

מועדי ים בהקשר למיפוי ימי

דב ס. רוזן¹ M.Sc.

¹מנהל המחלקה לגיאולוגיה ימית ותהליכים חופיים
חקר ימים ואגמים לישראל, המכון הלאומי לאוקיאנוגרפיה
תל שקמונה, ת.ד. 8030, חיפה 31080, טל: 04-8515202, פקס: 04-8511911, אינטרנט: <http://ocean.org.il>

1. מבוא

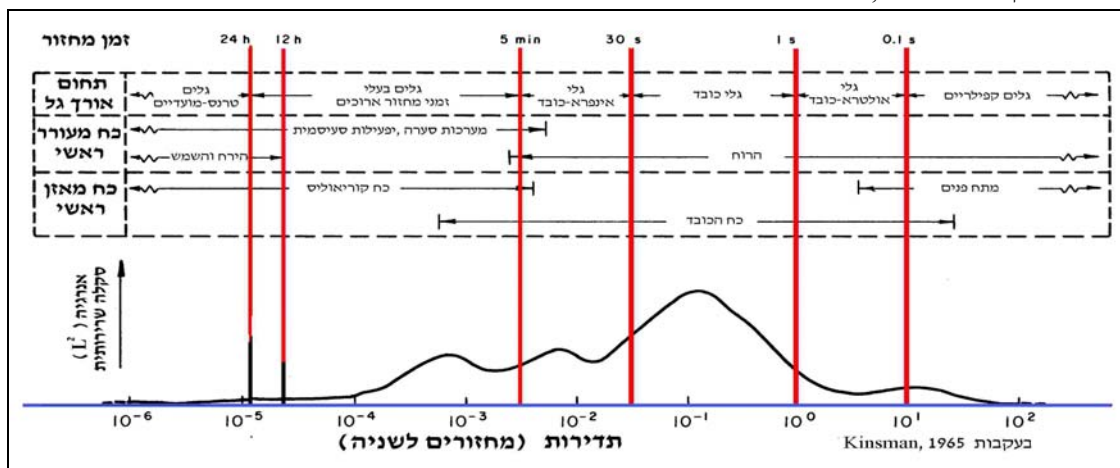
במאמר זה יוצג מידע שימושי למודדים הנוגעים לשימוש ברום פני הים לשם קביעת רומים אחרים, לצורכי מיפוי והגדרת גבולות שטחים, וכן מידע כללי רלוונטי לנושא. רום מפלס הים הוא נושא לימוד ומעקב בן אלפי שנה. הסינים היו בין הראשונים שידעו לבצע תחזיות של מועדי ים (או כרית או בשפה עממית גאות ושפל) הנגרמים עקב המשיכה ההדדית בין כדור הארץ וגורמי השמיים הקרובים אליו, הירח והשמש. על השפעות גורמים אחרים לרום מפלס פני הים המודעות היתה מאוחרת יותר. כיום המודעות לנושא רום פני הים יצאה מחוץ לקהיליה העוסקת בתחום הים בעקבות תחזיות לעליית מפלס פני הים העולמי הממוצע (המפלס האוסטטי) בהשפעת תופעת החממה.

מדידות מפלס הים בוצעו בארץ במאה שעברה כבר בזמן המנדט הבריטי אך סביר להניח כי תצפיות כאלה בוצעו כבר לפני 2000 שנה ע"י המהנדסים הרומים שבנו את נמל הורדוס בקיסריה. מדידות מסודרות של רום פני הים בוצעו בארץ בעבר הרחוק על-ידי מספר מוסדות בנהריה, חיפה, חדרה, יפו ואשדוד. הרישומים שמכסים תקופת הזמן הארוכה ביותר נעשו ע"י יחידת סקר חופי של רשות הנמלים מסוף שנות החמישים ועד אמצע 1985. כל המדידות האלה, בוצעו בעזרת רשם נייר מכני עם מצוף, ונמשכו לאחר מכן עם הפסקות ע"י רשות הנמלים בשיתוף השרות המטאורולוגי ומפ"י, ומתחילת שנות התשעים ע"י מפ"י. ואולם, הדיוקים והמיקום של המדידות לא תאמו הדרישות למעקב אחר מפלס הים לצורך זיהוי שינויים זעירים בעת הזאת בהשפעת תופעת החממה. מסיבה זאת, בסוף 1991 הציבה חיא"ל מערכת מדידה מתקדמת למעקב אחר שינויים במפלס הים בקצה מזח הפחם בחדרה. תחנת מדידה זאת, שכוללת בנוסף למדידת מפלס הים גם מדידת פרמטרים אופייניים של גורמים נוספים המשפיעים על מפלס הים כגון רוח, גלים, זרמים, לחץ אטמוספרי וטמפרטורה, הוכרה ב-1994 כתחנה ראשית מס' 80 ברשת המעקב העולמית אחר מפלס הים (GLOSS). גם מפ"י משתתפת במאמץ המדידה בתחנה זאת ע"י מדידת רום נקודות הבקרה לקשירת המדידות של מפלס הים לרשת הארצית והעולמית.

