

אוקיאנוגרפיה פיסיקלית: סקירת הים העמוק והאזור החופי

פרופ' אליעזר קיט וד"ר אורי קרושינסקי

המכון הישראלי לחקר הנדסה ימית, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

כללי

הים התיכון מוקף יבשה: אירופה בצפון, המזרח הקרוב (אסיה) במזרח ואפריקה בדרום. הים התיכון מקושר במערב לאוקיינוס האטלנטי דרך מצר גיברלטר (14 ק"מ רוחב ורק 300 מ' עומק). בצפון-מזרח הוא מקושר לים השחור דרך מצר הדרדנלים (200 מ' עומק) לים מרמרה, ולאחר מכן דרך מצר הבוספורוס (50 מ' עומק) לים השחור. בדרום-מזרח הוא מתחבר לים סוף דרך תעלת סואץ (20 מ' עומק) שהיא מעשה ידי אדם. ממדיו של הים התיכון הם כ-3,800 ק"מ אורך וכ-1,600 ק"מ רוחב מרבי, עם עומק ממוצע של 1.5 ק"מ (הנקודה העמוקה ביותר בו היא בעומק של כ-5.2 ק"מ). שטח פני הים הוא כ-2.5 מיליון קמ"ר, והנפח כ-3.7 מיליון ק"מ מעוקבים.

כ-400 מיליון אנשים חיים לאורך 46,000 ק"מ של חוף הים התיכון (40% מהאורך הוא חופי איים) המשתרך ל-22 מדינות. אגן הלונט הוא חלק ממזרח הים התיכון. האזור הכלכלי הבלעדי (EEZ) של ישראל ממוקם באזור הדרום-מזרחי של אגן זה.

האקלים במזרח הים התיכון מאופיין בחורפים גשומים ומתונים ובקיץ יבש וחם. כמויות הגשמים השנתיות קטנות ממערב למזרח ומצפון לדרום. הן נעות בין 1,000–1,250 מ"מ סביב אנטליה ל-600–800 מ"מ במפרץ איסכדרון. במישור החוף של החלק הדרומי הכמות עשויה להגיע ל-600–850 מ"מ סביב ביירות, עכו וצפת, ויורדת ל-400 מ"מ או פחות בדרומה הצחיח של הארץ. הבצורות נעשות תכופות וממושכות יותר.

הערכה של שינוי האקלים במזרח הים התיכון צופה עלייה בטמפרטורות, במיוחד בחלקו הצפוני (טורקיה, יוון) בשיעור 1°C – 3°C עד 2030, 3°C – 5°C עד 2050 ו- 3.5°C – 7°C עד סוף המאה. משמעות הדבר היא התחממות בקצב מהיר יותר מאשר ההתחממות הגלובלית החזויה של 2.8°C עד סוף המאה.

האקלים של אזור החוף הים תיכוני של ישראל מתאפיין בתכונות שהוכתבו על-ידי ה-"highs" התת-טרופי (אזורים של לחץ אטמוספרי גבוה כמעט קבוע). היות שהחוף של ישראל נמצא על גבולו המזרחי של הים התיכון, רק רוחות מערביות מביאות לחות (חמות בחורף וקרירות בקיץ). רוחות מכיוונים אחרים מביאות אוויר יבש (חם בקיץ וקר בחורף). החוף הים תיכוני של ישראל יכול להיות תחת ההשפעה של מונסונים מכוון צפון-מזרח או דרום-מזרח. בשני המקרים, מערכות הלחץ שנוצרות משפרות את תנאי מזג האוויר באזור זה.

בתימטריה

ישנם מספר מאגרי נתונים של מדידות בתימטריה בים התיכון. לדוגמה, ניתן להשיג עומקים ממקורות גלובליים כמו GEBCO, שמציעה מפת עומקים בנקודות רשת במרחקים של 30 שניות-קשת ו-1 דקת-קשת על כל הים התיכון. נתונים אלה נוצרו על-ידי שילוב של תצפיות עומק באיכות מבוקרת מספינות ושל אינטרפולציה בין נקודות תצפית שמונחה על-ידי נתוני כבידה מלוויין. עם זאת, באזורים שבהם נתונים שנוצרו על-ידי שיטות אחרות משפרים את

הערכים הקיימים ברשת, מעדיפים להשתמש בהם. נתונים יבשתיים מבוססים במידה רבה על מודל טופוגרפיה דיגיטלי בנקודות רשת (SRTM30 (Shuttle Radar Topography Mission).

אוסף מקיף ומפורט של נתוני בתימטריה לכל הים התיכון ולאזורי משנה מוצג כמפות ו-metadata בפורטל רשת התצפיות הימיות האירופית EMODNET, באתר www.emodnet-hydrography.eu.

קיימות מפות בתימטריה מפורטות יותר בסביבה הקרובה של קו החוף בהקשר של מיזמים מסוימים לפיתוח החוף ולהקמת מבנים ימיים, שבמהלכם הבתימטריה משתנה כאשר מבצעים פעולות שונות, כמו חפירות העמקה ועבודות הוספת חול, כגון אלה שנעשו להרחבת נמל חיפה. מפות בתימטריה מפורטות דומות שימשו במכון לחקר הנדסה ימית (CAMERI) למיזמים באזור אשקלון, נמל אשדוד, אזור תל-אביב-הרצליה, נתניה ואזור תחנת הכוח בחדרה.

מסות מים וזרמי סירקולציה כללית

הסירקולציה בים התיכון פעילה מאוד, לא רק על פני הים, אלא גם במים עמוקים. הסיבות לסירקולציה של מסות המים הן רבות, כגון: כוחות קוריוליס, אילוצים טופוגרפיים וגאוגרפיים, דחיפת מסות מים על-ידי מסות אחרות וזרמי צפיפות בשל מפלים של טמפרטורה ומליחות, פעולת הרוח וגלים על פני הים וכן הלאה. הים התיכון הוא אגן אידי בל של תנאי האקלים. הזרימה לים של מים מתוקים – מהנהרות הגדולים (כמו נהר הפו האיטלקי והנילוס במצרים) ומנהרות קטנים יותר, נוסף על גשמים (ממוצע 500~ מ"מ לשנה או 1,250 ק"מ מעוקבים בשנה) – וחלחול ממאגרי מי התהום החופיים, אינם תרומות מספיקות כדי לאזן את האידי. המים המתוקים הם גורם חיוני לחידוש השכבה העליונה של הים, להפחית את מליחותה ולספק משקעים וחומרים מזינים. כמויות המים המתוקים הזורמות לים צומצמו באופן דרסטי ב-50 השנים האחרונות עקב שינוי האקלים ופעילות אנושית מואצת של פיתוח וצריכה. הכמות השנתית הכוללת של מים מתוקים הנכנסים לים התיכון היא כ-315 ק"מ מעוקבים מנהרות, וכ-70 ק"מ מעוקבים מאקוות חוף.

לפיכך, איזון הנפח נשמר על-ידי זרימת מי ים. התרומה מהים השחור קטנה למדי (פחות מ-300 ק"מ מעוקבים בשנה), והתרומה מים סוף דרך תעלת סואץ קטנה בהרבה. הכמות העיקרית מגיעה, אפוא, מהאוקיינוס האטלנטי.

