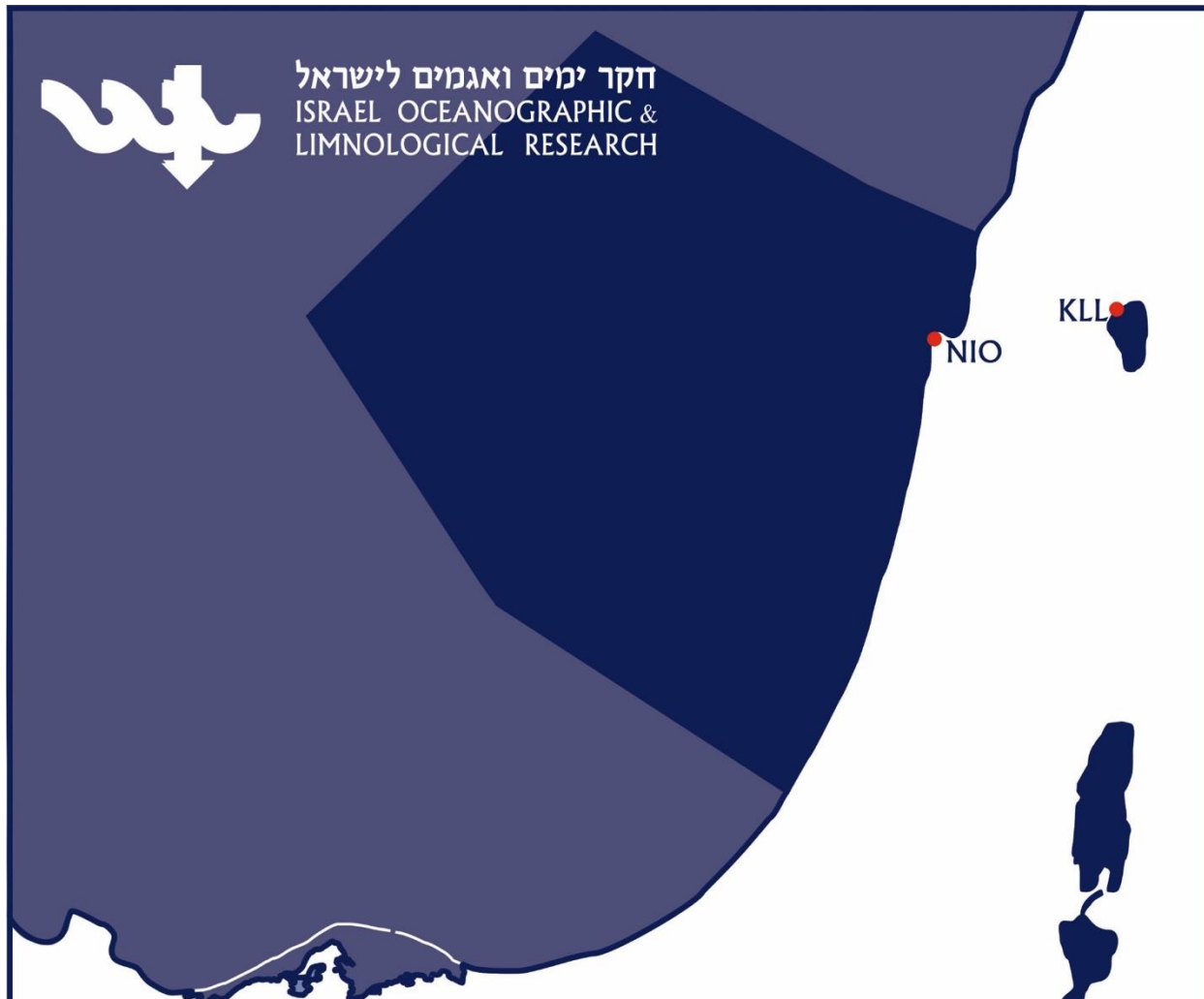




חקר ימים ואגמים לישראל
ISRAEL OCEANOGRAPHIC &
LIMNOLOGICAL RESEARCH



דו"חות חיא"ל IOLR REPORTS

תרחישי ייחוס לשינוי אקלים
עליית מפלס ים

דו"ח חיא"ל H04/4/2023

איה לזר, אלי ביטון ואלון זס"ק

NCM



דו"ח זה מביא (1) סיכום מקוצר למדידות מפלס הים בארץ, ורקע מדעי לשינויים הנצפים. לאחר מכן, (2) מוסברות ומסוכמות תחזיות הפאנל הבין-ממשלתי לשינויי אקלים, ה-IPCC, לעליית מפלס הים הממוצעת והכוללת. ניתן סיכום (3) של תרחישים סבירים לעליית מפלס הים בישראל עד לסוף המאה הנוכחית. לבסוף, (4) ההסברים והסייגים לגבי הדיוק של תרחישים אלו, והצעות להמשך עבודה בכדי להגדיל את רמת הוודאות בה מתקבלות החלטות וכנגזרת ממנה נעשית עבודת התכנון. הנתונים הועברו למרכז המיפוי הישראלי (מפ"י) לצורך מיקום קווי המפלס העתידיים על מפת רצועת החוף הים תיכונית הישראלית, לנוכח תחזיות עליית מפלס הים בתרחישי הייחוס השונים. מפות אלו תהיינה זמינות באתר המפות הלאומי לגורמים רלוונטיים על-פי מדיניות הנגשת הנתונים. תרחישי ייחוס אלה ישמשו גם כמקור נתונים לשכבות הרלוונטיות במפת סיכוני האקלים המקודמת בימים אלה במשרד להגנת הסביבה.

