



קרחונים בתנועה: מעקב מן החלל

Bas Altena*, Andreas Kääh

המחלקה למדעי כדור הארץ, אוניברסיטת אוסלו, אוסלו, נורבגיה

סוקרים צעירים

EMILIA

גיל: 15



MATHILDE

גיל: 9



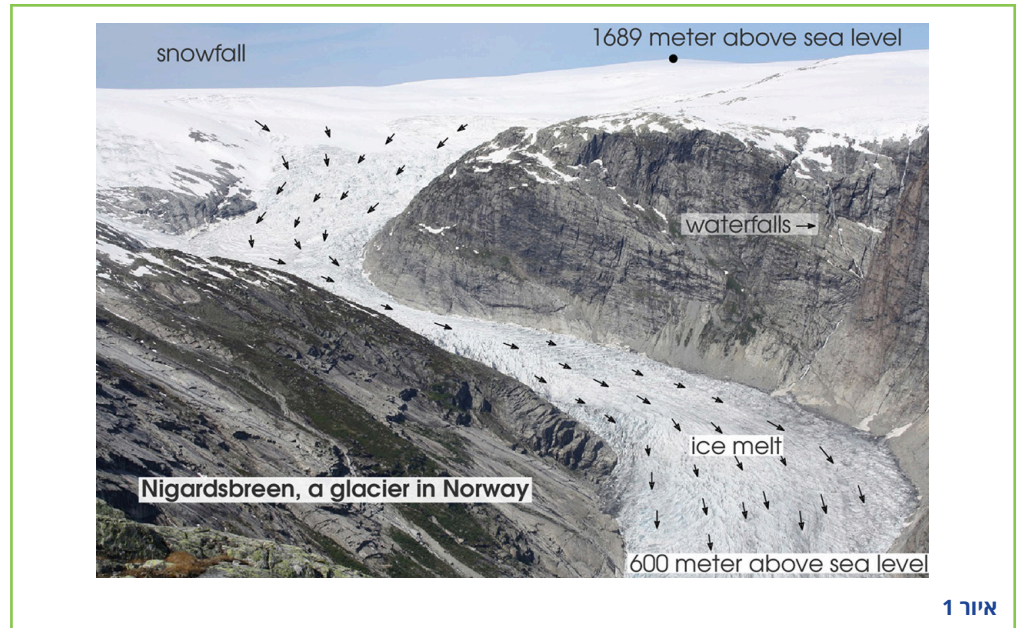
קרחון הוא גוש קרח גדול הנמצא בתנועה. קרחונים יבשתיים הם תופעת טבע המצויה באזורים הקרים של כדור הארץ. אם תיסעו אל קרחון יבשתי ותסתכלו בו, תראו מאגר ענק של קרח בין פסגות הרים. נדמה שהוא לא זז כלל, אבל המראה מטעה. קרח הוא למעשה נוזל סמיך במיוחד, והוא זורם בדומה לדבש – רק הרבה יותר לאט. אם תרצו לראות קרחון יבשתי בתנועה, תצטרכו לחכות הרבה זמן. אבל אם תצלמו אותו ותחזרו ותצלמו אחרי כמה ימים, יתברר לכם שהוא אכן זז, ואם תשוו בין שני הצילומים תוכלו גם למדוד לאיזה מרחק. במחקרים על קרחונים יבשתיים אנחנו משתמשים בשיטה דומה – אבל משתמשים בצילומי לוויין. הלוויינים מרחפים מעל כל חלקי כדור הארץ ויכולים להשקיף על כל קרחון שהוא. כך אפשר לחקור את זרימת הקרחונים בכל מקום בעולם.

מה זה קרחון יבשתי?

