

יואב להן

המחלקה למדעי כדור הארץ, מכון וייצמן; החוג לגאופיזיקה ומדעים פלנטריים, אוניברסיטת תל-אביב

שי אפרתי

המחלקה למדעים גאו-ימיים ע"ש משה שטראוס, אוניברסיטת חיפה

נעה חזון

החוג לגאופיזיקה ומדעים פלנטריים, אוניברסיטת תל-אביב

רון גולדמן

חקר ימים ואגמים לישראל, המכון הלאומי לאוקיינוגרפיה, חיפה

אייל רהב

חקר ימים ואגמים לישראל, המכון הלאומי לאוקיינוגרפיה, חיפה

טל עוזר

חקר ימים ואגמים לישראל, המכון הלאומי לאוקיינוגרפיה, חיפה

יעל אמיתי

המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית בירושלים

איה לזר

החוג לגאופיזיקה ומדעים פלנטריים, אוניברסיטת תל-אביב

נורית קרס

חקר ימים ואגמים לישראל, המכון הלאומי לאוקיינוגרפיה, חיפה

איצק גרטמן

חקר ימים ואגמים לישראל, המכון הלאומי לאוקיינוגרפיה, חיפה

מייקל לזר

המחלקה למדעים גאו-ימיים ע"ש משה שטראוס, אוניברסיטת חיפה

ברק חרות

חקר ימים ואגמים לישראל, המכון



תרגיל לטיפול בזיהום ים | צילום: גדי בטלהיים

חיזוי תנועת חומר מרחף במימי מזרח הים התיכון ככלי לשיפור יכולת התגובה במקרה של זיהום ימי

גיליון אביב 2014 / כרך 5 (1) / הים התיכון / 4 במאי, 2014

[בקצרה](#)

כדי לאפשר התערבות יעילה במקרה של זיהום ולהגביל את היקף השפעת הזיהום בזמן אמת – הכרחי לנטר את אופן פיזור החומרים המשפיעים על המערכות האקולוגיות בסביבה הימית ולחזות אותן. הדבר נכון במיוחד באגן המזרחי של הים התיכון, שמאופיין במערכת רגישה ודלה בחומרי הזנה (oligotrophic), ונתון ללחצים כבדים כתוצאה מפעילות אנושית ענפה מאחר שחופיו מאוכלסים בצפיפות.

אחת המגבלות העיקריות באפיון דפוסי פיזור של חומרים מרחפים בפני הים, ובעיקר באיזור טורבולנטי כמו מזרח הים התיכון [3], נובעת מהקושי לכמת את תכונות ההסעה של שדה הזרימה שהוא מטבעו כאוטי ומשתנה בזמן. מחקר זה הוא חלק ממיזם CoSEM – Contaminant Spread in the Eastern Mediterranean שמממן משרד המדע והטכנולוגיה (MOST 3-6490), ומטרתו בניית כלי מבצעי לניטור ולחיזוי של פיזור חומרים מרחפים באגן הלבנט. המחקר נועד להתמודד עם אתגר חשוב זה, ולשמש בסיס מדעי תומך למערך ניטור וחיזוי של הסעת חומר מרחף במימי האגן המזרחי של הים התיכון.

הדבר נעשה תוך שימוש בשני מקורות להערכת שדה הזרימה:

- מדידות לוויין של גובה פני הים (satellite altimetry) שמתורגמים לווקטורים (קרי כיוון ומהירות) של זרמי השטח הגאוסטרופיים (geostrophic currents – זרמים שנובעים מאיזון בין מפל הלחץ לבין כוח קוריוליס). נתוני הלוויין מתקבלים ממיזם [AVISO 2] שמספק מדידות של גובה פני הים ברזולוציה של 1/80 בים התיכון;
- מודל הידרודינמי אזורי, שמורץ באופן קבוע במכון לחקר ימים ואגמים לישראל. המודל מספק תחזית יומית לארבעה ימים קדימה בדרום מזרח הים התיכון ברזולוציה של כ-1 ק"מ למדדים הבאים: טמפרטורה, מליחות וזרם [5].