חשוב להדגיש שעליית מפלס ממוצעת אינה מייצגת את הנדרש להיערכות מבחינת סיכונים כתוצאה משינויי האקלים. יש צורך להתייחס לעליית המפלס הכוללת לרבות בעת אירועי קיצון. לאור העובדה שהערכות ה-IPCC עד כה היו שמרניות והעריכו בחסר ביחס לשינויים שנצפו, ומכיוון שהמודלים לוקחים בחשבון תנאי סף והגדרות שמרניות, לעמדתנו התרחיש הסביר להיערכות בטווחי הזמן של עשרות שנים הוא התרחיש של SSP5-8.5 כפי שהוצג ומתואר בטבלה 3 לגבי אירועי הקיצון.

הקדמה

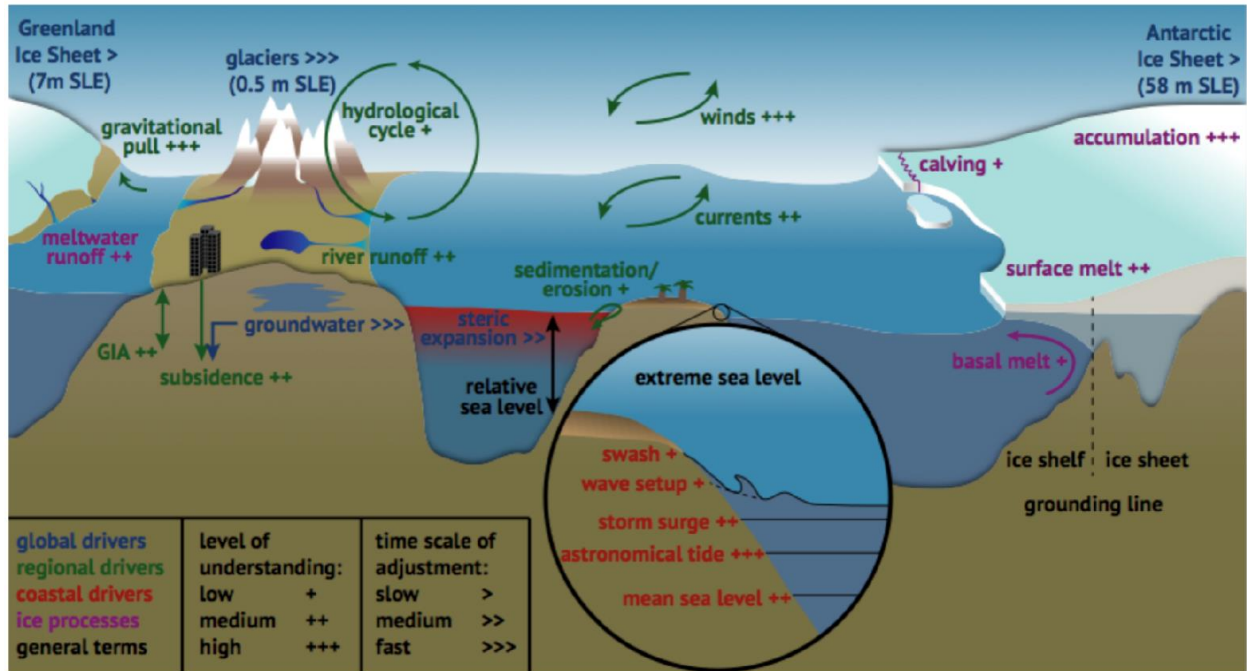
תנודתיות טבעית במפלס פני הים מתרחשת בסקאלות זמן ומרחב שונות, החל משינויי מפלס הקשורים לתופעת גאות ושפל, שינויים בלחץ ברומטרי ורוח הקשורים למערכות סינופטיות, תהליכים אקלימיים מרוחקים ותהליכים דינמיים המניעים תנודות שנמשכות עשור ויותר, וכלה בתקופות זמן גיאולוגיות. עם זאת, ישנן עדויות רבות לכך שקצב עליית מפלס הים הואץ מאז תחילת העידן התעשייתי, בשל שריפה אנתרופוגנית של דלקים פוסיליים ופליטת גזי חממה לאטמוספירה, הגורמים להתחממות האוקיינוסים ולהאצה בהמסת הקרח בקטבים. תחזיות בדבר עליית מפלס הים מתעדכנות על ידי קונסורציומים בין-לאומיים של מומחים כדוגמת הפאנל הבין-ממשלתי לשינויי אקלים (IPCC) שמריצים מודלים אקלימיים מורכבים המשקללים תחזיות פליטה אנתרופוגנית של גזי חממה ומגוון פרמטרים סוציאוקונומיים המייצגים מאמץ בינלאומי לבלימת מגמות שינויי אקלים עבור תרחישי ייחוס שונים. כך למשל, על פי הדו"ח האחרון של ה-IPCC, קצב עליית המפלס הגלובלית במהלך המאה העשרים היה כ-1.4 מ"מ לשנה בממוצע, מהיר יותר מבכל מאה אחרת במהלך 3,000 השנה האחרונות. קצב עליית מפלס הים הגלובלי התגבר מאוד ועלה ל-3.25 מ"מ לשנה בממוצע בין השנים 1993-2018. על פי תחזיות ה-IPCC, קצבי עליית מפלס הים צפויים לעלות הרבה מעבר לכך במהלך המאה הנוכחית, עד 12.2 מ"מ בשנה, למעלה ממטר ביחס למפלס הממוצע שנמדד בין השנים 1995-2014, בתרחיש הקיצון.