אולי אתם תוהים איך נוצרים קרחונים יבשתיים ומדוע הם זורמים. קרחונים אלה עשויים משלג היורד בהרים הגבוהים (איור 1). השלג בעמקים שבין ההרים לא נמס אלא ממשיך להצטבר עם כל סופת שלגים. נוצרת ערימת שלג בגובה מטרים רבים, ומשקלה דוחס את פתיתי השלג ויוצר מהם קרח. הקרח הדחוס הזה זורם במורד ההר, כי הוא כבד מאוד ומחליק על הסלע

איור 1

חלק מהקרחון ניגארדסברן שבפארק הלאומי הנורבגי יוסטדאלסברן בתצלום אפשר לראות את החלקים השונים של קרחון יבשתי. בפסגת הקרחון הטמפרטורה קרה ויורד שלג (1689 מ' מעל פני הים). השלג נדחס ממשקל עצמו, הופך לקרח, וגולש במורד בין דפנות העמק. למטה, בחלק התחתון של העמק, הטמפרטורה גבוהה בהרבה והקרח נמס (600 מ' מעל פני הים). צילם Markus Engelhardt



שתחתיו. באזורים הנמוכים יותר של העמק הטמפרטורות גבוהות יותר, ולכן הקרח נמס: גבישי הקרח הופכים לטיפות מים, הטיפות מתלכדות לנהר, והוא זורם לתוך אגם או אוקיינוס.

קרחונים הם נושא חשוב ומעניין למחקר. הם חשובים כי בעצם הם מאגרים ענקיים של מים מתוקים, שיכולים לשמש את התושבים הרבים שגרים ליד נהרות קרחוניים ותלויים במים שזורמים בהם. והם גם מעניינים כי אפשר ללמוד באמצעותם על מזג האוויר בעבר ועל מגמות ארוכות-טווח של מזג אוויר. כלומר, בעזרת קרחונים אפשר ללמוד על האקלים. איך? בעזרת העובדה שכשיורד יותר שלג נוצר יותר קרח – ובתקופות חמות יחסית יותר קרח נמס.

איך זורם קרחון?

תנועת קרח מראש הקרחון אל העמק היא עניין מסובך. תנועה של קרחונים יבשתיים מורכבת משני תהליכים: עיוות פנימי, וגלישה. שניהם תהליכים מורכבים. הראשון, עיוות פנימי, מתייחס לכך שקרח הוא למעשה נוזל סמיך מאוד – הוא זורם בדומה לדבש, רק הרבה יותר לאט. מידת העיוות הפנימי תלויה בדחיסות ובטמפרטורה של הקרח בקרחון – ובדרך כלל אין לנו מידע על הגורמים האלה. המרכיב השני הוא גלישה, והוא מתייחס ל**חיכוך** בין קרקעית הקרחון לבין הסלע שתחתיו. לפעמים יש תחת הקרחון שכבה דקה של מים, או ערוצי נחל¹. המים מצמצמים את החיכוך בין הקרח לסלע, כך שהקרחון גולש ביתר קלות. אבל כמות המים משתנה. למשל, באביב, כשמזג האוויר חמים והשמש זורחת, כמות מי השלגים עולה. לכן יש בתקופות מסוימות פלגים שזורמים תחת הקרחון, ובזמנים אחרים המים נקווים ויוצרים שלוליות בתוך שקעים בסלע.

איך מחשבים תנועה של קרחונים?

תנועה של קרחון יבשתי היא שילוב של זרימת הקרח (שהוא, כאמור, נוזל סמיך ביותר) עם גלישתו על הסלע שתחתיו. הגורם הראשון, הזרימה, תלוי בעיקר בעובי הקרח וב**שיפוע** הקרקע. למשל, עובי של קרחון הרים טיפוסי הוא כמאה מטרים, ושיפוע המדרונות ברוב

שיפוע (Slope)

מידת התלילות של קו ישר.

חיכוך (Friction)
חיכוך הוא ההתנגדות לתנועה של גופים הנמצאים במגע זה עם זה. תוכלו לראות איך הוא פועל אם תניחו ספר על ידכם ותטו את היד בהדרגה. הזווית שבה הספר יתחיל להחליק תלויה במידת החספוס של היד. אם ידכם רטובה, הספר יחליק ממנה ביתר קלות, כי רטיבות מקטינה את החיכוך.

