



## כאשר מים שוחים בתוך מים, האם הם יצופו או ישקעו? או, מה מניע זרמים באוקיינוס?

Mirjam S. Glessmer\*

פסיכוסין, קייל, גרמניה

האוקיינוס נמצא בתנועה מתמדת. חלקים גדולים של התנועה הזו מונעים על-ידי מים וטמפרטורות שונות ובריכוזים שונים של מלחים באזורים שונים באוקיינוס. במאמר זה נדון באופן שבו ההבדלים האלה במים יכולים ליצור זרמים באוקיינוס. אנו גם נגיד לכם כיצד לערוך ניסוי פשוט שאפשר לערוך בקלות בבית, כדי להמחיש את היווצרות זרמי האוקיינוס.

### תמיד בתנועה: המסע הימי הגלובלי

אף על פי שהרבה פעמים מלמדים אותנו לחשוב על האוקיינוסים כנפרדים זה מזה, במציאות כל אפיקי האוקיינוס מחוברים יחד ויוצרים אוקיינוס אחד עצום [1]. באוקיינוס העצום הזה, אשר מתפרש בכל רחבי העולם, מים נעים החוצה מאפיק אחד אל אפיק אחר. במסע הזה סביב לגלובוס המים מסיעים חום ומלחים מהאזורים הטרופיים אל הקטבים של כדור הארץ, חומרי מזון ממעמקי האוקיינוס אל פני השטח, ומים נקיים שנכנסים אל החופים (מנהרות או מקרחונים שנמסו) החוצה אל הים.

#### סוקרים צעירים

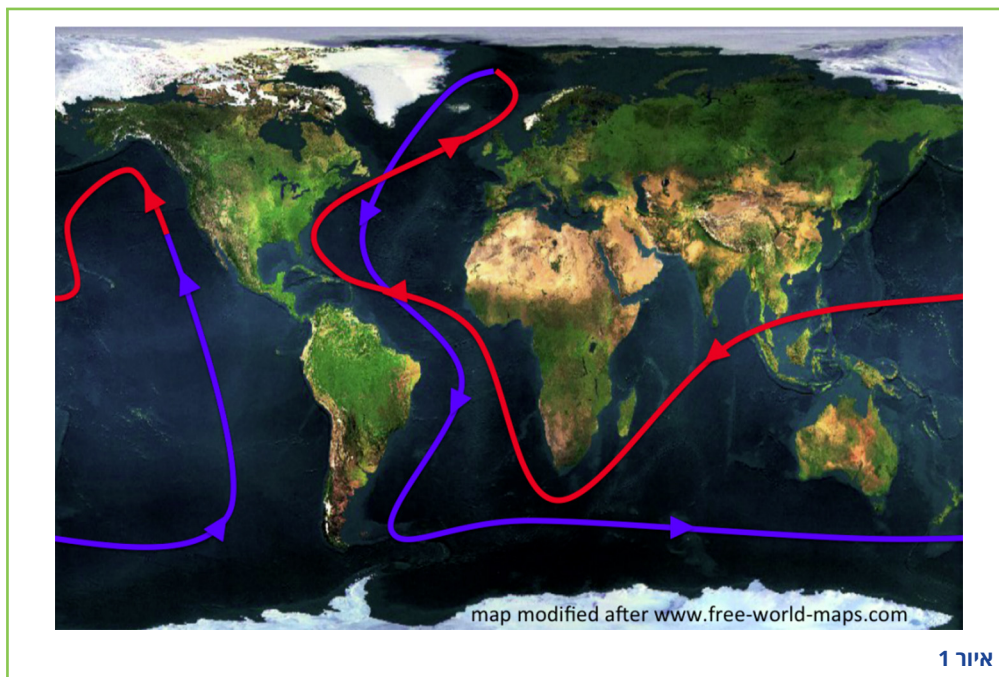
ANDREW G.  
CURTIN  
INTER-  
MEDIATE  
SCHOOL



גיל: 9-12

## איור 1

המסוע הימי הגולבלי. זרמי אוקיינוס חמים ליד פני השטח מוצגים באדום, זרמי אוקיינוס כחולים ליד הקרקעית מסומנים בכחול. כתוצאה מהזרמים האלה, מים "מטיילים" במסלול שאורכו כ-1,000 שנים סביב לגלובוס כולו. השרטוט לקוח מ-Rahmstorf [2] ומצויר על גבי מפה שלקוחה מ-<http://www.fr-ee-world-maps.com>



