא כי מתרחף רגיל הנמצא טבול במים עד מותניו יתקשה להתנגד לזרם של 0.15 מ'שני, ואפילו שחיין מקצוען יתקשה מאוד לשחות כנגד זרם פריצה בעל מהירות גבוהה מ-0.5 מ'שני (1 קשר).

איור מס' 7 – תיאור עקרוני של סוגי הזרמים מושרי גלים בתוך רצועת המשברים ובקרבתה



לעומת תבנית הזרימה בחוף טבעי ללא מבנים שתוארה לעיל, במקרה של נוכחות שובר גלים בולט, תבנית הזרמים שונה מאחוריו וליד ראשיו, כמתואר באיור 8.

איור 8 - תבנית הזרמים מאחורי שובר גלים בולט מפני הים ומאחורי שובר גלים מטובע



ההבדל המהותי הוא שהגלים מציפים את תחום שובר הגלים המטובע, ושהמים יכולים להתנקז הימה גם מעל שובר הגלים, בו בזמן שמסת המים של הגלים החודרים לתחום המוצל על ידו אינם יכולים להתנקז מעל שובר הגלים. יתרה מכך, מסתבר כי כאשר גל מגיע לנקודת שבירה, נוצר מצב שמפלס הים באותו מקום קטן מעט לכיוון הים הפתוח, וההקטנה דועכת מהר, אל לכיוון החוף מפלס הים הממוצע עולה, ככל שמתקרבים לחוף ומגיע לשיא בקו המים (ראה איור 1). כמו כן, ככל שגל גבוהה יותר הוא יישבר בקו עומק גדול יותר ורחוק יותר מהחוף. כעת אם נבחן את המצב עבור שובר הגלים בולט, נמצא כי מאחוריו גובה המשברים יהיה יותר נמוך מאשר בחוף הלא מוגן שבצדדיו. לפי התאור הקודם, תיווצר בחוף הלא מוגן הערמות במפלס הים הממוצע גבוהה מההערמות שבאזור החוף המוגן, וכתוצאה מכך יתפתח זרם צירקולטורי, שיסיע סדימנטים לתחום המוצל, ייצור לשונית חול או במצבים מסוימים אפילו טומבולו (לשונית חול מחוברת לשובר הגלים). זרם זה מהווה גם הוא מעין זרם פריצה שיצא ליד ראשי שובר הגלים או רק ליד אחד מראשיו אם ישנם גלים המתקרבים בזווית אלכסונית לשובר הגלים.

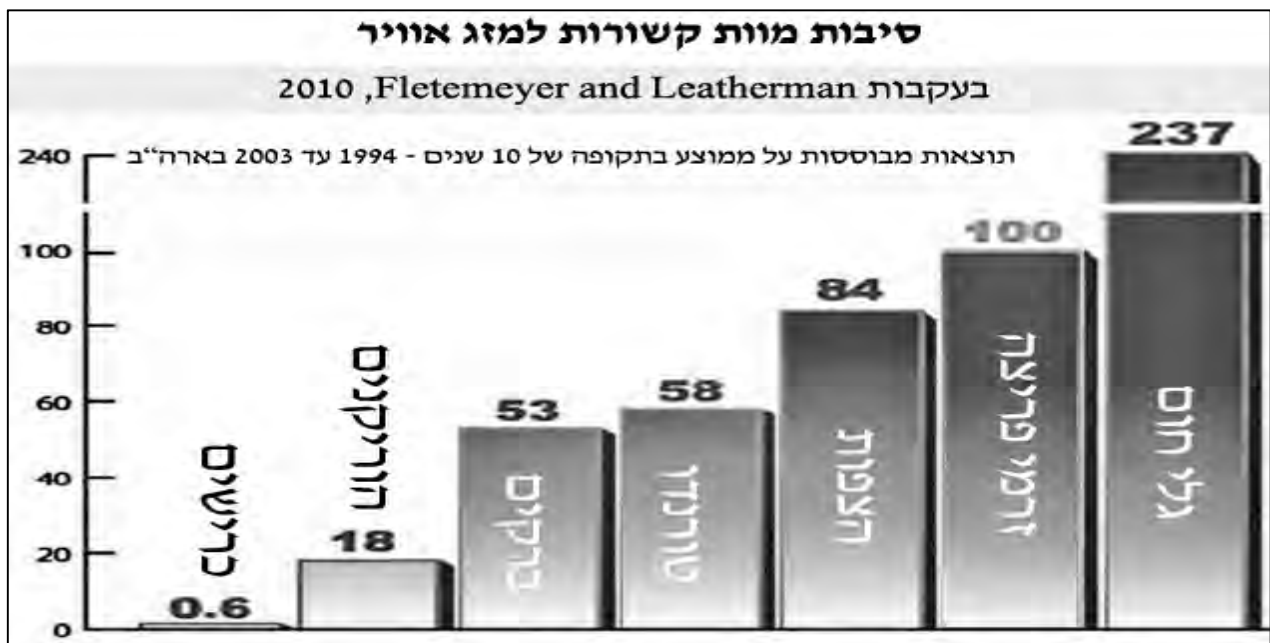
להנות מבלי להשחף כדי לחזור הביתה בשלום ובכף