נתונים אלה מאפשרים לבצע הדמיות נומריות של הסעת חומר מרחף ולבחון את אופי פיזורו במרחב. נוסף על כך, באמצעות ניתוח מתמטי של שדה הזרימה, מאופיינים מבנים לגרנג'יאניים עקביים (Lagrangian Coherent Structures – LCS) המשמשים, הלכה למעשה, מחסומי הסעה המפרידים בין גופי מים שונים. איכות הניתוח ויכולת הניטור מוערכות על-ידי השוואת המחסומים לדפוסי הפיזור המרחבי של כלורופיל, שנגזרים ממדידות לוויין של צבע פני הים. אופן המדידה של ריכוז הכלורופיל אינו תלוי בנתוני הזרימה. כפי שהראו במקומות שונים בעולם, שימוש בכלים מתמטיים מהסוג הזה יעיל לאפיון דפוסי הסעה של חומר מרחף [6].

הלאומי לאוקיינוגרפיה, חיפה

בדיקה של התאמת השיטה לאגן המזרחי של הים התיכון, בוצעה במספר שלבים:

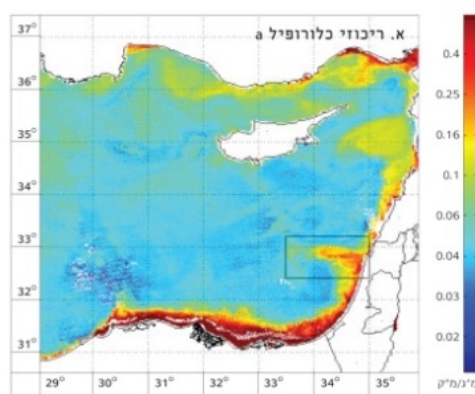
אייל חפץ

החוג לגאופיזיקה ומדעים פלנטריים,
אוניברסיטת תל-אביב

ציטוט מומלץ

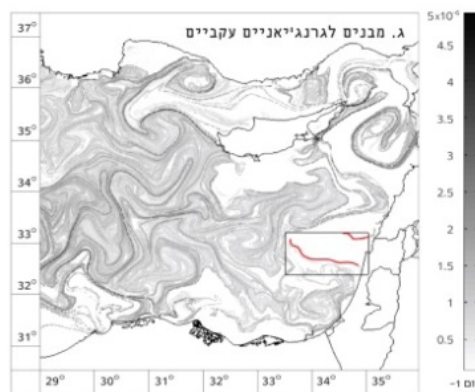
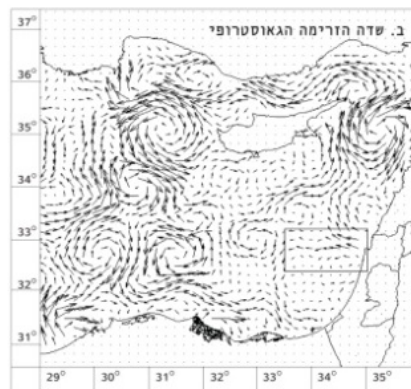
להן י, אפרתי ש, חזון נ ואחרים.
2014. חיזוי תנועת חומר מרחף
במימי מזרח הים התיכון ככלי
לשיפור יכולת התגובה במקרה של
זיהום ימי. *אקולוגיה וסביבה* 5(1):
34–32.

- בדיקת הדיוק של שדה הזרימה המתקבל מנתוני הלוויין למסלולי הסעה של מצופים (drifters) שנשלחו אל הים בסוף נובמבר 2009. הדמיות ההסעה ומחשומי הזרימה שחושבו מתמטית, התאימו למסלולים שעברו המצופים. מיקום המצופים נקבע על-ידי שידור נ"צ באופן רציף. סדרת בדיקות שנערכה במסגרת זו הראתה שנתוני הלוויין מאפשרים חיזוי של דפוסי הסעה לפרק זמן של עד שלושה ימים בקירוב טוב.
- מידול של אירוע הסעת זבל מחופי לבנון אל חופי נתניה שהתרחש בשנת 2010^[1]. הדמיית הסעה שנערכה בשדה הזרימה של המודל ההידרודינמי לאותה תקופה, הראתה שהמודל מצליח לחזות זרימה דרומה שעשויה להסביר את מקור הזבל. השכיחות של זרימה דרומית באזור אינה גבוהה, ולכן חיזויה מעיד כי למודל יכולת ביצוע גבוהה.
- דגימה (in-situ) של מי ים משני צְדֵי מחסום ההסעה שחושב מנתוני הלוויין, והשוואת התכונות הפיזיקליות והביוגאוכימיות של המים (איור 1)^[4]. במהלך חודש אוגוסט 2011 זוהתה התפשטות של מים (patch) עם ריכוז כלורופיל גבוה יחסית לסביבה, מחופו המזרחי של הים התיכון של ישראל אל הים הפתוח. בהפלגת מחקר ייעודית באזור נדגמו מים משני צְדֵי מחסום ההסעה בנקודות שנקבעו מראש על סמך שדה הזרימה הלווייני. התכונות שנבדקו היו טמפרטורת המים, מליחות, פלואורונות (fluorescence) של כלורופיל, ריכוז חומרי הזנה (זרחן, חנקן וחומצה צורנית [silicic]) ושכיחות של סוגי מיקרופלנקטון שונים (Synechococcus, Pycoeukaryotes). התוצאות הראו שינוי משמעותי בערכים שנמדדו ברגע מעבר מחסום הזרימה. הפלגת מחקר זו היא בסיס טוב להבנת יעילותם של מחסומים אלה למערכת חיזוי וניטור.