לעליית מפלס הים השפעות במגוון תחומים. בפרט, באזורים מישוריים, עליית מפלס הים תורגש בחריפות ותתבטא בכיסוי שטחים נרחבים. כך למשל, על פי דו"ח ה-IPCC עליית מפלס ים של 0.75 מ' עד לשנת 2100, המצויה ברף הנמוך של התחזיות, צפויה להציף בין 1,500 ו-2,600 ק"מ מרובעים באזור דלתת הנילוס המישורי, שהם כעשירית משטחה של מדינת ישראל. לאורך חופי ישראל, לעליית המפלס עלולה להיות פגיעה אפשרית בערי החוף, בתשתיות לאומיות המצויות בקרבת החוף כגון, נמלים, מעגנות, מתקני התפלה ותחנות כוח, ואף באתרי מורשת יחודיים. השפעה עקיפה לתוכניות הבינוי עלולה להיגרם מאירוזיה מוגברת של חופים חוליים, שינויים בהסעת סדימנטים, ומהתגברות בקצב נסיגת קו המצוק. מלבד הפגיעה הצפויה בשטחים המבונים, עליית מפלס הים תתרום להמלחת מקורות מים באקוויפרים, ולפגיעה בבתי גידול חשובים כדוגמת טבלאות הגידוד הנפוצים בישראל, אשר מוגבלים ביכולתם להתמודד עם עליית מפלס ים.

1 שינויי מפלס באזורנו ובעולם – רקע מדעי

עליית מפלס ים גלובלית (GMSL rise) מושפעת בעיקר מהתרחבות תרמלית של האוקיינוס, התווספות מסת מים לאוקייאנוס (המסת קרח land-ice וממאזן מי ים ומי תהום). שני הגורמים משנים את נפח המים הכולל באוקייאנוס אולם קצבי עליית מפלס הים אינם אחידים על פני הגלובוס. עליית מפלס ים **אזורית** מורכבת יותר, ומושפעת מתהליכים נוספים, המוצגים באיור 1 וכוללים רוחות, זרמים, מאזן הידרולוגי, שינויים גיאולוגיים וכו'. כמו כן, מפלס

הים מושפע מתהליכים כגון גאות ושפל ושינויים קצרי טווח, הנוצרים עקב סופות וגלים. לכן, לא ניתן להסתפק במגמות גלובליות ממודלים גלובליים, ויש צורך לנתח את המתרחש באזור העניין, במקרה זה מזרח הים התיכון.



איור 1: תהליכים המשפיעים על מפלס הים הגלובלי הודות לשינויי אקלים ותנודות אזוריות במפלס הים (מתוך הדו"ח המיוחד של הפאנל הבינלאומי לשינויי אקלים על האוקיינוס וכיפות הקרח [1])