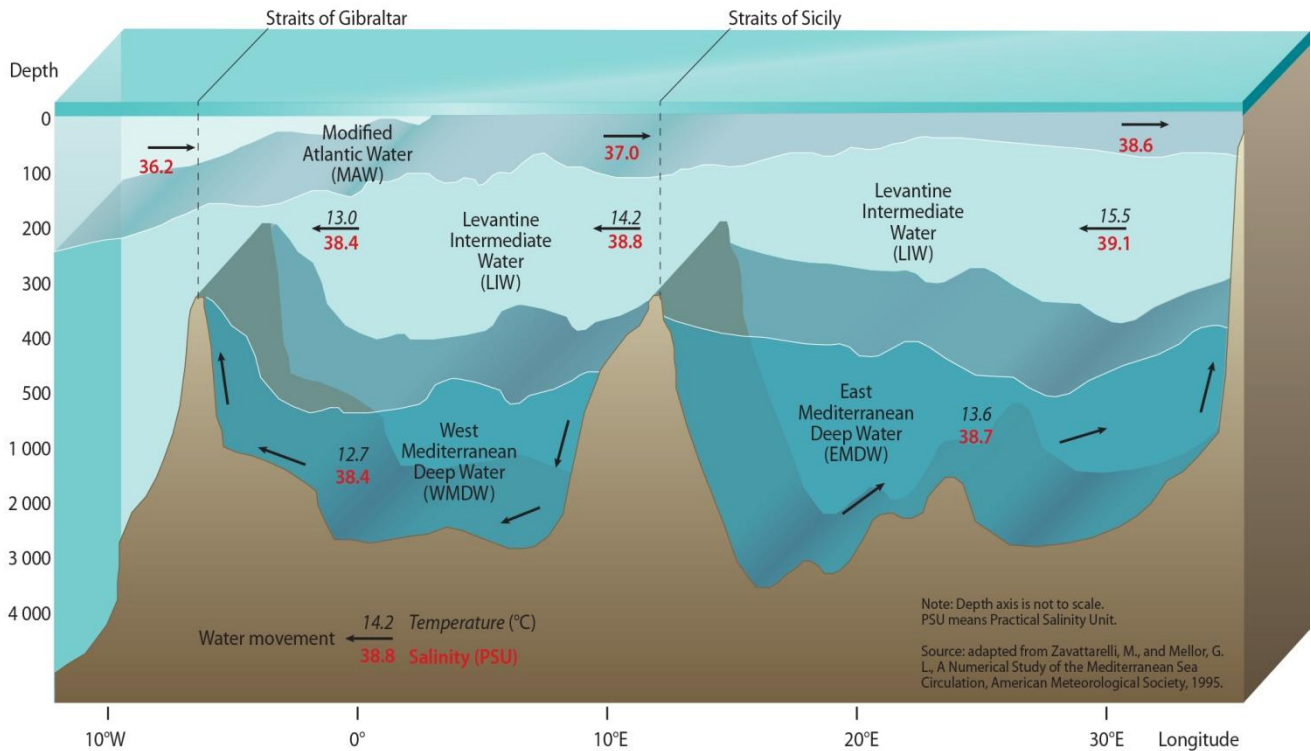
מי הים התיכון חמים ומלוחים יותר מאשר מי האוקיינוס הנכנסים אליו. האידי מגדיל את המליחות של המים על פני הים. כאשר שכבת המים העליונה, המלוחה והחמה מתקררת לאחר עונת הקיץ, המים עשויים להפוך לצפופים יותר ממים בשכבה עמוקה יותר, שהם אולי קצת פחות מלוחים ועדיין שומרים על החום. מפל ציפה לא יציב זה מעורר זרימה תרמו-הלינית (אנכית).

באופן סכמטי, הים התיכון מורכב משלוש מסות מים עיקריות (ראה איור 1):

- MAW (Modified Atlantic Water), שנוצרת בשכבת הים העליונה בעומק של 100–200 מ' ובמליחות של PSU 36.2 (ליד גיברלטר) עד PSU 38.6 (באגן הלוונט).
- LIW (Levantine Intermediate Water), שנוצרת בין 200 ו-800 מ' עומק ועם מליחות PSU 38.4–39.1, והיא מסת המים המלוחה ביותר של אגן הים התיכון המזרחי.
- MDW (Mediterranean Deep Water) היא מסת המים הצפופים בשכבה העמוקה של הים. ה-EMDW (MDW באגן המזרחי), מתאפיינת בטמפרטורה מתחת ל-13.6°C ובמליחות של PSU 38.7.

מי האוקיינוס האטלנטי, הנכנסים כשכבה עליונה דרך גיברלטר, זורמים מזרחה לאורך צפון אפריקה. מי מסת הביניים LIW הצפופים זורמים מערבה ובסופו של דבר מגיעים חזרה לאוקיינוס. משטר זרימה בקנה מידה גדול זה מכונה בשם "המסוע".

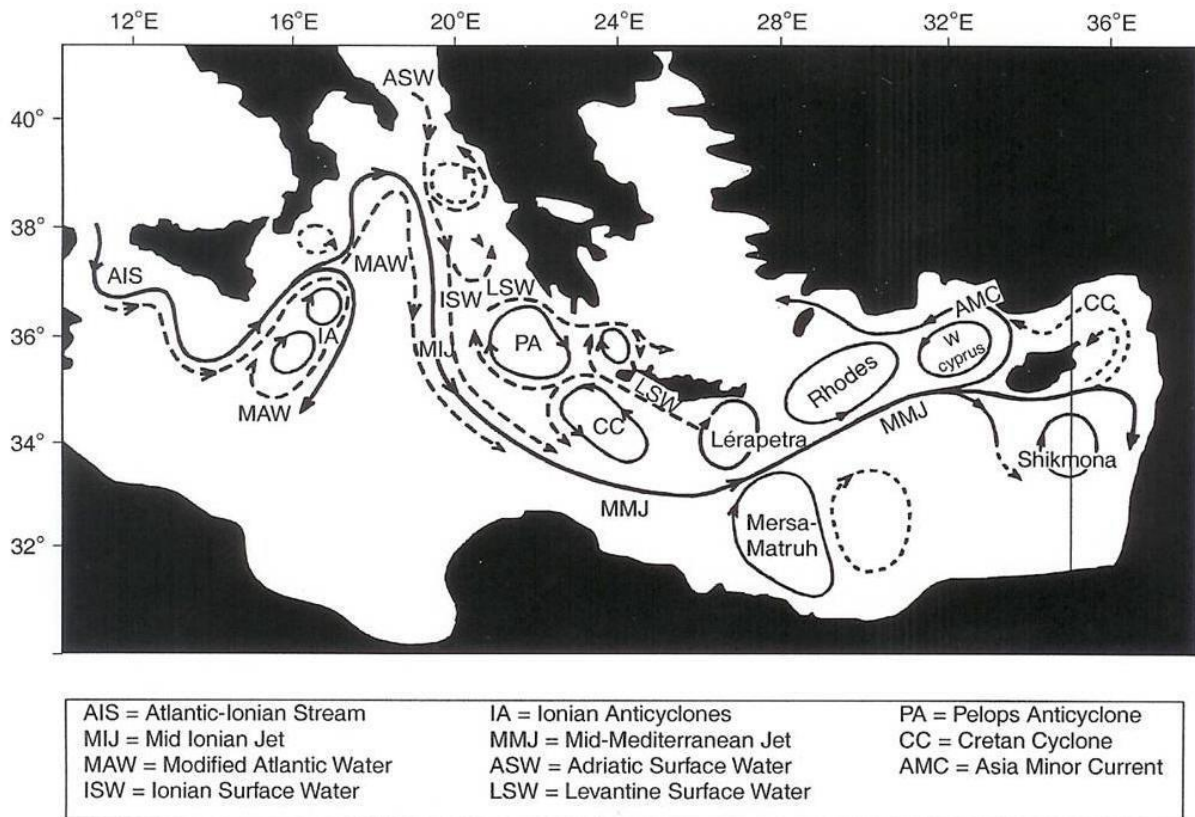
Mediterranean Sea water masses: vertical distribution



איור 1 – הצגה סכמטית של מסות המים העיקריות. המספרים בשחור מציינים טמפרטורה ב- C° , אלה באדום מציינים מליחות ב-PSU, והחצים מראים את כיוון הסירקולציה. ניתן להבחין בגוון התכלת הבהיר של שכבת הים העליונה ליד האוקיינוס במערב, ההופך בהדרגה לכהה יותר עד ל-MAW המפותח במזרח.