בשנים האחרונות הוצבו תחנות מדידה עם רישום ספרתי ע"י מפ"י ורנ"ר בתל אביב ואשקלון. כתוצאה משיתוף בין חיא"ל, מפ"י והמכון הבין-אוניברסיטאי הוצבה תחנה מתקדמת גם באילת. מידע מתחנות חדרה ואילת, הכולל מדידות ותחזיות מוצג באתר חיא"ל במסגרת מרכז המידע האוקיאנוגרפי הלאומי (NODC באתר המצוין למעלה). הפעילות של חיא"ל קיבלה הכרה בינלאומית בכך שהמחבר התמנה למתאם ויו"ר ועדת המומחים של תכנית MedGLOSS שהוקמה ע"י הוועדה הבין-משלתית לאוקיאנוגרפיה (IOC) של UNESCO בשיתוף הוועדה הבינלאומית לחקר המדעי של הים התיכון (CIESM), תכנית אשר נכון להיום לוקחות חלק בה 18 מדינות לאורך חופי הים התיכון והים השחור. בכינוס שהתקיים בחיא"ל במאי השנה בהשתתפות נציגים מ-13 מדינות, נקבע כי המרכז לתכנית המחקר של שינוי מפלס הים בים התיכון והים השחור יוצב בחיא"ל, ובמסגרת התכנית חיא"ל הציבה כבר תחנות מעקב אחר מפלס הים בנמל קונסטנצה ברומניה ונמל ספליט בקרואטיה ועומד להתקין תחנות כאלה בעוד מספר ארצות במימון CIESM. מידע נוסף על התכנית וקישורים לאתרים רלוונטיים מוצג באתר התכנית <http://medgloss.ocean.org.il>.

2. גורמים התורמים או משפיעים על מפלס הים

שינויים במפלס הים נגרמים ע"י שני סוגי גורמים: (א) גורמים אסטרונומיים היוצרים את מועדי-הים (הגאות והשפל) (ב) גורמים סביבתיים (טמפרטורה, רוח, לחץ אטמוספרי, גלים, זרמים, תנועות קרקע, וכו'). בציור מס' 1 מוצגים הגלים השונים הפועלים בים ומתוארת התפלגות מקורבת של אנרגיית הגלים בפני הים על פי זמן המחזור (המגדיר את אורך הגל), ועל פי סוג הכח המעורר הראשי והכח המאזן הראשי. מתוכם, אנו מבדילים במספר סוגים של גלים. הראשון הוא תחום גלי הכובד כלומר גלים הנגרמים עקב נשיבת הרוח על פני המים (2 עד 20 שניות), השני תחום של גלי אינפרא-כובד (20 שניות עד כ-5 דקות), השלישי בין 5 דקות ועד כ-20 דקות האופייני לגלי צונמי (הנגרמים עקב רעידות אדמה או גלישות קרקע), והרביעי מעל 20 דקות ובו גם גלים השייכים למועדי ים, תנודות אטמוספיריות ואקלימיות עונתיות, שנתיות ורב-שנתיות.