¹ מפני שקרח הוא פחות דחוס ממים. אתם יכולים לבדוק זאת בעצמכם – שימו קרח בכוס מים, והוא יצוף.

העמקים הקרחוניים הוא בין 2 מעלות ל-20 מעלות. לפי הנתונים האלה אפשר לחשב איזה מרחק יעבור קרחון במשך יום כתוצאה מעיוות פנימי. את החישוב עושים לפי **"חוק הזרימה של גלן"**. אפשר לראות חישובים לדוגמה בגיליון העבודה הזה² אבל זרימה היא רק אחד משני מרכיבים של תנועת הקרחון, ועדיין אין לנו דרך לחשב את המרכיב השני – הגלישה על פני הסלע. מה שאפשר לעשות הוא למדוד בעזרת **לוויינים** את התנועה הכוללת של הקרחון.

מדידה של תנועת קרחונים

עובי הקרחון משתנה במהלך הזמן, כאשר שלג יורד או קרח נמס. בדרך כלל העובי משתנה בכשניים או שלושה מטרים בשנה. זה נשמע הרבה, אבל יחסית לעובי הכולל של הקרחון מדובר בשינוי קטן (בדקו בעצמכם בגיליון העבודה המצורף איך מהירות הקרחון משתנה עם העובי!) אם מחשבים רק את זרימת הקרח, מקבלים מספר קבוע, כאילו הקרחון נע בקצב אחיד. אבל בזכות המדידות אנחנו יודעים שמהירות הקרחונים משתנה. כבר לפני יותר ממאה שנה מדדו את מהירות התזוזה של קרחונים יבשתיים. עשו זאת בעזרת תקיעת יתדות בקרחון והשוואת המיקום המשתנה שלהם עם הסלעים הסמוכים. התוצאות הראו שמהירות הקרחון משתנה בין האביב לקיץ. כיום, כשיש לנו טכנולוגיות של ניווט לווייני ותקשורת ממרחק, אפשר לנטוע בקרחון **יתדות GPS**, שהם עצמם מודדים, מתעדים ושולחים לנו נתונים על תזוזת הקרחון. ג'ק קוהלר ממכון הקוטב הנורבגי ביצע פרויקט כזה. הוא הציב מספר יתדות GPS על הקרחון "קרונברן" שעל האי סבאלבארד, הנמצא **באזור הארקטי הגבוה**. באיורים 2 ו-3 רואים אותו נוסע יתד על הקרחון. התמונות צולמו ממסוק, כי כפי שאתם רואים, הקרחון מלא סדקים ענקיים. תארו לכם כמה קשה לבצע מחקר על קרחון, וכמה מסוכן ללכת עליו – אם לא נזהרים, אפשר בקלות ליפול לתוך תהום כזאת!

כאשר מעיינים בנתונים שהתקבלו ממכשיר GPS כזה, כמו באיור 4, אפשר לראות שהקרחון לא נע בצורה אחידה. במשך התקופה שבה נאספו הנתונים האלה, היתד עבר מרחק של יותר מ-300 מטרים – אם כי לפי החישובים שערכנו בעזרת "חוק גלן", צפינו שינוע רק 250 מטרים! תוספת המרחק היא תוצאה של גלישת הקרחון על הסלע. אם ניקח את המרחק שהקרחון עבר במציאות ונחסר אותו מהמרחק הצפוי לפי חוק גלן, נקבל מושג על השפעת הגלישה על התנועה של הקרחון. כשהקווים בגרף שבאיור רחוקים יותר זה מזה, המשמעות היא שיש לא רק זרימה של הקרח בקרחון, אלא שהקרחון גם גולש מרחק גדול על פני הסלע. אבל לא תמיד מתרחשת גלישה. באיור 4 אפשר לראות שהיא לא קבועה. התקופות שבהן השיפוע של הקו האדום והקו המקווקו לא זהה הן התקופות שבהן הייתה גלישה רבה של הקרחון על הסלע.