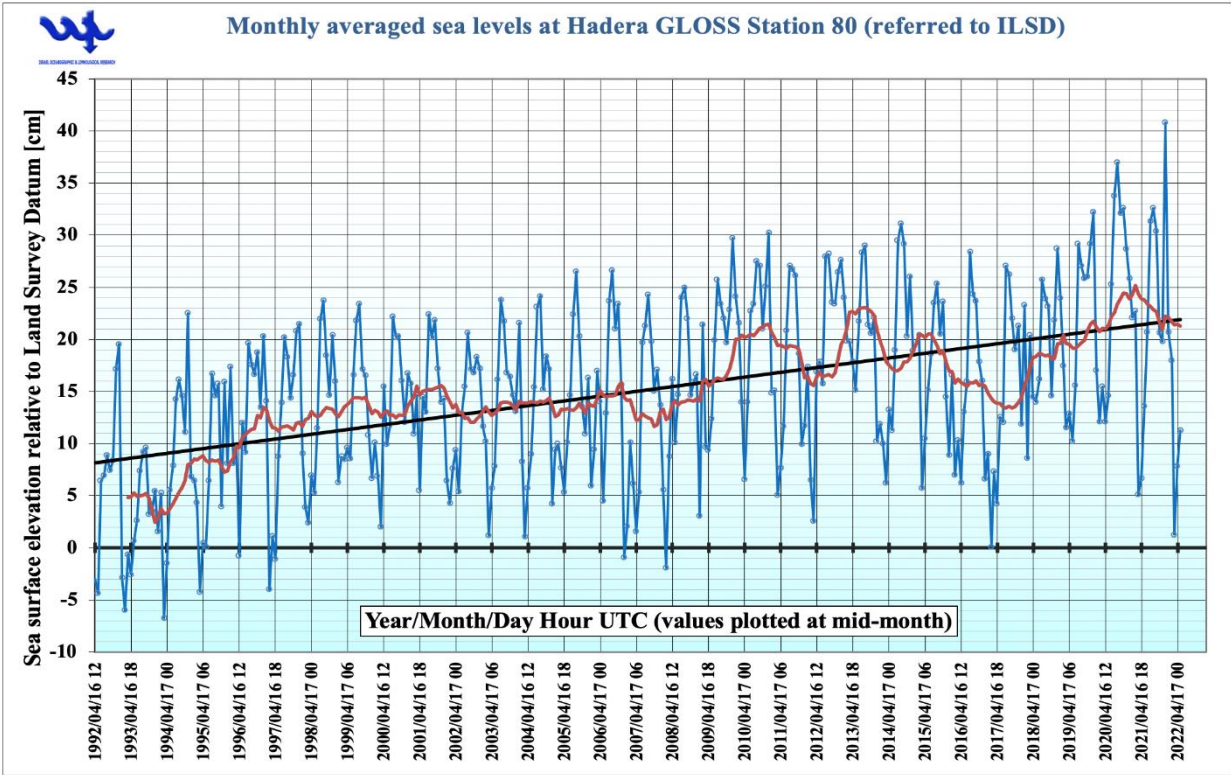
הים התיכון מראה שונות גדולה ביחס למגמות עליית מפלס הים הגלובלי. המכון לחקר ימים ואגמים מנטר מפלס ים בכמה תחנות מדידה הפזורות לאורך רצועת החוף הישראלית, כאשר בתחנה הוותיקה ביותר, הממוקמת מול חופי חדרה, ישנו רצף מדידות מאז 1992 ועד היום (איור 2). לאורך תקופה זו נמדדה בתחנה בחדרה עלייה ממוצעת של 4.6 מ"מ בשנה, נתון הגבוה מקצב עליית מפלס הים הגלובלי לתקופה זו (כ-3.2 מ"מ בשנה), המיתרגם לעלייה רב-שנתית של כ-13.8 ס"מ. סדרת נתוני מפלס ים ארוכה יותר מזו של התחנה בחדרה באזורנו מתקבלת מתחנת המדידה באלכסנדריה (שנים 1944-2006). ישנן אינדיקציות ברורות לכך [2,5], כי מגמות עליית מפלס הים הנצפות לאורך חופיו הדרום מזרחיים של אגן הלבנט דומות (חופי מצריים וישראל). לפיכך, אם נשקלל את הנתונים מאלכסנדריה וחדרה, הרי שמאז תחילת שנות החמישים ועד היום עלה מפלס הים באזורינו בכ-18.5 ס"מ. אזור הים התיכון "רגיש" יותר לשינויי האקלים, ומתחמם מהר יותר מהממוצע הגלובלי, דבר שתורם לעליית מפלס ים (התפשטות תרמית), ועל כן באזור זה השינוי משמעותי. מידע נוסף על מדידות מפלס הים באזורינו, המתבסס על תוכניות הניטור ארוכות הטווח והספרות המקצועית, ניתן למצוא בכרך "ניטור שינויי אקלים והמערכת ההידרוגרפית" שבדו"ח הניטור הלאומי לשנת 2021-22 [2], המוגש מדי שנה למשרד האנרגיה ולמשרד להגנת הסביבה.

באופן כללי, מפלס הים התיכון מורכב משינויים בטווחי זמן שונים. **בממוצע ארוך הטווח**, בפרקי זמן של מאה שנים ויותר, מגמות מפלס הים התיכון בכלל, ולאורך חופי ישראל בפרט, עוקבות אחר קצבי עליית המפלס בצפון-מזרח האוקיינוס האטלנטי. עם זאת, עקב היותו אגן חצי סגור המחובר לאוקיינוס האטלנטי דרך מיצרי גיברלטר, **בפרקי זמן של עשור ויותר**, מפלס הים התיכון מראה שונות גדולה ביחס למגמות הגלובליות. שונות זו מתרחשת הודות לתהליכים דינמיים הייחודיים לים התיכון עצמו, כדוגמת שינויים החלים בתהליכי ערבוב ובמאזן הנפחי של הים התיכון ואף הודות לשינויים במערכות אקלים מרוחקות. לדוגמה, השינוי במיקום יצירתם של המים העמוקים במזרח הים התיכון, מהים האדריאטי לים האגאי, שהתחולל בתחילת שנות התשעים של המאה הקודמת תרם לקצב עליית מפלס ים גבוה במיוחד באגן הלבנט, מה שמסביר את העלייה החדה מ-1992 ועד לתחילת שנות האלפיים (איור 2).

בנוסף לשינויים ארוכי טווח אלו, קיימים גם **שינויים עונתיים** במפלס הים, הנובעים, באזורנו, בעיקר מהבדל הטמפרטורות בין העונות. שינויים בין-שנתיים, במשרעת העונתית (בין 10 ס"מ ל-40 ס"מ) וההסטות בעונתיות

מפלס הים האזורי (מתי השיאים מתקבלים), נובעים מהשונות הפנימית של המערכת - השפעת הרוחות, הזרמים, המאזן ההידרולוגי וכו' וכן ממגמת ההתחממות הגלובלית הכללית והתחממות האגן המזרחי בפרט. כמו כן, על כל אלו נוספים שינויים קצרי טווח הנובעים מרוחות וזרמים מקומיים, וכן במצבי קיצון של עליות מפלס חדות, הנקראות Extreme Sea Level Events (ESL), הנובעות מסופות העורמות את המים על החוף (storm surge) וגלים גבוהים שנשברים (wave setup) – ראו מיקוד בעיגול שבאיור 1.