ציור מס' 1 - התפלגות מקורבת של אנרגיית הגלים בפני הים

הגורם העיקרי המשפיע על מפלס פני הים במהלך כל השנה הינו מועדי הים האסטרונומיים (tide). כידוע, בהשפעת כח המשיכה ההדדי בין כדור הארץ ובין הירח ולבין כדור הארץ והשמש נגרמות תוזנות מחזוריות של מפלס פני המים, הנמשך במידה שונה מאשר החלק הקשיח של כדור הארץ. מועדי הים בארץ מאופיינים הן בים התיכון והן במפרץ אילת ע"י מחזורי חצי יומי (semi-diurnal) ויומי (diurnal) כמו גם מחזוריים דו-שבועיים (fortnightly) וחדשי ירחי (29 ימים), ולבסוף מחזור חצי שנתי, שנתי ושנתי (18.6 שנים). יצוין כי בנוסף לתרומה האסטרונומית, באזורי חוף שונים עלולים להתרחש גם מועדי ים משניים מקומיים הנגרמים עקב השתנות גלי מועדי הים (המאוד ארוכים) בהשפעת תצורת הקרקעית המקומית ע"י תופעת רפרקציית הגלים.

מועדי הים מאופיינים ע"י מחזוריות חצי-יומית ודו-שבועית ועונתית. טווח מועדי הים השכיח משתנה בין כ-0.4 מ' במועדי-ים במולד ובמלא (spring tide) וכ-0.15 מ' במועדי-ים ברבעים (neap tide). מפלסי ים קיצוניים יכולים להתרחש בשילוב עם מצבים מטאורולוגיים קיצוניים. טווח השינויים בין אביב לסתיו במפלס הים הממוצע הינו כ-15 עד 20 ס"מ, כאשר המפלסים הנמוכים מתרחשים באביב (פברואר-מרץ) והמפלסים הגבוהים בסוף הקיץ (אוגוסט-ספטמבר), עם שיא נוסף בנובמבר-דצמבר.

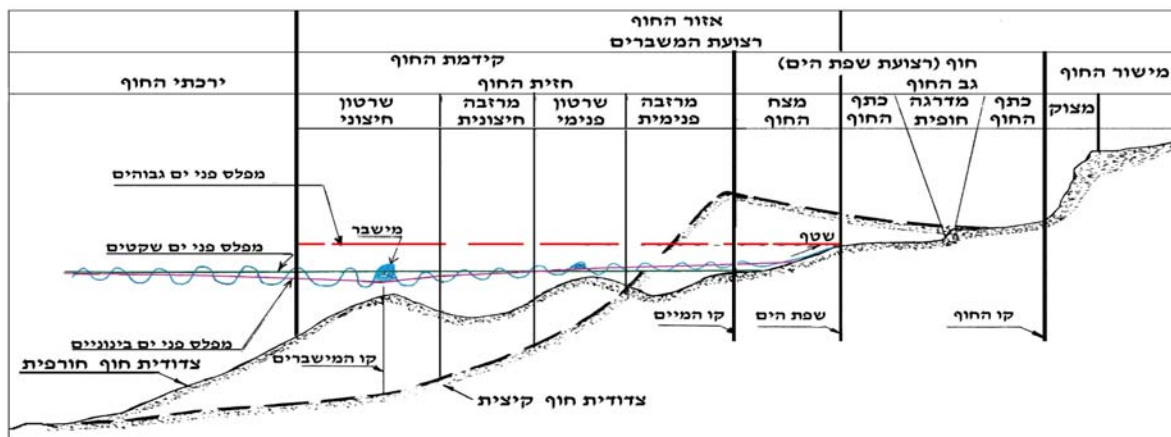
תחזית העלייה העולמית במפלס פני הים הבינוניים בהשפעת תופעת החממה, הנה של 18 ס"מ לשנת 2030 וכ-50 ס"מ לשנת 2100. ואולם, מקובל על מרבית החוקרים בעולם כי השינויים היחסיים המקומיים עלולים להיות שונים מאוד אחד למשנהו על פני כדור הארץ,

עקב תנועת היבשות ועקב כוח משיכה לא אחיד על פני כדור הארץ. על בסיס המידע הקיים עדיין לא ניתן לקבוע האם השינויים הצפויים בחופי ישראל יהיו שונים מהאומדנים הנ"ל ואם כן בכמה. אומדנים קיצוניים של רום מפלס ים בחופיה ישראל בים התיכון, ללא התחשבות בתרומת השפעת תופעת החממה מוצגים בטבלה מימין.