ניתן לדמות את זרימת הסירקולציה הכללית בים התיכון ל-"מנוע" שהופך את מי האוקיינוס האטלנטי הנכנסים דרך מצר גיברלטר למים צפופים ומלוחים, הידועים כ-"מי הים התיכון", ולאחר מכן עוזבים את הים התיכון דרך מצר גיברלטר אל האוקיינוס האטלנטי הצפוני. יבוא מים מהאוקיינוס האטלנטי מאזן את הנפח הכולל של הים התיכון בעת שיצוא מים צפופים ומלוחים מאזן את כמות המלח הכוללת.

גילויים משמעותיים נעשו לגבי הזרימה הכללית במזרח הים התיכון בשני העשורים האחרונים. תצפיות ומדידות שדה אינטנסיביות הצביעו על מקור מים צפופים בים האגאי. מים צפופים אלו זרמו דרך מיצרי הקשת של כרתים (Cretan Arc) עם מליחות של 29.24 PSU ושקעו אל תוך השכבה התחתונה של האזורים המרכזיים באגן המזרחי. שם הם גרמו לעיקרת המים הפחות צפופים (PSU 29.18) שהיו בשכבה העמוקה של מזרח הים התיכון (EMDW), שמוצאם בים האדריאטי, כלפי מעלה. בתקופה הקצרה 1987-1995, המסה החדשה של המים העמוקים, חמים ומלוחים יותר מה-EMDW הישן, החליפה כ-20% מהמים העמוקים מתחת ל-1200 מ'. השינוי הדרמטי הפתאומי הזה במאפיינים של מסת המים והסירקולציה כונה "The transient". לתכונות של הסירקולציה הכללית בקנה מידה גדול שתוארו, יש שינויים עונתיים וגיאוגרפיים משמעותיים. זרמים בקנה מידה קטן יותר (תת-אגן ו-mesoscale) כוללים גם זרמים ערבוליים (Gyres & Eddies) כפי שמוצג באופן סכמטי באיור 2. זרמים מערבוליים אלה יכולים להיות עונתיים או יותר קבועים.



איור 2 – הצגה סכמטית של זרמים בקנה מידה של תת-אגן ו- mesoscale במזרח הים התיכון

רוחות

השירותים המטאורולוגיים של רוב מדינות הים התיכון, כמו גם מוסדות העוסקים באוקיינוס ובאטמוספירה, שיתפו פעולה במסגרות שונות כדי לספק מידע ולשתף במידע על תנאי אקלים ומזג אוויר במדינותיהם (ובפרט באזורי החוף והים שלהם). בישראל המקור לנתוני רוח לטווח ארוך הוא השירות המטאורולוגי הישראלי – IMS.

קיימים גם כמה מקורות אחרים, למשל, רוחות הנמדדות בנמל חיפה תוך שימוש במערכת אטלס. הרוח נמדדת 47 מ' מעל פני הים. הנתונים הם בבעלות חברת נמלי ישראל – IPC.

בחיפה, כ-88% מהרוחות השנתיות, 83% מרוחות החורף ו-90% מרוחות הקיץ הן קלות (מהירות רוח מתחת ל-6 מ' לשנייה). כ-12% מהרוחות השנתיות, 16% מרוחות החורף ו-9.4% מרוחות הקיץ מתונות עד ערות בדרך כלל (מהירות רוח בין 6 ל-10 מ' לשנייה), ורק 0.67% מהרוחות השנתיות, 1.2% מרוחות החורף ו-0.34% מרוחות הקיץ חזקות ועולות על 10 מ' לשנייה. המצב באשדוד דומה. כיוון הרוחות שמהירותן מעל 6 מ' לשנייה הוא צפון-מערב (התרחשות 1.64%). הכיוון הדומיננטי באופן כללי הוא דרום-דרום-מזרח, וכיוון הרוחות החזקות (מעל 10 מ' לשנייה) המסוגלות ליצור סערות גלים וזרמים חזקים הוא דרום-מערב (התרחשות 0.30%).

הרוחות החזקות ביותר הן בהתאמה סבירה עם אירועי סערות גלים במים עמוקים בים. מהירות הרוח המרבית, 21.8 מ' לשנייה, נרשמה במהלך אירוע סערות חורף ב-12.12.2010. על פי רישומים במיקום מצף ה-Waverider של CAMERI באשדוד, גובה הגל המשמעותי היה בסערה זו מעל ל-6 מ'. הכיוון הדומיננטי של הרוח היה דרום-דרום-מערב.

ניתוח של אירועים קיצוניים מצביע על מהירות רוח של 22.7 מ' לשנייה עם תקופת חזרה של 10 שנים, 24 מ' לשנייה עם 20 שנים, 25.5 מ' לשנייה עם 50 שנים ו-27 מ' לשנייה עם תקופת חזרה של 100 שנים.

תחזיות מזג אוויר המבוססות על מודלים ממוחשבים תפעוליים (Operational Forecasting Systems) מספקות גם מהירות וכיוון רוח (ונוסף על כך גם את גובה הגלים וכיוונום) בנקודות רשת המכסה את כל הים התיכון. פרטים נוספים ניתן למצוא באתר השירות המטאורולוגי הישראלי www.ims.gov.il/IMSEng/RESEARCH.

גלים

אחת הטכניקות למדידת גלים באוקיינוסים ובימים מבוססת על מדידת גובה פני המים (altimetry) מלוויינים. סוכנות החלל האירופית (ESA) שיגרה בתחילת שנות ה-90 שני לווייני חישה מרחוק, ERS-1 ו-ERS-2, שכללו גם מכ"ם למדידת גובה ומכשירים לחישה של פני הים.

מקור נוסף של נתוני גלים הוא מדידות ארוכות טווח על-ידי מצופים. אלה ממוקמים כמעט תמיד באזורי החוף של המדינות השונות. בישראל יש מספר מכשירי מדידה של גלים הפרוסים לאורך החוף. מדידות גלים בחיפה ובאשדוד נרשמות ברציפות במשך יותר מ-20 שנים על-ידי מצופי waverider כיווניים מתוצרת Datawell, המופעלים על-ידי CAMERI. המצופים נמצאים במקומות שעומק המים בהם הוא כ-24 מ'. מאז אמצע אוגוסט 2007 נערכות מדידות גלים גם צפונית לקצה שובר הגלים הראשי המוארך של נמל חיפה (עומק הים 16 מ') באמצעות מכשיר ADCP מסוג Workhorse מתוצרת TRDI, המתחזק על-ידי החברה לחקר ימים ואגמים (חיא"ל). מדידות גלים אחרות נערכות ברציפות גם בחדרה ובאשקלון. ניתן לקבל פרטים נוספים באתר האינטרנט isramar.ocean.org.il/isramar2009/#.