לסיכום, מפלס הים הכולל (Σ) מורכב מעליית המפלס האזורית הממוצעת (A), השינוי העונתי (B), גאות ושפל (C), ושינויים חדים הנובעים מסופות העורמות את המים על החוף ושירת גלים גבוהים (D): $\Sigma = A + B + C + D$.



איור 2: נתוני מפלס ים בממוצעים חודשיים כפי שנמדדו בתחנת הניטור הממוקמת בקצה מזח הפחם של תחנת הכוח "אורות רבין" בחדרה בין אפריל 1992 ועד מאי 2022 (כחול), ממוצע רץ שנתי (אדום), וקו מגמה לכל התקופה (שחור). הערכים המוצגים מיוחסים לאפס האיזון הארצי.

2 תחזיות ה-IPCC לעליית מפלס הים

הפאנל הבין-ממשלתי לשינויי אקלים (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)) הוקם בשנת 1988 על-ידי ארגון המטאורולוגיה העולמי (WMO), ותוכנית הסביבה של האו"ם (UNEP). בפאנל, חברים למעלה מ-2,500 מדענים בעלי שם מרחבי העולם, ומטרתו לספק לקהילה הבינלאומית את המידע המדעי הנחוץ בנושא שינוי האקלים (כימות, סיכונים, תחזיות וכו'). בפרט, תחזיות הפאנל מתריעות על הסכנות הטמונות בהמשך העלייה בריכוז של גזי החממה באטמוספירה הודות לשריפת דלקים פוסיליים.

בשנת 1995 החל פרויקט מקיף של התוכנית העולמית לחקר האקלים של האו"ם וארגון המטאורולוגיה העולמי להשוואה בין מודלים אקלימיים מצומדים (The Coupled Model Intercomparison Project (CMIP)). הפרויקט נועד לתאם בין קבוצות מידול בכל העולם להרצת מודלים אקלימיים מצומדים וליצור תשתית משותפת לאיסוף, ארגון והפצה של התוצאות. במתכונתו העכשווית, השישית במספר (CMIP6), משתתפים יותר מ-50 מרכזי מידול מרחבי העולם, שמריצים למעלה מ-100 מודלים שונים, ובכך יוצרים מכלול (אנסמבל) של מודלים ממנו מתקבלת הערכה מיטבית של הטווח ואי הוודאות בשינויי האקלים. תוצאות הפרויקט לאורך השנים היוו בסיס לפרסום אלפי מאמרים בנושאים אקלימיים, והם התשתית לתחזיות שניתנות בדו"חות ה-IPCC.

תחזיות למפלס הים הממוצע בישראל

מידול מפלס הים באופן מדויק הוא מאתגר, כיון שהתהליכים בו הם כאוטיים, וייתכנו שינויים גדולים בתוצאות עקב שינויים קטנים במודל או בתנאי התחלה. לדוגמה, השינוי שמוזכר לעיל, במיקום יצירתם של המים העמוקים במזרח הים התיכון, מהים האדריאטי לים האגאי, שהתחולל בתחילת שנות התשעים של המאה הקודמת, תרם לקצב עליית מפלס ים גבוה במיוחד באגן הלבנט. תהליך זה, אינו לינארי וקשה לחיזוי בצורה מדויקת.

לכן, על מנת לקבל הערכה מיטבית למפלס הים הממוצע (ובכלל לתוצאות המודלים האקלימיים) עושים שימוש בפרויקט CMIP6, בו מריצים כאמור אנסמבל של מעל 100 מודלים אקלימיים שונים, מספר פעמים רב לתרחישים שונים של פליטות גזי חממה. נלקחות תוצאות ממודלים המכילים רק תהליכים שקורים בסבירות גבוהה (מה שבדו"ח ה-IPCC נקרא over medium confidence). לאחר השמטת התוצאות הקיצוניות (17 האחוזים הנמוכים ביותר, ומעל 83 אחוז הגבוהים ביותר), מתקבלות תוצאות שהתרחשותן מוערכת בסבירות הגבוהה מ-66%. מודלים הכוללים תהליכים שסבירותם טרם כומתה (נקראים low confidence), אך עלולים להתרחש, כגון אי יציבות כיפות הקרח בגרינלנד ואנטרקטיקה, מורצים גם כן תחת אותם תרחישי פליטות. ניסיון העבר מראה כי חשוב לקחת תהליכים אלו בחשבון, כפי שנעשה לאחרונה והביא לשינויים המשמעותיים בין תוצאות המודלים השונים המוצגים בדו"חות ה-IPCC.