איור 1

אף על פי שהאוקיינוס נמצא בתנועה מתמדת וישנם גורמים רבים שמשפיעים על האופן שבו מי האוקיינוס נעים, ישנה תופעה טבעית אחת שתרמה לתנועת מי האוקיינוס במשך אלפי שנים: זרם אחד גדול באוקיינוס שמחבר בין כל אפיקי האוקיינוס, ומחבר גם בין מעמקי האוקיינוס לפני השטח שלו. לעיתים הזרם הזה נקרא המסוע הימי הגולבלי, בשל הצורה שבה הוא מזרים מים במסלול מעגלי סביב לגלובוס (איור 1). אם היה אפשר לעקוב אחרי המים בנסיעתם במסוע הימי הגולבלי, בעקבות הנתבי האדום שבו מים חמים מתקרבים לפני השטח, לאחר מכן מתקררים ושוקעים בעוקבם אחרי המסלול הכחול עד שהוא עולה חזרה אל פני השטח, היינו מגלים שלוקח למים בערך 1,000 שנים להשלים את מסלולם כל הדרך סביב לעולם.

## חלף עם הרוח: רוחות מניעות סירקולציה באוקיינוס

ניחוש ראשוני מתבקש למה עשוי לגרום לתנועה הזו באוקיינוס הוא רוח. הרוח נושבת על פני השטח של האוקיינוס וגורמת גם לגלים וגם לתנועה של מים בכיוון משב הרוח. ואכן, חלקים במסוע הימי הגולבלי מונעים על-ידי הרוח [3]. מערכות רוח, כמו לדוגמה רוחות הסחר (Trade winds), מכילות רוחות חזקות שפועלות כל הזמן על אזורים גדולים בפני השטח של האוקיינוס, ומספקות כמויות גדולות של אנרגיה שמסיעות נפחים אדירים של מים.

## סירקולציה מונעת-צפיפות באוקיינוס

אולם, חלק אחר בתנועה של מי האוקיינוס במסוע הימי הגולבלי נגרם על-ידי משהו הרבה פחות מובן מאלינו: הבדלי צפיפות במים. צפיפות היא מדד לכובד של כמות מסוימת של חומר. ההגדרה של צפיפות היא לכן ביחידות של מסה ליחידת נפח. לדוגמה, לקובייה של קצפת יש

### צפיפות (Density)

צפיפות היא מדד לכובד של כמות מסוימת של חומר.

צפיפות הרבה יותר נמוכה, ולכן גם מסה נמוכה יותר מלקוביית אבן באותו הגודל (ראו תיבה 1).

## תיבה 1

מדוע בכלל אנו צריכים ללמוד על צפיפות?

סירקולציה באוקיינוס (Ocean circulation)

תנועת המים בזרמי האוקיינוס, לדוגמה זרם הגולף.

מלבד חשיבותה בהבנת הסירקולציה באוקיינוס, מדוע שתרוצו לדעת את צפיפותו של חומר מסוים? ישנן כמה סיבות. לעיתים קל יותר למדוד נפח מאשר את המשקל של משהו. לדוגמה, ככל הנראה נתקלתם בכוסות המדידה שמשמשות בהן באפייה, שמצוינות עליהן סקאלות מדידה שונות בצד אשר מצביעות על המיקום שעד אליו אתם צריכים למלא משקל מסוים של סוכר, של קמח, של מים ושל חומרים אחרים. מדוע אין זה מספיק שתהיה רק סקאלה אחת על הכוס עבור כל הרכיבים? הסיבה היא שכוס אחת של מים תופסת פחות מקום מכוס אחת של קמח. משמעות הדבר היא שכוס אחת של מים היא יותר קומפקטית ויש לה צפיפות גדולה יותר מלכוס אחת של קמח.

תיבה 1

דמיינו מגש של קוביות קרח שמלא במים כל הדרך עד לשוליים. כשאתם ממקמים את מגש קוביות הקרח הזה בתוך המקפיא וחוזרים למוחרת אתם תמצאו שקוביות הקרח גדלו אל מחוץ למגש. המים ששמתם בתוך מגש קוביות הקרח תופסים כעת נפח גדול יותר ממה שהם תפסו לפני שהם קפאו. לכן, אם אתם רוצים שמגש הקרח יהיה מלא בקרח בדיוק עד לשוליים, אתם צריכים להסיר את גבשושיות הקרח העודפות, מה שהיה מקטין את מסת המים שנשארו במגש. זה אומר לנו שלקרח יש צפיפות נמוכה יותר מלמים, מאחר שאותה מסה של מים מתפרשת ותופסת מרחב גדול יותר כשהם קופאים. לכן, כשאתם ממקמים קוביות קרח בתוך מים הן צפות אל פני השטח.