ניתוחים סטטיסטיים של נתוני גלים בחיפה ובאשדוד נערכו על-ידי CAMERI תוך שימוש בסדרות זמן של רשומות כל 3 שעות במשך 19 שנה. סדרות הגלים התקבלו על-ידי עיבוד הנתונים שנרשמו במצופי ה-waverider. ניתוח של אירועי גלים קיצוניים באשדוד על פי התפלגות Weibull עם סף של 3.5 מ', במהלך 19 השנים ההידרוגרפיות שהובאו בחשבון, מראה כי גובה הגל הקיצוני במים עמוקים עם תקופת חזרה של 50 שנים הוא כ-8.1 מ', עם תקופת חזרה של 100 שנים כ-8.7 מ', ועם תקופת חזרה של 200 שנים כ-9.2 מ'. לשם השוואה, הניתוח של אירועי גלים קיצוניים בחיפה על סמך נתוני הגלים באותן 19 השנים על פי התפלגות Weibull עם סף של 3.5 מ', מראה כי גובה הגל הקיצוני במים עמוקים עם תקופת חזרה של 50 שנים הוא כ-8.3 מ', עם תקופת חזרה של 100 שנים כ-8.8 מ', ועם תקופת חזרה של 200 שנים כ-9.3 מ'.

טמפרטורה ומליחות בים

המליחות והטמפרטורה קובעות את שדה הצפיפות של מי הים. מפלי צפיפות גורמים לזרימות תרמו-הליניות, לסירקולציה ולציפה (buoyancy and density currents). קיימות מדידות של פרמטרים אלה בשפע, בייחוד באזורים החופיים. הפלגות מחקר שנערכו על-ידי חיא"ל באזור החוף, כללו גם מדידות טמפרטורה ומליחות, שנשמרות במאגר הנתונים של ISRAMAR, באתר isramar.ocean.org.il/isramar2009/.

התוצאות של אחד המאמצים הבין-לאומיים החשובים שנעשו במסגרת איסוף נתונים על הים התיכון מאוחסנות כ-metadata בשרתים של אוניברסיטת לייז' בבלגיה. רשומות של מליחות וטמפרטורה ממקורות רבים ומשיטות מדידה שונות (כגון מוליכות-טמפרטורה-עומק [CTD], דגימות בקבוק ואחרות), החל ב-1900 ועד 2009, נאספו במסד הנתונים של המיזם, ומעובדות בדרכים שונות.

ניתן למצוא, בין היתר, רשומות חודשיות של טמפרטורה ומליחות שנוצרו על-ידי עיבוד ואינטרפולציה בין ערכים מדודים בנקודות רשת. הערכים בנקודות הרשת זמינים למשתמשים רשומים באתר האינטרנט gher-diva.phys.ulg.ac.be/web-vis/clim.html. הרזולוציה האופקית של הרשת היא 16 נקודות למעלת קשת לקווי אורך ורוחב, ו-33 רמות עומק, מ-0 על פני הים ועד ל-5,500 מ' בנקודה העמוקה ביותר. העומקים של נקודות הרשת הם: 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250 ו-300 מ', ואז כל 100 מ' עד עומק של 1,500 מ', ולאחר מכן כל 250 מ' עד לקרקעית הים. ניתן להוריד קבצים עם טמפרטורה ומליחות עונתיות ישירות ממאגר הנתונים (Mediterranean Oceanic Database) MODB. ראה להלן שם האתר: modb.oce.ulg.ac.be/backup/modb/welcome.html.

למכשירי waverider הכיווניים שמופעלים על-ידי CAMERI בחיפה ובאשדוד יש מודדי טמפרטורה בחלק התחתון של המצופים, והם משדרים את טמפרטורות המים בקרבת פני הים (רק 40–50 ס"מ מתחת לפני הים). לפיכך, טמפרטורת פני הים (SST) נרשמת כבר במשך כשני עשורים בחיפה ובאשדוד.

רק 10% מרשומות החורף מראות טמפרטורות נמוכות מ-17.0°C, בלבד של רשומות הקיץ מראות טמפרטורות נמוכות מ-20.0°C, ורק 10% מהרשומות השנתיות מראות טמפרטורות נמוכות מ-17.5°C. באופן דומה, רק 10% מרשומות החורף מראות טמפרטורות גבוהות מ-24.0°C, בלבד של רשומות הקיץ מראות טמפרטורות גבוהות מ-30.5°C, ורק 10% מהרשומות השנתיות מראות טמפרטורות גבוהות מ-30.0°C.

מכשירי CTD (מוליכות-טמפרטורה-עומק) שמפעילה חיא"ל נמצאים בפעולה רציפה בחדרה ובאשקלון. המדידות של ארבעה וחצי הימים האחרונים מתפרסמות באינטרנט באתר האינטרנט של ISRAMAR: isramar.ocean.org.il/isramar2009/#

יותר רחוק בים, ב-EEZ של ישראל, שדות טמפרטורת פני הים, כמו גם מהירויות הזרימה, מליחות וטמפרטורה, מתקבלים בעיקר מהרצות של הדמיות או מתחזיות במודלים נומריים במחשב.

זרמים חופיים

הזרמים בים נגרמים במידה רבה בשל מפלים בצפיפות המים. בשכבת הים העליונה נוצרים הזרמים בעיקר בשל הרוח, ובמידה פחותה בשל גלים. באזור החוף הרוח אחראית ליצירת הגלים והזרמים. באזור המשברים הסמוך לקו החוף, הגלים המגיעים באלכסון לקו החוף אחראים לזרם המקביל לקו החוף (longshore current).

באזור החוף, ובאופן כללי יותר על המדף היבשתי, המים מעורבבים היטב ובעלי צפיפות כמעט אחידה לכל העומק, במיוחד בחורף. במשך הקיץ פוחתת הזרימה עם העומק בשל הבדלי צפיפות. המדף היבשתי משתרע מקו החוף עד לעומק של כ-100 מ', שבו מתחיל המדרון היבשתי התלול. המדף היבשתי הישראלי צר יחסית: 20 ק"מ מול אשקלון, ורק כ-10 ק"מ מול עתלית.

זרם רקע תמיד נוכח עקב הסירקולציה הכללית של מסות המים. במזרח הים התיכון, זרם הרקע הוא נגד כיוון השעון ומקביל לקו החוף (מדרום לצפון לאורך החוף של ישראל), עם מהירות ממוצעת של כ-15 עד 25 ס"מ לשנייה. הזרם בא לביטוי בעיקר הרחק מקו החוף, באזור שעומק המים בו הוא 20 מ' או יותר. הערכים של זרמי הגאות והשפל בחופי ישראל נמוכים למדי, ויכולים להגיע לכ-5 ס"מ לשנייה.

זרמים חזקים יותר באזור החוף נגרמים בעיקר מגלים ומרוח. בדרך כלל אלה זרמי longshore (מקבילים לחוף) הנוצרים כאשר הגלים מתקרבים באלכסון לקווי הבתימטריה, אבל לפעמים עשויים להיווצר גם זרמים צרים וחזקים שזורמים מהחוף לכיוון הים (rip currents). הערכים התאורטיים המרביים של זרמי longshore עשויים להגיע ל-1.5 עד 2.0 מ' לשנייה במהלך סופות.