מפלס ים גבוהה	מפלס ים נמוך	תקופת חזרה ממוצעת
[מ']	[מ']	[שנים]
0.64	-0.38	1
1.04	-0.74	50
1.10	-0.87	100

על סמך ניתוח של 19 שנות נתוני מפלס הים מאשדוד, בלנק ורוזן (1998) חישובו כי באשדוד, ברשת ישראל הישנה, רום פני ים ממוצעים (MSL) הינו 8.1 ס"מ מעל אפס האיזון הארצי (ברשת הישנה), רום פני ים גבוהים (MHHW) הינו 23.2 ס"מ מעל אפס האיזון הארצי (ברשת הישנה), ורום פני ים נמוכים (MLLW) הינו 6.5 ס"מ מתחת לאפס האיזון הארצי. מכיוון שקיימות סטיות של מספר סנטימטרים בין רום אפס האיזון הארצי באשדוד לבין זה שבחיפה ברשת ישראל הישנה, למרות שהיו אמורים להיות זהים, יתכנו סטיות של עד כ-10 ס"מ בין הערכים בחיפה לעומת אלה שחושבו באשדוד. אמן של מפלסי ים קיצוניים על בסיס 30 שנים של מפלסי ים מוצג להלן, מבלי לכלול את השפעת תופעת החממה.

תרומת גלי הים על מפלס הים באה לידי ביטוי ביצירת הערמות בפני הים הבינוניים (ביחס לרום פני הים במצב ים שקט). הערמות זאת, שמוצגת בציור מס' 2, נגרמת כתוצאה משיקולי שימור תנע. ההערמות מתרחשת ברצועת המישברים והולכת וגדלה עד לערך מירבי בקו המים. ככל שגובה הגלים גדול יותר, ההערמות גדולה יותר. ערכה בקו המים בדרך כלל סנטימטרים ספורים, אך בעת סערות יכול לעלות לעשרות סנטימטרים, בתלות באופייני הגלים.



ציור מס' 2 - הגדרת מונחים בתחום צדודית החוף וציון הערמות גלים ברצועת המישברים

ניתוח מדידות מפלסי הים הקיימות, על בסיס עונתי ורב שנתי, מראה כי תרומת הגורמים הסביבתיים למפלס הים בטווחים שמעל לחודש קטנה ביותר, ואילו הגורם האמיתי לשינויים אלו הוא השפעתו של כוח המשיכה שמפעילה השמש. מסקנה זו נובעת מהעובדה שסיבובו של כדור הארץ סביב השמש, הוא הגורם לעונתיות ולכן הוא גם הגורם לעונתיות במפלס הים. לעומת זאת, לזמנים קצרים יחסית במיוחד בזמן סערות, יכולה להתקבל תרומה ניכרת לרום פני הים בקו המים עקב הערמות הגלים, שקע אטמוספרי ונד רוח (כלומר דחיקת מים ע"י הרוח אל החוף או ממנו לפי כיוונה). בזמנים של סערות מערביות ניתן לקבל הערמות בחוף של עשרות סנטימטרים ויותר, כלומר קו המים ייצא ברומ מוגבה ומוז מזרחה.

3. יישומים הידרוגרפיים ולצורך מיפוי יבשתי

ידעת רום פני הים חשובה בשני מצבים של מדידות. לגבי מיפוי ימי, נדרש לרוב לייחס את המיפוי לרום פני ים נמוכים. בנוסף לכך בכל מיפוי ימי יש צורך להכניס תיקון לערכי העומקים הנמדדים בזמנים שונים המושפעים מתרומות הגורמים שהוצגו ולתקנם ע"י ניכוי התרומות של הגורמים הללו, בראש ובראשונה ע"י מועדי ים אסטרונומיים ולחץ אטמוספרי. במקרה של צורך בקביעת מיקום קו המים יש צורך להתחשב גם בתרומת נד רוח והערמות גלים. בחיא"ל פועלת יחידת מיפוי ימי המצוידת בצידוד, ספינות ותוכנות המבצעות תיקונים אלה באופן ממוחשב. לצורך מיפוי שטחים ימיים באזורים בהם ישנם שינויים גדולים בטווח מועדי הים האסטרונומיים (לא בים התיכון) אין להסתפק בנתוני רום מפלס ים נקודתי, אלא יש צורך בהפעלת מודל מתמטי דו-ממדי להערכת ערכי מועדי הים בזמן ובמרחב. ביום העיון יוצגו דוגמאות של מדידות מפלסי ים במצבים סביבתיים שונים ומקומות שונים. כמו כן תוצגנה מספר גישות לזיהוי והגדרת קו המים ויידונו היתרונות והחסרונות שלהן.