כעת, לאחר שעשינו הכרה עם תכונות הרוחות והגלים והזרמים המושרים על ידם, נדון בנושא של התנהגות נכונה בחוף הים, כדי לא להגיע למצבי סיכון בטביעה. התמונה הימנית באיור 9, ממחישה הסכנה העורבת למתרחצים בחוף ללא נוכחות מצילים ורחוק מסוכת המציל, שלא מודעים לתהליכים שתוארו מקודם. משפחה שלמה עומדת בחוף מול מיקום של זרם פריצה, הנראה למראית עין כמקום היותר שקט ופחות מסוכן מגלים, נראים נשברים בצידי התמונה. בתמונה השמאלית ניתן לראות מבט על חוף עם זרמי פריצה רבים, שחלקם תונדים בזמן, בפריצתם את קו המשברים

איור 9 – המחשה כיצד נראה זרם פריצה בחוף (למעלה) ומבט על מכרכת זרמי פריצה (למטה)



מחקר שפרסמו Fletemeyer and Leatherman (2010), הם הציגו הגרף שבאיור 10, המוכיח כי הטביעות בגלל זרמי פריצה היוותה בארה"ב (פלורידה) הגורם השני מתוך כל הגורמים הסביבתיים הקשורים למזג אוויר. הם גם חקרו את הסיבות לטביעות בזרמי פריצה, וכיצד על מתרחץ לנהוג כדי להינצל, אם נלכד בזרם פריצה. כמסקנה, חוקרים אלה מטילים ספק ביכולת אדם רגיל לקבוע כיצד עליו לנהוג: "לצפות כי מתרחץ יהיה מסוגל לזהות זרמי פריצה על פי השילוט והמידע הקיים בעייתי, מאוד אופטימי, ואפילו בלתי סביר. אם מצילים מקצוענים לא תמיד מצליחים לזהות במדויק את הנוכחותו של זרם פריצה, איך אפשר לצפות מהציבור לזהותו?!"



איור מס' 10 – סיבות מוות קשורות למזג אוויר (בעקבות Fletemeyer and Leatherman, 2010)

לפי מחקר של Miloshis and Stephenson (2011), נמצא כי לשחיין שיקלע בזרם פריצה יש שתי אפשרויות אשר יכולות לסייע לו להימלט מתוך ערוץ זרם הפריצה לפני שיתעייף ויכנס לבהלה ויטבע. על בסיס הניסויים עם שחיינים שאפשרו להיסחף בזרמי פריצה, הם המליצו כי אם האירוע של לכידה בזרם פריצה הוא בחוף מוכרז בו ישנם מצילים, לאמץ את הגישה של "על תתנגד והנח לזרם לשחוף אותך" כדי להגדיל סיכויי המתרחף להינצל. מאידך, בחוף לא מוכרז, גישה זאת יכולה להפחית את הסיכוי להימלט מתוך ערוץ זרם הפריצה. גם אימוץ הצעה של 'לשחות במקביל לחוף הימ' עלולה להפחית באופן משמעותי הסיכוי להישרדות, אם בו זמנית ישנו זרם אורכי חזק והמתרחף יבחר בטעות לשחות בניגוד לכיוון הזרם האורכי. זאת מאחר ואז הוא ישהה זמן רב יותר בתוך זרם הפריצה, עלול להתעייף, להיכנס לבהלה ולטבוע. על כן, על מתרחף בחוף לא מוכרז להיות מסוגל לזהות היטב את הכיוון אליו עליו לשחות אם יקלע לתוך זרם פריצה, בהתחשב גם בכיוון זרם הפריצה וגם בכיוון הזרם האורכי. לעומת זאת, מתרחצים שינקטו באפשרות הראשונה של לא להתנגד עשויים להיות מורחקים מתחום פעולת זרם הפריצה. אסטרטגיה זו תחסוך אנרגיה בצורה יעילה ביותר, ותאפשר יותר זמן להצלה. עם זאת הם ציינו כי יתכן ותוצאות המחקר לא מתאימות לכל מקום אחר בעולם.

במחקר שפרסמו MacMahan וחובי ב-2011, הסיקו החוקרים כי "לצוף בתוך זרם פריצה חזק מאוד דומה לציפה בתוך זרם חזק בנהר, למעט שהזרימה היא בתבנית מעגלית ואתה עשוי לא להיות מודע למיקומך במעגל. בשל מורכבות זו, הציעו כי עדיף להישאר לצוף מעל למים, ולהשתדל שלא להיבהל. הם גם ציינו עובדה חשובה מאוד לגבי זרם פריצה והיא שמהירות זרם הפריצה תונדת מאוד בזמן קצר יחסית, דבר שעושה ההמצאות בזרם כה מסוכנת, כי היא יכולה להשתנות תוך זמן כמה דקות מ-0 מ'שני למעל 2 מ'שני. אי הידיעה של ייתכנותן של תנודות בעוצמת זרם הפריצה יכולים לבלבל בקלות את המתרחצים ולגרום להם להיכנס לבהלה, משם עד טביעה המרחק קצר מאוד."