דבר דומה מתרחש עם שני נוזלים: אם לנוזלים יש צפיפויות שונות, הנוזל הצפוף יותר שוקע לתחתית והנוזל הקל יותר צף כלפי מעלה. לדוגמה, אם תשפכו שמן על גבי מים השמן יצוף על פני המים. אם תשפכו מים על גבי שמן, המים ישקעו דרך השמן, יתפרשו תחתיו וידחפו את השמן למעלה אל פני השטח. זה מתרחש גם באוקיינוס: אם, מאיזושהי סיבה, המים שליד פני השטח של האוקיינוס נעשים דחוסים יותר מהמים שתחתיהם, המים הדחוסים יותר ישקעו ויזיזו את המים הפחות דחוסים אשר יעלו אל פני השטח.

## מה גורם להבדלים בצפיפויות?

באוקיינוס, הצפיפות נקבעת על-ידי כמה גורמים כולל כמות הלחץ שמופעל על המים, כמה מלח מומס במים ומה הטמפרטורה של המים. ככל שמופעל על המים לחץ גדול יותר כך הם נדחסים יותר ולכן הצפיפות שלהם גדלה. הלחץ באוקיינוס עולה בהרבה כשצוללים מטה. עומקו של האוקיינוס הוא בממוצע 4 קילומטרים, ובעומקים האלה הלחצים גדולים מאוד. הצפיפות מושפעת גם מכמות המלח שמומס במים. תכולת המלח במים נקראת גם **מליחות**, וככל שמליחות המים גדולה יותר כך צפיפותם גדלה. המליחות הטיפוסית של מי אוקיינוס היא 35 גרם לליטר, אשר מקבילה לכ-7 כפיות מלח שולחן לכל ליטר של מים (או 2 כפיות מלח לכל כוס מים). לבסוף, טמפרטורת המים משפיעה על הצפיפות שלהם. באופן כללי, ככל שהמים קרים יותר כך המולקולות נלחצות יותר זו אל זו, כלומר הן תופסות פחות מקום והצפיפות שלהן גדולה יותר.

מאחר שטמפרטורה, מליחות ולחץ הם שונים במקומות שונים באוקיינוס ברחבי העולם, צפיפותם של מי הים שונה גם היא במקומות שונים. באיור 1 ראינו את זרמי האוקיינוס של

## מליחות (Salinity)

תכולת המלח במי הים; עד כמה מי הים "מלוחים".

המסוע הימי שנפרשים על גבי הגלובוס כולו. בצפון הרחוק זרם פני השטח החם (באדום) מתקרר ושוקע, מה שהופך אותו לזרם קר (בכחול) עמוק בתוך האוקיינוס. הסיבה לכך היא שמים קרים צפופים יותר ממים חמים יותר.

## אוקיינוגרפיה של המטבח: קרח שנמס במים מתוקים ובמים מלוחים

כעת, משראינו שהבדלים בצפיפות באוקיינוס מסייעים להניע את זרמי האוקיינוס, בואו נערוך ניסוי פשוט שסייע לרעיון הזה להיות ברור הרבה יותר.

**שאלה:** אם אתם לוקחים שתי קוביות קרח בגודל זהה וממקמים אותן במים בטמפרטורת החדר, אחת במים מתוקים והשנייה במים מלוחים, איזו קוביית קרח תימס מהר יותר?

**השערה** המהירות שבה קוביות הקרח ימסו תלויה בטמפרטורה של המים שמקיפים אותן. מים מומסים מקוביות הקרח קרים יותר ממים בטמפרטורת החדר שהקוביות מונחות בתוכם, ולכן קוביות הקרח שמוקפות במים שנמסו מהן ימסו לאט יותר.

**תחזית:** קוביית הקרח שבמים המתוקים תימס מהר יותר, מאחר שהמים שנמסו מקוביות הקרח דחוסים יותר מהמים המתוקים ולכן ישקעו מטה והרחק מקוביית הקרח. הקרח שממוקם במים המלוחים לעומת זאת יהיה מוקף במים המומסים הקרים של עצמו, מאחר שהמים המתוקים יצופו על גבי מי המלח שהם צפופים יותר. לכן, קוביית הקרח במים המלוחים תימס לאט יותר.