בטבלה 1 מפורטות התחזיות לעליית מפלסי הים הממוצעים לתרחישים השונים במיקום תחנת המדידה בחדרה, ביחס למפלס הים הממוצע בין השנים 1995-2014. חשוב להדגיש כי ערכים אלו מתייחסים אך ורק לעליית המפלס האזורית הממוצעת, ולא כוללות את השינויים העונתיים, גאות ושפל, ושינויים קצרי הטווח אחרים. תרחישי הייחוס המובאים כאן הם חלק מתוך תרחישי הייחוס של ה-IPCC המתייחסים למצבים שונים של כמות פליטות גזי חממה ומידת ההיערכות לשינויי האקלים הנגזרת ממצב סוציאקונומי באזורים שונים בעולם.

SSP1-2.6: תרחיש זה מייצג ירידה משמעותית בפליטות גזי החממה עד להפסקתן המוחלטת עד לשנת 2050. התחממות גלובאלית של 1.3°C – 2.4°C עד לסוף המאה ביחס לתקופה שקדמה לה הפכה התעשייתית.

SSP2-4.5: תרחיש התואם להתחייבויות הבינלאומיות עד 2030 ומייצג קצב פליטה בינוני של גזי חממה. התחממות של 2.1°C – 3.5°C צלזיוס עד לשנת 2100 ביחס לתקופה שקדמה לה הפכה התעשייתית.

SSP5-8.5: אין מדיניות אקלימית והמשך שימוש בדלקים פוסיליים כל עוד הם כדאיים (פליטה גבוהה). עליה של 3.3°C – 5.7°C עד לסוף המאה ביחס לתקופה שקדמה לה הפכה התעשייתית.

Scenario	%	2050	2070	2100
SSP1-2.6 Medium Confidence	17 th	0.14 m	0.21 m	0.27 m
	50 th	0.22 m	0.32 m	0.46 m
	83 th	0.32 m	0.47 m	0.68 m
SSP2-4.5 Medium Confidence	17 th	0.15 m	0.24 m	0.39 m
	50 th	0.23 m	0.36 m	0.57 m
	83 th	0.33 m	0.51 m	0.82 m
SSP5-8.5 Medium Confidence	17 th	0.18 m	0.3 m	0.58 m
	50 th	0.27 m	0.44 m	0.8 m
	83 th	0.37 m	0.61 m	1.1 m

SSP1-2.6 Low Confidence	17 th	0.14 m	0.21 m	0.27 m
	50 th	0.22 m	0.33 m	0.47 m
	83 th	0.35 m	0.53 m	0.79 m
SSP5-8.5 Low Confidence	17 th	0.17 m	0.3 m	0.58 m
	50 th	0.27 m	0.46 m	0.91 m
	83 th	0.44 m	0.8 m	1.55 m

טבלה 1: תחזיות מפלס הים הממוצע על פי תוצאות המודלים של CMIP6 לתרחישים שונים בתחנת חדרה ביחס למפלס הים הממוצע בחדרה בין השנים 1995-2014, מתוך [3]. תרחישי medium confidence מכילים רק תהליכים שמתרחשים בסבירות גבוהה. תרחישי low confidence מכילים תהליכים שסבירותם טרם כומתה, אך עלולים להתרחש.

תחזיות לעליית מפלס כוללת בישראל

בכדי להעריך את מפלס הים הרלוונטי להערכת סיכונים, יש להוסיף לתרחיש הממוצע של עליית המפלס האזורית, גם את שינויי המפלס העונתיים, היומיים (גאות ושפל) וכן את עליות המפלס קצרות הטווח, הנובעות מאירועי קיצון של היערמות המים, ושבירת הגלים בעת סערות (סך הכל = הערך Σ).

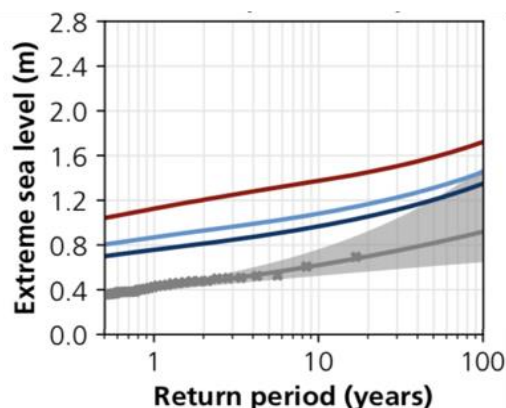
בדו"חות ה- IPCC תחזיות מפלס הים הכולל מחושבות בגישה הסטטית [1,3], לפיה מוסיפים לעליות המפלס הממוצעות את תרומתן הכוללת של תנודות המפלס כפי שמופיעות בהיסטוריות המדידות, בהנחה שאלו יהיו הערכים גם בעתיד. כך, אם X מבטא את עליית המפלס הכוללת הודות לאירועי קיצון ביחס למפלס הממוצע העכשווי, העלייה הכוללת במפלס הים בשנת 2100 ($\Sigma(t = 2100)$) תחושב באופן הבא:

$$\Sigma(t = 2100) = X + A(t = 2100) \quad \text{משוואה 1}$$

כאשר, $A(t = 2100)$ הוא מפלס הים הממוצע לשנת 2100. עם העלייה העתידית בערכי מפלס הים הממוצעים גוברת מאוד תדירות הופעתם של ערכי קיצון במפלס הים, עד פי מאה לפי אלף ביחס לתדירות המופע העכשווית. בדו"ח המיוחד של ה- IPCC בנושא האוקיינוס וכיפות הקרח [1], נעשתה הערכה של עליית המפלס הכוללת ותדירות המופע העכשווית של ערכי קיצון, על סמך מדידות ארוכות טווח באלכסנדריה, מצרים (קו אפור איור 3 וטבלה 2). תחנה זו, היא הקרובה ביותר לחופי ישראל בה ישנן מדידות לאורך זמן בתדירות מספקת (קו אפור איור 3). מתוך הערכות אלו, נעשו תחזיות לשנת 2100 על פי משוואה 1, לתרחישים שונים (קוים צבעוניים באיור 3). על פי חישובים אלו, אירועים נדירים המתרחשים אחת ל-100 שנים באזורנו, יתרחשו מספר פעמים בשנה ב-2,100. בטבלה 2 ניתן לראות את ערכי המפלס באלכסנדריה כיום באירועי הקיצון בתדירות שונות. נתון זה ישמש אותנו בהמשך לחישוב של אירועי הקיצון באזורנו.

1 [1/years]	1/10 [1/years]	1/100 [1/years]
0.4 m	0.6 m (0.5m – 0.8m)	0.8 m (0.7m – 1.4m)

טבלה 2: תדירות המופע של ערכי קיצון בעליית מפלס הים הכוללת כפי שחושבו על סמך רקורד מדידות מפלס הים באלכסנדריה (הקו האפור המופיע באיור 3, מתוך [1]). הערכים המופיעים בסוגריים באירועים המופיעים אחת לעשור ואחת למאה שנים מייצגים אי-וודאות סטטיסטית מסוימת הנובעת ממשיך המדידות הקיים. כאמור, מפלס הים הכולל מתייחס לסכום של מפלס הים הממוצע עם תרומתן של תנודות טבעיות לעליית המפלס (עונתיות, גאות ושפל, אירועי סערה וכו').



* Observations — Recent past — RCP 2.6 — RCP 4.5 — RCP 8.5

איור 3: תדירות המופע של ערכי מפלס ים קיצוניים כפי שחושבו על סמך רקורד מפלס הים באלכסנדריה (באפור), לעומת תדירות המופע לנוכח ערכי עליית מפלס הים בשנת 2,100 בתרחישי הייחוס השונים. השטח המסומן באפור בהיר מייצג אי-ודאות הנובעת ממשיך זמן המדידות (משמעותי בעיקר באירועים המתרחשים אחת לעשור ויותר). לקוח מתוך הדו"ח המיוחד של הפאנל הבינלאומי לשינוי אקלים על האוקיינוס וכיפות הקרח [1].

3 תרחישי ייחוס לעליית מפלס כוללת (ותדירות חזרתם)

הערך הרלוונטי לתכנון הוא מפלס הים הכולל באירועי קיצון והתדירות הצפויה לחזרתם. תרחישי הייחוס הכוללים הקיצוניים נקבעים על פי משוואה 2. טבלה 3 מציגה תחזיות תדירות המופע של ערכי מפלס ים קיצוניים, בבחירת הערכים של האחוזון ה-83 בתרחישים SSP5-8.5 Medium Confidence, ו-Low confidence. באותו אופן ניתן לקבל את הערכים לכל תרחיש של היערכות ופליטות.

חשוב להדגיש, כי הערכים בטבלה 3 ניתנים ביחס למפלס הים הממוצע בחדרה בין השנים 1995-2014, אשר על פי מדידות חיא"ל מצוי כ-15 ס"מ מעל אפס האיזון הארצי.

Scenario	frequency	2050	2070	2100
SSP5-8.5 Medium Confidence	1 [years ⁻¹]	0.8 m	1.0 m	1.5 m
	1/10 [years ⁻¹]	1.0 m	1.2 m	1.7 m
	1/100 [years ⁻¹]	1.2 m	1.4 m	1.9 m
SSP5-8.5 Low Confidence	1 [years ⁻¹]	0.8 m	1.2 m	2.0 m
	1/10 [years ⁻¹]	1.0 m	1.4 m	2.2 m
	1/100 [years ⁻¹]	1.2 m	1.6 m	2.4 m

טבלה 3: ערכי עליית מפלס הים הכוללת באזורנו ותדירות החזרה כפי שחושבו על סמך תחזיות ה-IPCC לשנים 2050, 2070, ו-2100. הערכים מחושבים על סמך תוצאות אחוזון 83 של תרחיש הייחוס SSP5-8.5 הכולל, בפעם אחת, תהליכים המתרחשים בסבירות גבוהה (medium confidence) ובשנייה, כאלו שהסתברות להתרחשותם אינה ידועה עדיין (low confidence) בתוספת התרומה לעליית המפלס באירועי קיצון, X, על פי משוואה 1.

4 המלצות להמשך עבודה

האמור בדו"ח זה מפרט את מיטב הידע הקיים כיום מדוחות ה IPCC בכל הנוגע לעליית מפלס הים. יש לציין כי רמת הוודאות עולה עם התקדמות המחקר בתחום והנתונים המתקבלים לרבות השוואה למדידות ומאפשרת שיפור מתמיד בתחזיות. בנוסף, הדו"ח האחרון של ה IPCC מציג כבר התייחסות פרטנית לעליית המפלס ומידול של הים התיכון עצמו בהשוואה לדוחות קודמים.