הצעות התנהגות למתרחצים, לשם רחצה בטוחה יותר בחוף הימ.

1. השתדל ושחה בחוף מוכרז, בעת נוכחות מצילים, בתחום המסומן כבטוח, והשמע להוראות המצילים.
2. עם הגיעך לחוף, בחן את קו המשברים מנקודה גבוהה ככל האפשר במשך כמה דקות, בנסיון לאתר קיון ומיקום זרמי פריצה, שיכול להשתנות ממקום למקום, לפי הסימנים הבאים, למרות שלא ניתן תמיד לזהות אותם: (א) אזורי מים בהם לא נצפת שבירת גלים, עקב התעמקות ערוץ בקרקעית וזרימת זרם הפריצה הימה, המקטינים את גובה הגלים. (ב) אזור מים סוערים וקוצפים היוצאים מחוץ לתחום קו המשברים, (ג) שינוי בצבע המים בקטע מסוים לעומת צבעם בסביבה, בהיר יותר עקב בועות אוויר וואו סדימנטים מורחפים או כהה יותר בגלל הוצרות ערוץ עמוק יותר בקרקעית במיקום זרימת זרם הפריצה הימה, (ד) גופים צפים הנעים באופן קבוע הימה.

3. בחן מצב מפלס הים (גאות או שפל) על פי מיקום קו הגבול בין חוף יבש לחוף רטוב במצב גאות, שלעיתים מצוין עי"י הוא מיקום הכיסאות הנח. כאשר מפלס הים נמצא בשפל, קו הגבול נמצא רחוק משפת המים וגובה פני הים מעל השרטון הקרוב לחוף קטן יותר, כך שיתכן כי אנשים עומדים עליו. זרמי פריצה נוטעים להיות חזקים יותר במצבי שפל.
4. הבט למבנים חופיים ניצבים לחוף כגון דורבנות, או מזחים שיכולים להטות את הזרם האורכי הימה כזרם פריצה. לגבי שוברי גלים מקבילים לחוף, אזור ראשי שוברי הגלים הוא אזור מועד לנוכחות זרמי פריצה.
5. בחן נוכחות צנרת ניקוז שיכולה להזרים מי ניקוז לתוך הים הרדוד ולחצוב ערוצים עמוקים בשרטונות שבקרבת החוף ולכלאו בהם זרמי פריצה.
6. שים לב לכיוון התקרבות חזיתות הגלים אל החוף, על מנת לאמוד האם קיים זרם אורכי ואת כיוונו (ימינה או שמאלה ביחס לקו החוף. אם הגלים ניצבים לחוף, יש סיכון מוגדל של זרמי פריצה. אם תקלע לתוך זרם פריצה, אל תתנגד לשחיפת הזרם. אם אתה יכול, שחה במקביל לחוף, לצד שאליו ראית שנע הזרם האורכי. אם אינך מזהה זרם אוכי, תן לעצמך לזרום עם זרם הפריצה אל קצה או מחוץ לקו המשברים, אוז שחה במקביל לחוף אל אזור הגלים הנשברים המזוהה עי"י קצף המים, משם תוכל לחזור בביטחה לחוף. אם אינך יודע לשחות, נסה לצוף מעל המים, תוך הפניית פניך כלפי החוף, הרמת יד ישרה למעלה, וניסיון למשוך תשומת לב אנשים אחרים, גם עי"י צעקות. זכור כי ככל שהגלים הנשברים גדולים יותר, הם נשברים רחוק יותר מהחוף ואז מהירות הזרם תהיה גבוהה יותר.
7. לפעמים קשה לזהות נוכחותם של זרמי פריצה. אם אתה בספק, עדיף להישאר בחוף או נסה לזהות נוכחות הזרמים עי"י נוטב לזיהוי זרמים מסוכנים. במקרה שזיהית מתרחץ במצוקה, הודיע לכוחות ההצלה. על תנסה להצילו מבלי שיש בידך אמצעי מציף, היות ובמקרים רבים המציל הפך לקורבן נוסף.

מקורות ספרות נבחרים

- Drozdowski D., W. Shaw, D. Dominey-Howes, R. Brander, T. Walton, A. Gero, S. Sherker, J. Goff, and B. Edwick, 2012. Surveying rip current survivors - preliminary insights into the experiences of being caught in rip currents, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, pp.1201–1211.
- Fletemeyer J., and S. Leatherman, 2010. Rip Currents and Beach Safety Education, *J. Coastal Research*, 26, 1, pp. 1–3.
- MacMahan J., A. Reniers, J. Brown, R. Brander, E. Thornton, T. Stanton, J. Brown and W. Carey, 2011. An Introduction to Rip Currents Based on Field Observations, *J. Coastal Research*, 27, 4, pp. iii–vi.
- Miloshis, M., and W. J. Stephenson, 2011. Rip current escape strategies: lessons for swimmers and coastal rescue authorities, *Nat. Hazards*, Vol. 59, pp.823-832, April 2011, Springer Science+Business Media BV.