**ניסוי:** שימו קוביית קרח אחת במים מתוקים בטמפרטורת החדר וקוביית קרח אחרת במים מלוחים בטמפרטורת החדר וצפו במתרחש! עבור המים המלוחים אתם יכולים להשתמש בריכוז מלח דומה למי אוקיינוס (ראו לעיל). כדי להקל על הצפייה בהתמוססות קוביות הקרח ובמקומות שאליהם המים זורמים עשוי להיות מועיל להוסיף צבעי מאכל למים לפני הקפאת קוביות הקרח.

**תוצאות:** באיור 2 מוצגות ומתוארות תוצאות הניסוי הזה. הניסוי מסייע לנו להבחין בין שתי "מסות של מים", בשלוש צפיפויות שונות: (1) מים מלוחים בטמפרטורת החדר, שהם המים הצפופים ביותר מבין שלושת סוגי המים; (2) מים מתוקים קרים ומומסים מקוביות קרח, שהם פחות צפופים ממים מלוחים ולכן צפים מעליהם; ו-(3) מים מתוקים בטמפרטורת החדר, המים הכי פחות צפופים מבין השלושה, שדרכם שוקעים מים קרים ומים מתוקים שנמסו.

## מהן ההשלכות של השתנות צפיפויות מי האוקיינוס ברחבי העולם?

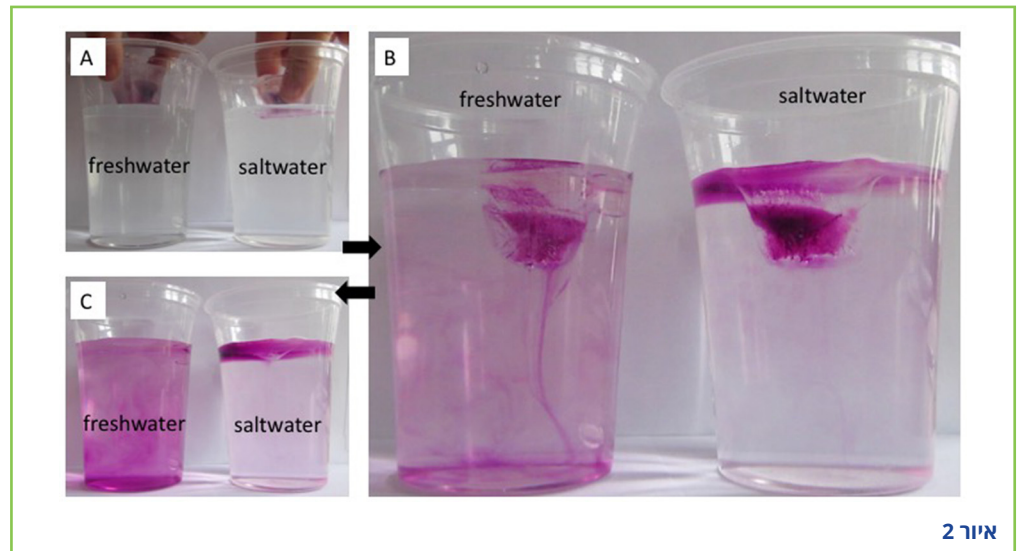
הניסוי עם קוביות הקרח מדגים כיצד צפיפויות שונות של מים משפיעות על סירקולציה המים: מים פחות צפופים יתפשטו על גבי מים צפופים יותר, מים צפופים יותר ישקעו דרך מים פחות צפופים ויתפשטו תחתם. זה בדיוק מה שקורה באוקיינוס! אולם בואו נשקול תרחיש אחר: אם מים מתוקים זורמים באזורים באוקיינוס שבהם מי אוקיינוס קרים שוקעים מתחת ויוצרים את הענף העמוק של המסוע הימי, לדוגמה על-ידי התמוססות של קרחונים, המים המתוקים האלה יתפשטו על פני השטח של האוקיינוס ולא ישקעו בעודם מבדודים את האוקיינוס העמוק יותר מהאטמוספירה הקרה שמעליו, במיוחד אם המים המתוקים קופאים. יהיו לכך השלכות על האופן שבו **תבניות הסירקולציה** של האוקיינוס מתפתחות במהלך השנים והעשורים

### תבנית סירקולציה (Circulation pattern)

אזורים קבועים של  
זרמי אוקיינוס.