עם זאת, עדיין יש לשפר את רמת הוודאות של המודלים והתוצאות המתקבלות. חשוב לציין כי עד היום, השימוש הנפוץ במודלים הוא בגישה סטטית ולא דינאמית שהמשמעות שלה היא התבססות על מגמות ונתוני עבר ובניית תרחישי עתיד לאורם. אנו יודעים שבתחום האקלים, גישה זו אינה מדויקת ועד כה, הערכות ה IPCC הוכחו כשמרניות מול המציאות באופן עקבי. בנוסף, ישנם תהליכים שסבירות התרחשותם אינה ברורה. מדדים אלה נכנסו אמנם למודלים בתרחישי low confidence אך אין לדעת כיצד ואיך יתרחשו בוודאות גבוהה.

סוגיה נוספת שיש לתת עליה את הדעת היא הצטברות נתונים נוספים בתחום באופן ניכר ומשמעותי עם הזמן. המשמעות היא שכל קבלת החלטות בנושא שינוי האקלים תינתן במידת אי וודאות מסוימת. למרות השיפור ביכולות החיזוי, ניכר כי יש לבצע הערכות מחודשות בתדירות של מספר שנים על מנת לתקף את המידע בבסיס קבלת ההחלטות או לעדכן ולשדרג את המידע הנ"ל על מנת שניתן יהיה לעדכן את תרחישי הייחוס בהתאם.

הדו"ח נותן מדדים לפי מיטב הידע הקיים כיום בקהילה הבינלאומית, עם זאת, ניתן לשפר את הוודאות של תוצרי המודל וכן את התחזיות לגבי התרחישים האקלימיים העתידיים במידה ותיעשה עבודה פרטנית נוספת לקבלת נתונים מדויקים יותר לאזורנו כמפורט להלן:

- (1) ניתוח רקורד מפלס ים ונתוני גלים כפי שנמדדו לאורך חופי ישראל בתחנות המדידה של חיא"ל ומפ"י לצורך הערכת עליית מפלס כוללת באירועי קיצון (למשל כזו שנובעת מהיערמות מים הודות לנחשולי סערה חורפיים, או שבירת הגלים). בניתוח שכזה, תתאפשר גם הערכה של התרומות היחסיות בתהליכים שונים לעליית מפלס הים הכוללת ותדירות חזרתם לאורך החוף הישראלי.
- (2) הרחבת ניתוח תוצאות המודלים (עבר ותחזית) של CMIP6 באזורנו ביחס לערכים רלוונטיים במקומות נוספים לאורך קו החוף. עד כה, נעשתה בדיקה אל מול ניתוח דו"ח ה-IPCC לחדרה בלבד.
- (3) שילוב של הנתונים מ-(2) יחד עם נתונים אטמוספריים של הרצות CMIP6, יאפשר לעשות הערכה דינמית ומדויקת יותר של אירועי הקיצון הצפויים.
- (4) הרצת מודל אקלימי מצומד (ים ואטמוספירה) ברזולוציה גבוהה, וכן מודל דינמי לאירועי קיצון כדוגמת המודל הניתן ב-[4].
- (5) ניתוח דומה למובא כאן, וההצעות להמשך עבודה לפרמטרים נוספים הרלוונטיים לשינוי האקלים בסביבה הימית כגון טמפרטורה, מליחות, חומציות, שינויים בעומדת המים ובסירקולציה הכללית.

מראה מקום

1. Oppenheimer, M. et al., 2019: Sea Level Rise and Implications for Low Lying Islands, Coasts and Communities. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. Weyer (eds.)]. In Press, pp. 321–445, www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-4-sea-level-rise-and-implications-for-low-lying-islands-coasts-and-communities/.
2. דו"ח ניטור לאומי, חקר ימים ואגמים לישראל, שנת 2021-2022
3. Fox-Kemper, B., H.T. Hewitt, C. Xiao, G. Aðalgeirsdóttir, S.S. Drijfhout, T.L. Edwards, N.R. Golledge, M. Hemer, R.E. Kopp, G. Krinner, A. Mix, D. Notz, S. Nowicki, I.S. Nurhati, L. Ruiz, J.-B. Sallée, A.B.A. Slangen, and Y. Yu, 2021: Ocean, Cryosphere and Sea Level Change. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1211–1362, doi: 10.1017/9781009157896.011.
4. Vousdoukas, M.I., Mentaschi, L., Voukouvalas, E. et al. Global probabilistic projections of extreme sea levels show intensification of coastal flood hazard. *Nat Commun* 9, 2360 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04692-w>
5. Biton, E. Possible implications of sea level changes for species migration through the Suez Canal. *Sci Rep* 10, 21195 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78313-2>

קריאה נוספת

1. הסבר מפורט לתהליכים המשפיעים על מפלס ים אזורי בשפה פשוטה (באנגלית), ניתן לראות ב- <https://sealevel.nasa.gov/understanding-sea-level/regional-sea-level/overview>
2. מעט מתוצאות פרויקט CMIP6 למפלס ים וגדלים נוספים בצורה גרפית ונוחה, ניתן לראות ב- <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>