אתר האינטרנט של ISRAMAR, isramar.ocean.org.il/isramar_data/CastMap.aspx, נותן אפשרות גישה לנתונים היסטוריים שנאספו בהפלגות, ובהם גם נתונים על זרמים אופקיים. יתר על כן, התיעוד ההיסטורי של זרמים מעל המדף היבשתי של ישראל (לתקופות פעילות שונות בין השנים 1987 ו-1996) מוצע עבור יותר מ-20 תחנות בים הממוקמות במקומות שונים: מדרום לחיפה, מול חדרה, נתניה, אשדוד ואשקלון, ועבור עומקים בתחום מ-30 מ' ועד ליותר מ-500 מ', כפי שמוצג באתר האינטרנט של ISRAMAR: isramar.ocean.org.il/CurrentsBuoy/default.asp. אף על פי שבחירת התחנות ותקופת הזמן מתבצעת בצורה אינטראקטיבית, מוצגת רק דוגמה של היסטוגרמה בצורת טבלה.

מדידות שעתיות של זרמים בתחנת חדרה עבור שלושת הימים האחרונים מוצגות באתר האינטרנט של ISRAMAR. עומק הים במקום עיגון המכשיר הוא 27 מ', והמדידה מתבצעת 11 מ' מתחת לפני הים. הגרף מתעדן 8 פעמים ביום. זרמים נמדדים גם בצורה רציפה באשדוד ובאשקלון.

המכון לחקר הנדסה ימית ביצע ניתוחים סטטיסטיים של הזרמים על סמך הנתונים שונים שנמדדו קרוב לפני הים וקרוב לקרקעית באשדוד, בחיפה ובמקומות אחרים לאורך החוף.

יש רוב בולט מאוד של רשומות המתאימות לזרם מדרום לצפון לאורך החוף. בסביבות 58% מהזרמים קרוב לפני הים ו-57% מהזרמים קרוב לקרקעית מתאימים למגזרים צפון וצפון-מזרח. כמו כן, 20% מהזרמים קרוב לפני הים ו-13% מהזרמים קרוב לקרקעית הם בכיוון ההפוך (דרומה), כלומר במגזרים דרום-דרום-מערב ודרום-מערב.

הזרמים החזקים ביותר נרשמו בעונת החורף. המהירויות הגדולות ביותר קרוב לפני הים וקרוב לקרקעית היו 120 ~ ס"מ לשנייה ו-85 ~ ס"מ לשנייה, בהתאמה. המהירויות הגדולות ביותר שנרשמו במהלך עונת הקיץ קרוב לפני הים וקרוב לקרקעית היו 62 ~ ס"מ לשנייה ו-46 ~ ס"מ לשנייה, בהתאמה.

רוב הזמן (90%) מהירות הזרימה קרוב לפני הים אינה עולה על 15-35 ס"מ לשנייה, ומהירות הזרימה קרוב לקרקעית אינה עולה על 10-25 ס"מ לשנייה. מהירויות גדולות יותר מתרחשות קרוב לפני הים. במהלך החורף מתרחשות מהירויות גדולות יותר הן קרוב לפני השטח הן קרוב לקרקעית. הכיוון העיקרי של הזרמים הוא לאורך החוף.

מפלס פני הים, גאות ושפל

באשר לחופי ישראל, ניתן לקבל נתונים על מדידות מפלס פני הים באתר האינטרנט של המרכז למיפוי ישראל (מפי") www.soi.gov.il. מדי הגאות של מפ"י ממוקמים בעכו, בתל-אביב, באשדוד ובאשקלון. ישנן שתי תחנות בחדרה ובאשדוד, המופעלות על-ידי חיא"ל במסגרת התכנית האירופית MEDGLOSS. אין מידע נגיש מתחנות אלה כיום. לעומת זאת, ניתן להשיג, באופן אינטראקטיבי, ערכים סטטיסטיים חודשיים של מפלס פני הים (גבוה, נמוך וממוצע) בחדרה ובאשדוד, באתר האינטרנט medgloss.ocean.org.il/statistic.asp.

חופי הים התיכון מאופיינים בתנודות מפלס פני הים בשל הגאות והשפל המקומיים. כמו ברוב החופים בעולם, חוף הלוונט, הכולל את החוף הישראלי, נתון לגאות ולשפל חצי-יומיים. נוסף על כך, המרכיבים היומיים, בעלי תקופת מחזור הקרוב ל-24 שעות, חשובים גם כן. בגלל השפעת השמש והירח יש למרכיבים העיקריים תקופות מחזור שונות במעט בלבד, כך שהפאזות היחסיות, וכתוצאה מכך אמפליטודת הגאות המשולבת, משתנות עם מחזור של שבועיים. קיימים גם מרכיבים בעלי תקופות מחזור ארוכות יותר, של חודש ושל חצי שנה.

באופן כללי, הגאות האסטרונומית באזורנו נעה לרוב בין 0.4 מ' בגאות גבוהה (spring tide) ל-0.15 מ' בגאות נמוכה (neap tide). עם זאת, רמות קיצוניות עלולות להתרחש בשל תנאים מטאורולוגיים קיצוניים.

על פי הספרות המדעית ממחקרים שנעשו לאחרונה, השיעור הממוצע החזוי של עליית מפלס פני הים הוא בערך 0.6–0.7 מ' בשנה על בסיס עולמי ו-0.7–0.9 מ' בשנה על בסיס אזורי; כלומר, צופים עלייה של 35–45 ס"מ במהלך 50 השנים הבאות. עם זאת, רשומות מפלס פני הים של מפ"י באשדוד, כמו גם בתל-אביב, מראות כי מפלס פני הים הממוצע לאורך החוף הים תיכוני של ישראל נותר יציב מ-1999.

סדימנטים בקרקעית וגרנולומטריה

המאפיינים של סדימנטים בקרקעית הים נמדדו ונתחו במקומות שונים לאורך החוף של ישראל. סקרים ומחקרים מפורטים שבוחנים את ההרכב של קרקעית הים ושל חומר המשקעים המוסעים, בוצעו על-ידי מספר ארגונים וחוקרים לאורך אזור החוף (ובמים עמוקים יותר). המכון לחקר הנדסה ימית ערך ניתוח מקיף והציג סיכום של סקרים ומחקרים שנעשו בין השנים 1970 ו-2010, תוך התייחסות לאזורים באשדוד ובחיפה.

בדיקה של חומר קרקעית הים באזור אשדוד נערכה על-ידי מוסדות שונים, כמו לדוגמה מוסד הטכניון למחקר ופיתוח וחי"א"ל, על דגימות שנאספו במהלך הסקר המקיף והיסודי שנערך ב-1995–1996 על-ידי OCEANA Marine Research Ltd וסקר שערכה חי"א"ל בשנת 2009.

בהתבסס על גודל גרגיר חציון d50 באזור אשדוד מתוך מקורות אלה, ניתן לסווג את משקעי קרקעית הים באזור זה כקרקע חולית עם תכולה נמוכה של חומר דק. גודל גרגיר החציון d50 יורד בהדרגה מקו החוף פנימה לים, בדרך כלל $d50 \approx 0.2-0.4$ מ"מ בקרבת קו החוף, $d50 \approx 0.11-0.17$ מ"מ בעומק 10–20 מ', ובמים עמוקים יותר (יותר מ-20 מ' עומק) – $0.14-0.10$ מ"מ. בכמה מקומות לאורך קו החוף נמצאים סלעים לא אחידים ובלתי יציבים עם חורים רבים ועם נוכחות של שרידי צדפים. גודל גרגיר החציון של החול בחוף צפונית לנמל אשדוד יכול לפעמים להיות גדול יותר מ-1.0 מ"מ.