איור 1. מפות מבוססות נתוני לוויין נכון ליום 22.8.2011
(המלבן הוא תחום הפלגת המחקר)

- א. ריכוזי כלורופיל a מנתוני MODIS-Aqua: באזור התחום במלבן ניתן להבחין בכתם בעל ריכוז גבוה יותר של כלורופיל - זוהי התפשטות הכלורופיל שנבדקה במחקר; שדה הזרימה הגאוסטרופי המתקבל מחישוב נתוני גובה פני הים מנתוני מיזם AVISO^[2]: ניתן לראות שכיוון הזרימה הוא מערבה - מחופי ישראל לים הפתוח;
- ג. מבנים לגרנג'יאניים עקביים (LCS) שחושבו מתוך שדה הזרימה: קווים כהים מתארים אזורים עם כושר הפרדה גבוה והקווים האדומים מתארים את מחסומי הזרימה שתחמו את התפשטות הכלורופיל.



איור 1

מפות מבוססות נתוני לוויין נכון ליום 22.8.2011

(המלבן הוא תחום הפלגת המחקר)

- א. ריכוזי כלורופיל a מנתוני MODIS-Aqua: באזור התחום במלבן ניתן להבחין בכתם בעל ריכוז גבוה יותר של כלורופיל - זוהי התפשטות הכלורופיל שנבדקה במחקר;
- ב. שדה הזרימה הגאוסטרופי המתקבל מחישוב נתוני גובה פני הים מנתוני מיזם [AVISO 2]: ניתן לראות שכיוון הזרימה הוא מערבה - מחופי ישראל לים הפתוח;
- ג. מבנים לגרנג'יאניים עקביים (LCS) שחושבו מתוך שדה הזרימה: קווים כהים מתארים אזורים עם כושר הפרדה גבוה והקווים האדומים מתארים את מחסומי הזרימה שתחמו את התפשטות הכלורופיל.

התוצאות החיוביות של סדרת הבדיקות הללו אפשרו הקמת כלי לניטור ולחיזוי בזמן אמת של פיזור חומרים מרחפים באגן הלבנט. הכלי מספק תמונה יומית של המחסומים הדינמיים ושל שדה הזרימה ביחס לתמונת כלורופיל יומית, והוא נגיש לציבור

באתר האינטרנט שימוש במערכת זו מאפשר תגובה יעילה ומדויקת במקרה של זיהום ימי.

מקורות

1. רינת צ. 2010. [פסולת רבה המגיעה מלבנון מזהמת את חופי ישראל](#). הארץ. 3.11.2010.
2. [AVISO](#). Viewed 11 Feb 2014
3. Amitai Y, Lehahn Y, Lazar A, and Heifetz E. 2010. Surface circulation of the eastern Mediterranean
4. Levantine basin: Insights from analyzing 14 years of satellite altimetry data. *Journal of Geophysical Research* **115**: C10058
5. Efrati S, Lehahn Y, Rahav E, et al. 2013. Intrusion of coastal waters into the pelagic eastern Mediterranean: In situ and satellite-based characterization. *Biogeosciences* **10**: 3349–3357
6. Israel Oceanographic and Limnological Research. [SELIPS – Currents, temperature and salinity forecast for the Israeli shelf](#)
7. Lehahn Y, d'Ovidio F, Lévy M, et al. 2011 Long range transport of a quasi isolated chlorophyll patch by an Agulhas ring. *Geophysical Research Letters* **38**: 1–6