## איור 2

(A) קוביות קרח צבועות ממקומות בתוך מים מתוקים ומים מלוחים בטמפרטורת החדר. אפשר לראות את ההתמוססות עם הזמן. (B) במכל של המים המתוקים המים המומסים הצבועים שוקעים מטה. במכל של המים המלוחים הם נשארים על פני השטח ומתפשטים שם. (C) עד לסוף הניסוי המכל שהכיל קודם לכן מים מתוקים התערבב עם המים שנמסו, בעוד שבמכל מי המלח המים המומסים עדיין צפים על פני השטח. (תמונות: Mirjam S. Glessmer).



איור 2

שיגיעו, בשילוב עם גורמים אחרים בעלי השפעה כמו למשל הרוחות. זהו תחום מחקר פעיל מלהיב ביותר!

## הערות:

- אפשר לראות סרטון של הניסוי הזה בקישור הבא: <https://mirjamglessmer.com/2013/09/01/ice-cubes-melting-in-salt-water-and-freshwater-post-13/>
- עבור ניסויים נוספים של אוקיינוגרפיה של מטבח, ראו: [mirjamglessmer.com/kitchen-oceanography](https://mirjamglessmer.com/kitchen-oceanography)

## מקורות

1. *Ocean Literacy: The Essential Principles of Ocean Sciences for Learners of All Ages*, Version 2: March 2013. Available online at: <http://www.coexploration.org/oceanliteracy/documents/OceanLitChart.pdf>
2. Rahmstorf, S. 2006. "Thermohaline ocean circulation," in *Encyclopedia of Quaternary Sciences*, ed S. A. Elias (Amsterdam: Elsevier).
3. Bringedal, C., Eldevik, T., Skagseth, Ø., Spall, M. A., and Østerhus, S. 2018. Structure and forcing of observed exchanges across the Greenland-Scotland Ridge. *J. Clim.* 31:9881–901. doi: 10.1175/JCLI-D-17-0889.1

פורסם אונליין: 24 באוגוסט 2021

נערך על ידי: Mark A. Brandon, The Open University, United Kingdom

ציטוט: Glessmer MS (2021) כאשר מים שוחים בתוך מים, האם הם יצופו או ישקעו? או, מה מניע זרמים באוקיינוס? *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2019.00085-he

**תורגם והותאם:**

Glessmer MS (2019) When Water Swims in Water, Will it Float, or Will it Sink? Or: What Drives Currents in the Ocean? Front. Young Minds 7:85. doi: 10.3389/frym.2019.00085

**הצהרת ניגוד אינטרסים:** המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

**COPYRIGHT** © 2019 © Glessmer 2021. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחבר(ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

**סוקרים צעירים****ANDREW G. CURTIN INTERMEDIATE SCHOOL, גיל: 12-9**

אנו תלמידים בתוכנית המחוננים בחטיבת הביניים ב-Curtin Williamsport, פנסילבניה. למדנו מדע והשלמנו פרויקטים בנושאים מדעיים לפי בחירתנו. ערכנו מחקר, למדנו אוצר מילים מדעי ופיתחנו כמה תצוגות מגניבות כדי להציג לחברינו לכיתה. בטיול כיתתי ל-Lycoming College המקומי שלנו, השתתפנו בגילוי ובניסויים מדעיים כאשר התכוננו ליום מאמר הסקירה שלנו עם הפרופסורים של הקולג' כמנטורים שלנו. אנחנו אוהבים מדע!!

**הכותבת****MIRJAM S. GLESSMER**

Dr. Mirjam Glessmer למדה אוקיינוגרפיה פיזיקלית. היא מרותקת על-ידי מים בכל צורתיהם: היא אוהבת ללכת "לצפות בגלים" על שלוליות, על זרמים או בים, או לעשות ניסויים על פיזיקה של האוקיינוס באמצעות פרטים ביתיים בלבד ("אוקיינוגרפיה של המטבח"). ל-Mirjam יש תשוקה רבה לשיתוף ההתרגשות שלה מכל הדברים שקשורים לפיזיקה של האוקיינוס, ואתם מוזמנים ליצור איתה קשר אם יש לכם שאלות! \*mglessmer@gmail.com, www.mirjamglessmer.com/contact



Hebrew version  
provided by

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ער.)  
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس  
Bloomfield Science Museum Jerusalem