בנוגע לאזור חיפה, מבחינים בשלושה מגזרים:

- בחוף הכרמל משקע קרקעית הים הוא בעיקר חול דק עם התפלגות צרה של גודל גרגיר. גודל גרגיר החציון d50 בדרך כלל נע בתחום 0.125–0.25 מ"מ. לאורך קו החוף (עומקי מים 0 עד 1 מ') החול קצת יותר גס, עם $d50 \approx 0.35$ מ"מ. גודל החלקיקים בדרך כלל קטן מהחוף פנימה לים וגם לכיוון צפון. מדגימות שנלקחו לאחרונה עולה כי קרקעית הים סלעית כבר בעומק מים של 15 מ'.

- במפרץ חיפה המשקע בחוף ובקרקעית הים עד 10 מ' עומק מים הוא בעיקר חול דק עם התפלגות צרה של גודל גרגיר. d50 נע בדרך כלל בתחום 0.125–0.25 מ"מ. גודל החלקיקים בדרך כלל נעשה קטן יותר מהחוף לכיוון

הים וגם לכיוון צפון. בחלק מהמקומות המשקעים גסים יותר, דבר שיכול להיות קשור לנוכחות של שברי צדפים ולקרקעית ים סלעית שבורה. המשקעים בעומק מים 25 מ' מכילים כמות גדולה יחסית של חימר.

• לאורך ראש הכרמל, החוף וקרקעית הים חשופים. החול, אם בכלל נמצא, גס או גס מאוד ובעל גודל גרגיר משתנה מאוד. החוף הסלעי של בת גלים מכוסה בכמה מקומות בחול בינוני וגס, המשתנה לחול דק יותר כשמתקדמים לכיוון מתקני הנמל. משקעי קו החוף הם במידה רבה ביוגניים. החול ששוקע ומתייצב לאורך שובר הגלים הראשי של נמל חיפה בדרך כלל דק, עם $d_{50} < 0.25$ מ"מ.

תנאים אלה עשויים להשתנות באופן מקומי, למשל בשל שינויים כמו ההארכה האחרונה של שובר הגלים הראשי של הנמל והקמת מבנים ימיים אחרים.

הסעת הסדימנטים

רוב החוף הים תיכוני של ישראל והקרקעית חוליים. המקור העיקרי של החול הוא הדלתה של נהר הנילוס. הסעת החול מתרחשת בעיקר לאורך החוף, בתוך רצועה צרה יחסית שבין קו החוף ושוניות הכורכר.

יש סימנים ברורים שהסעת סדימנטים לכיוון צפון מתרחשת גם בעומקי מים גדולים יותר מאשר 24 מ'. לדוגמה, הסעת החול על-ידי זרם לאורך החוף בכיוון צפון מתחת למסוף פריקת הפחם בחדרה (עומק המים משתנה בין 20 מ' ו-27 מ') גרמה להצטברות חול בגדה הצפונית של התעלה התת-ימית של המסוף.

בתוך אזור המשברים החול מוסע בעיקר על-ידי זרם ה-longshore. מעבר לאזור המשברים שולטים הזרמים הנגרמים מהרוח, והם עשויים לקבוע את משטר הסעת החול. הכיוון של הסעת המשקעים עקב הגלים תלוי בכיוון התקדמות הגלים ביחס לניצב לקו החוף (shore normal).

לאורך כל 140 הק"מ שבין אשקלון וחיפה, קו החוף חלק יחסית. הכיוון של הניצב לקו החוף (הנמדד מצפון בכיוון השעון) משתנה בהדרגה מכ- 306° באשקלון לכ- 277° בחוף הדרומי של חיפה. גובה הגלים, וכתוצאה מכך גם אנרגיית הגלים, משתנים רק מעט לאורך החוף. בהנחה שכיווני הגלים לא משתנים באופן ניכר לאורך החוף, גם ההסעה הכוללת (ברוטו) צפויה להשתנות רק מעט.

הערכות כמותיות של משטר הסעת המשקעים לאורך החוף הישראלי נעשו על-ידי חוקרים ממוסדות שונים. אזור מתאים להערכה של כמויות החול המוסע הוא שובר הגלים הראשי בנמל חיפה, ששימש (לפני בניית נמל הפולינום) מלכודת לחול הנילוטי המוסע צפונה לאורך החוף. נכון לעכשיו, החוקרים השונים העוסקים בהסעת משקעים בישראל מסכימים כי ההסעה ברוטו (gross transport) השנתית היא כ-300,000–400,000 מ"ק. ניתן לחשב באופן גס את הכמות הממוצעת השנתית של חול הנסחף לכיוון מפרץ חיפה, שמצביעה על שטף החול נטו (Net Transport) באזור זה, באמצעות הערכה של המשקע ששוקע לאורך שובר הגלים הראשי של הנמל (לפחות 60,000–70,000 מ"ק לשנה) נוסף על נפח מסוים של חול שעוקף את שובר הגלים.

ניתן לשער כי קיימים שני סוגים של הסעת משקעים לאורך החוף:

• בתוך אזור המשברים, ההסעה נגרמת על-ידי גלים; הם מספקים כמות ברוטו של 300,000–350,000 מ"ק לשנה עם הסעה נטו משתנה לאורך החוף (בערך 50,000 מ"ק לשנה בכיוון צפון באזור אשדוד, קרוב לאפס באזור תל-אביב-הרצליה, ו-50,000 מ"ק לשנה בכיוון דרום באזור חיפה);

- מעבר לקו המשברים (עומקים שמעל ל-5 מ'), הזרמים נגרמים בשל הרוח. ההסעה, כ-100,000 מ"ק לשנה, היא בכיוון צפון.

צונאמי

התופעה הטבעית המוכרת בשם צונאמי מתפתחת בים, ויכולה להיגרם כתוצאה מרעידת אדמה בים בשל תזוזה של תחתית האוקיינוס, לאחר מפולות המתרחשות במדרונות המדף היבשתי או בתעלות תת-ימיות עקב רעידות אדמה, וגם בעקבות התפרצות הר געש באזור החוף או בגלל סיבות אחרות, כגון מטאוריטים הנפלים בים, פיצוצים גרעיניים בים ועוד.

צונאמי חזק יכול להוביל לאסון משמעותי באזור המושפע, להרוס מבנים, מתקנים ימיים וכפרים שלמים, ולגרום לאבדן של אלפים רבים של חיי אדם. לכן, הצונאמי נחקר באינטנסיביות, תוך שימוש במודלים נומריים מתקדמים לתיאור של מקורות התופעה, התפשטות הצונאמי באוקיינוס פתוח, השתנות צונאמי באזורי החוף, התפתחות עליית המים וההצפה. כל אלה הם נושאים בעלי חשיבות רבה.

דו"ח מקיף שהכינו חוקרי CAMERI כדי לתאר את האיום הפוטנציאלי של צונאמי הרסני בישראל, עוסק בנושאים הבאים:

- מקורות פוטנציאליים מקומיים ומרוחקים לפגיעת צונאמי בישראל;
 - אירועים היסטוריים חשובים;
 - גישות הסתברותיות וסטטיסטיות כדי להעריך את פוטנציאל הצונאמי והשפעתו;
 - סיווג של נושאים הקשורים להיווצרות צונאמי ומידול התפשטותו, מדורג על פי חשיבותם: (א) תיאור של מקורות צונאמי (סייסמיים ואחרים); (ב) התרחשויות צונאמי צפויות (גישות סטטיסטיות); (ג) מידול מנגנוני היווצרות צונאמי; (ד) מידול התפשטות צונאמי באוקיינוס פתוח; (ה) התפשטות צונאמי על המדף היבשתי ובאזור החוף, עליית המים ומפות הצפה;
 - הנדסת צונאמי – לקחים שהופקו מאסונות שקרו לאחרונה: PNG (פפואה וגינאה החדשה) 1998, צונאמי באוקיינוס ההודי 2004, הוריקן קתרינה באמריקה 2005;
 - אמצעים להקלת נזקי צונאמי ולהפחתתם – תכנון מבנים המסוגלים לעמוד בפני רעידות אדמה וצונאמי;
 - מערכת התרעה לצונאמי – התרעות בזמן אמת, הדרכה על דרכי פעולה, כינוך למודעות האוכלוסייה, קישורי תקשורת ומערכת שידור מתאימה, סוכנויות, מדריכים תפעוליים, חוברות ופרסומים כגון אלה של הסוכנות הפדרלית לניהול מצבי חירום (FEMA), הערכת סיכוני צונאמי ואסטרטגיות לאזור האירופי (TRANSFER), הסוכנות המטאורולוגית של יפן (JMA) ועוד;
 - חישובי צונאמי שנעשו לאחרונה עבור חוף הים התיכון של ישראל בשל הפרעות בפני הים מושרות על-ידי תופעות סייסמיות ומפולות: עבודות של המכון לחקר הנדסה ימית (CAMERI), שירותי מחקר מאוחדים (URS) עבור המכון הגיאולוגי של ישראל (GSI) והחברה לחקר ימים ואגמים לישראל (חיא"ל);
- המסקנות העיקריות בדו"ח שהכינו חוקרי CAMERI הן:

- אף על פי שמזרח הים התיכון הוא כרגע האזור השקט ביותר מבחינת אסונות טבע קיצוניים, רעידות אדמה מקומיות ומרוחקות וצונאמי הרסניים ביותר יכולים לפגוע בישראל ובמדינות השכנות במאה הנוכחית או הבאה. מסקנות אלה, כמו גם ניתוח האיום הפוטנציאלי של צונאמי, מבוססים על סקירה יסודית של מספר רב של מאמרים בנושא שפורסמו לאחרונה. המחקרים שהוצגו במאמרים אלה השתמשו בטכנולוגיות מודרניות וגם בגישות פלאו-סייסמיות (paleoseismic) וארכאולוגיות.

- שלושה אירועים הרסניים (בשנים 1202 ו-1303) נדונו ביתר פירוט. הוכח, במידה רבה של ביטחון, כי אירועים דומים יכולים להתרחש במהלך המאה הנוכחית או הבאה. לכן, יש צורך חיוני בתכנון ובהפעלה של מערכות גילוי והתראה, ובהפצה רחבה של אמצעים חינוכיים להגברת מודעות הציבור לאיום הצונאמי. כל מחקר נוסף על צונאמי ומקורותיו הוא בעל ערך רב, אבל הדגש צריך להיות בראש ובראשונה על חיזוי צונאמי, על איתור ועל הפצת התראה.

- לגבי מבנים ימיים, קיימת הסתברות סבירה כי בניינים, מבנים חופיים ומתקנים אחרים שתוכננו לעמוד בפני רעידות אדמה, ישרדו גם בצונאמי.

שימוש במודלים נומריים

הבנה מעמיקה יותר של הפיזיקה של תהליכי זרימה מורכבים הובילה לניסוחים מתמטיים מפורטים ומתוחכמים. הייצוג המתמטי הוא בעיקר דטרמיניסטי ואילרי, ומתואר במשוואות דיפרנציאליות חלקיות המבטאות את חוקי השימור ובמשוואות מצב. תנאי ההתחלה ותנאי הגבול למשוואות המתארות את זרימת הסירקולציה בים הם: מהירות אפס בגבולות יבשה, נוסחאות חיכוך בקרקעית הים ותנאי ממשק מגוונים על פני המים. קיימים ביטויים רבים לערבוב הפנימי ולטורבולנטיות בקנה מידה שונים. קנה המידה האופקי והאנכי שונים בכמה סדרי גודל. בים התיכון העומק הממוצע של 1.5 ק"מ בהשוואה ל-3,800 ק"מ אורך, הוא כמו רצועת נייר דק (עובי 0.1 מ"מ) באורך 25 ס"מ.

מודלים רבים לזרימת סירקולציה באוקיינוס, לזרימה באזורים חופיים, לרוחות ולגלים, כמו גם מודלים אטמוספריים, נמצאים בשימוש בעיקר למטרות מחקר וחיזוי. מערכות תפעוליות (Operational systems) משתמשות בכל המודלים האלה, ומשלבות בהם נתונים מתצפיות, בזמן אמת ובאופן אוטומטי. נתונים אלה ממדידות נחוצים כדי לשפר את איכות המודלים על-ידי כיוול מתמיד ואימות, וכדי לתקן בזמן אמת את תנאי השפה והממשק, כדי ליצור תחזיות אטמוספריות וימיות יותר אמינות בים וביבשה.

רוח

השירות המטאורולוגי הישראלי (IMS) עושה שימוש מחקרי במודל חיזוי אזורי בשם HRM, המבוסס על מודל השירות המטאורולוגי הגרמני לתחנות עבודה, בגרסה שהותאמה על-ידי השירות המטאורולוגי הישראלי לתנאי האזור הדרום-מזרחי של הים התיכון. ניתן למצוא פרטים באתר השירות:

www.ims.gov.il/IMSEng/RESEARCH

גלים

ישנם כמה מודלים נומריים של גלים: WaveWatch, שנמצא בשימוש המנהל האמריקאי הלאומי לאוקיינוס ולאטמוספירה (NOAA), השירות הלאומי למזג האוויר (NWS) ומרכזים לאומיים לחיזוי סביבתי (NCEP); WAM)

(בווריאציות רבות), שנמצא בשימוש במערכות מחקר וחיזוי תפעוליות רבות בכל רחבי אירופה; SWAN, שפותח באוניברסיטה לטכנולוגיה בדלפט; (NSSM, (Model Navy Standard Surf של חיל הים האמריקאי.

זרמים

המודלים הנפוצים ביותר של סירקולציה באוקיינוס הם:

- (POM (Princeton Ocean Model);
- (ROMS (Regional Ocean Model System), שפותח באוניברסיטת ראטגרס ובאוניברסיטת UCLA;
- (HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model), המאפשר לשנות את בחירת הייצוג של קואורדינטת העומק באופן מקומי בין רמה z פשוטה, שכבות סיגמה המתאימות עצמן לבתימטריה, ושכבות isopycnic, שמתאימות לשכבות המים בצפיפות שונה. המודל נמצא בשימוש חיל הים של ארה"ב;
- NEMO, גרעין עבור מידול אירופי של האוקיינוס, שפותח במכון Laplace בצרפת;
- (FVCOM (Finite Volume Community Ocean Model) המשתמש ברשת מרחבית חופשית של נקודות, פותח על-ידי אוניברסיטת מסצ'וסטס בדרתמות' והמכון לאוקיינוגרפיה וודס הול;
- MITgcm, מודל סירקולציה כללית של MIT.

כמה מדינות בים התיכון מריצות מודלים נומריים באופן רציף במסגרת מערכות תפעוליות לצורכי מחקר וחיזוי של זרימות באוקיינוס, הכוללות גם מודלים אחרים לחיזוי. מיזם האיחוד האירופי MFSTEP קידם את הפיתוח של מערכות כאלה עם כיוון לכל הים התיכון, וגם עם דגש על תכונות ייחודיות אזוריות. פיתוחים אלה קשורים למערכות MFS באיטליה, CYCOFOS בקפריסין, ALERMO ביוון וכו'. רשת האוקיינוגרפיה התפעולית לים התיכון, MOON, שימשה ארגון גג לאיסוף ולפיזור מחדש של נתוני תחזיות מקומיים ותת-אזוריים. MOON התמזגה לאחרונה לתוך הרשת התפעולית הים תיכונית עבור המערכת הגלובלית לתצפיות האוקיינוס, MONGOOS, (ראו פרטים באתרי האינטרנט www.capemalta.net/medgoos/index.html ו-www.mongoos.eu/). בישראל מפעילה חיא"ל מודלים במערכת חיזוי כמעט בזמן אמת. המכון לחקר הנדסה ימית משתמש גם במודלים נומריים המיועדים להידרודינמיקה של אזורים חופיים. המודלים דו-ממדיים, ומתאימים בעיקר כדי לחשב את שדה הזרימה סביב מבנים ימיים כגון נמלים, מרינות, שוברי גלים וכדומה. התוכנות בשימוש המכון למטרה זו הן CAMERI-3D ו-MIKE 21/3 FM. המערכת האחרונה פותחה על-ידי המכון ההידראולי הדני, DHI, והיא אחת המקובלות ביותר ברחבי העולם. התוכנה מורכבת מסדרה של יישומים תואמים, העוסקים בהידרודינמיקה, בהסעת משקעים, במורפולוגיה של החוף וכו'. המודלים השונים משתפים את אותה רשת מלבנית או רשת גמישה המכסה את השטח הימי המעניין למיזם, תבניות נתונים נפוצות, ממשק משתמש ורטינות שירות וניהול.

טכנולוגיות חדשות למדידות אוקייניות

מדידות מלוויינים (טמפרטורה, כלורופיל)

חישה מרחוק של טמפרטורת פני הים וריכוז כלורופיל, שמסתמכת על טכנולוגיות מבוססות לוויין, נעשתה שיטה רווחת מאוד לקביעת הפרמטרים החשובים הללו באזורי חוף ובים הפתוח. סורק הצבע באזור החוף (CZCS) היה רדיומטר סריקה רב-ערוצים שהורכב על הלוויין נימבוס 7, שמיועד בעיקר לחישה מרחוק של מים. ההשקה של נימבוס 7 נעשתה ב-24 באוקטובר 1978, ו-CZCS נעשה מבצעי כמה ימים לאחר מכן, ב-2 בנובמבר. סורק הצבע היה מתוכנן לפעול במשך שנה אחת בלבד (כהוכחה רעיונית), אך למעשה נשאר בשירות כמעט 8 שנים, עד 22 ביוני 1986.

בתימטריית LiDAR או מערכת לייזר מוטסת לבתימטריה ולטופוגרפיה (ALBTS)

מערכת לייזר מוטסת לבתימטריה מציעה לקהילה ההידרוגרפית פתרון מהיר מאוד ויסודי לכיסוי שטח רחב במיפוי ובמידת נתונים במים רדודים ולאורך אזור החוף. טכנולוגיה לא פוגענית זו מספקת את הפתרון המושלם להדמיית סביבות עדינות ולמערכות אקולוגיות רגישות. בתימטריית LiDAR יכולה לסקור אזורים שאינם ניתנים לסקירה במערכות המורכבות על ספינה או שהסיכונים בהם גדולים מדי.

מכ"מים בעלי תדר גבוה (HF radar) למדידות גובה הגלים ולמדידות מהירות בגובה פני הים

טכנולוגיה זו היא כלי רב-עוצמה למדידת משטר הזרמים על פני הים בטווח של כ-30 ק"מ ויותר, עם דיוק של כ-3± ס"מ לשנייה בכל התנאים. לטכנולוגיה זו יש גם פוטנציאל למדידת ספקטרום כיווני של הגלים לטווח של עד 150 ק"מ.

אף על פי שיותר ויותר מערכות מסוג זה מותקנות ברחבי העולם, אף מערכת לא נרכשה בישראל עד לאחרונה. המצב צפוי להשתנות בקרוב באופן דרמטי, בשל יוזמתו של ד"ר ירון טולדו, חבר סגל חדש באוניברסיטת תל-אביב. ד"ר טולדו מתכוון לרכוש ולהתקין שתי מערכות מסוג WERA שיאפשרו לו לספק נתונים (זרמים וגלים) עבור רוב שטח ה-EEZ הישראלי של הים התיכון. דבר זה יכול לתת דחיפה עצומה ליכולת המדידה המרחבית של זרמים וגלים, כולל במקומות שאסדות להפקת נפט וגז ממוקמות בהם.

הערות לסיום

ברור שביצוע משימה חשובה הקשורה לפיתוח אזור ה-EEZ הישראלי בים התיכון מחייב, קודם כול, מדידה או חישוב של משטר הזרמים, הערכת משטר הגלים וקביעת שדות הטמפרטורה והמליחות במזרח הים התיכון. נתונים מפורטים ניתנים לחישוב על-ידי שימוש במודלים נומריים מתקדמים. עם זאת, האימות של שדות המהירות, המליחות והטמפרטורה מהמודלים חייב להתבצע באמצעות מדידות. מדידות אלה מתקבלות מתצפיות מרחוק על-ידי סוגים שונים של מכ"מים כגון:

- מכ"ם למדידות (Sea Surface Temperature) SST, למשל באמצעות חיישן צפייה לים עם שדה ראייה רחב (SeaWiFS) של NASA;

- מכ"ם HF, SAR או INSAR לזרמים ולגלים. את שני הסוגים האחרונים אפשר להרכיב על מטוסים (באמצעות מטוסים מאובזרים במיוחד) או על לוויינים. מכ"ם HF משתמש באנטנות ממוקמות בחוף. ד"ר ירון טולדו, חבר סגל חדש באוניברסיטת תל אביב, יזם הקמת מערך מכ"מים HF לאורך החופים של מדינת ישראל בים התיכון.

עד לא מזמן הופנה רוב המאמץ של מדעני המכון לחקר הנדסה ימית (CAMERI) להפעלת מודלים המתאימים לאזורים חופיים, עם עומקי מים שאינם עולים על 30–50 מ'. מודלים אלה שימשו כדי לסייע למהנדסים ימיים

המטפלים במיזמים חופיים המוקמים ביוזמת חברת נמלי ישראל, חברת חשמל, או הקשורים למפעלי התפלה, עם מיטוב של פתרונות, כמו גם ביצוע מחקרים ותסקירים סביבתיים (EIA) עבור המשרד להגנת הסביבה. פיתוח מודלים מצומדים גלי ים-זרמים עבור ים עמוק שנעשה לאחרונה מאפשר לתת מענה גם עבור אזור ה-EEZ הישראלי בים התיכון. הפיתוח של מודלים ספרתיים מתקדמים מודרניים, ובפרט של מודלים מצומדים של גלים וזרמים, יבוצע בשיתוף פעולה עם אוניברסיטאות ומוסדות ברחבי העולם שרכשו ניסיון מוכח בתחום.