עזרה מן החלל

אם אנחנו רוצים לחקור את ההתנהגות של קרחונים רבים, יהיה לנו קשה מאוד להציב יתדות GPS על כל אחד ואחד מהם. יש כמעט 200,000 קרחונים יבשתיים בעולם. השיטה הזאת אינה מעשית, וגם לא יהיה יפה במיוחד לקשט את כל הקרחונים בעולם ביתדות GPS! למזלנו יש לוויינים החנים **במסלול** סביב כדור הארץ. הם מצלמים את פני כדור הארץ, ובצילומים האלה אפשר להשתמש כדי למדוד תנועת קרחונים, במקום לנעוץ בהם יתדות GPS.

² בגיליון האקסל שבקישור תוכלו לעשות את החישוב בעצמכם:

http://folk.uio.no/basal/frontiers/ice.html

חוק הזרימה של גלן (Glen's flow law)

את הזרימה האיטית של גוש קרח, הדומה לזרימה של דבש, אפשר לתאר באמצעות נוסחה מתמטית. בעזרתה אפשר לחשב איך יתנהג הקרח בנסיבות ובמצבים שונים. לשם כך צריך למדוד את התנהגות הזרימה של קרח. ג'ון גלן [1] בדק זאת במעבדה בטמפרטורות שונות, ועם הנתונים שמצא, יצר ג'ון ניי (Nye) [2] נוסחה המתארת איך מתנהג גוש קרח גדול על משטח. ראו גיליון העבודה שבקישור:

http://folk.uio.no/basal/frontiers/ice.html

לוויין (Satellite)

גוף שמימי המקיף גוף שמימי אחר. לוויין יכול להיות טבעי (כמו הירח) או מלאכותי. יש לוויינים החנים במסלול סביב כדור הארץ, שמוחקים בהם חיישנים ומצלמות, והם יכולים לשלוח צילומים לכדור הארץ.

יתדות

GPS (GPS-Stakes)

ראשי התיבות GPS הם קיצור של Positioning System, ובעברית "מערכת איפון עולמית". זהו מנגנון אלקטרוני שמחשב, בעזרת אותות רדיו מלוויינים, איפה על פני כדור הארץ הוא נמצא. יתד GPS הוא מוט אלומיניום ארוך שבקצה העליון שלו אנטנת GPS ובקצה התחתון – סוללה גדולה. החוקרים קודחים עמוק בקרח ומחדירים אליו את היתד, כך שהוא מקובע היטב לקרחון ועם זאת כשני מטרים שלו עדיין בולטים החוצה, כדי שהאנטנה לא תתכסה בשלג בחורף.

איור 2

ג'ק קוהלר וקרסטי לאנגלי
מתקינים יתד GPS על קרחון
קרונברן. צילם
.Elvar Orn Kjartansson



איור 2

האזור הארקטי הגבוה (High arctic)

החלק הצפוני ביותר של כדור הארץ נקרא "החוג הארקטי". הוא מקבל פחות אור שמש מהאזורים הקרובים יותר למרכז הכדור, ולכן האקלים קר יותר, ולצמחים קשה מאוד לגדול בו. לכן הצמחייה על פני כדור הארץ משתנה בהדרגה ככל שמתקדמים צפונה, ואפשר להבחין בין אזורי צמחייה שונים. בחוג הארקטי יש שני אזורי צמחייה: האזור הארקטי הנמוך, שבו הקור עז אבל עצים עדיין יכולים לצמוח; והאזור הארקטי הגבוה, שבו הטמפרטורות כבר לא מאפשרות צמיחת עצים, הקרקע סלעית ברובה, והצמחייה כוללת רק צמחים קטנים וטחב.

מסלול (Orbit)

כאן הכוונה למסלול כבידתי שבו לוויינים חגים סביב כדור הארץ או כל כוכב לכת אחר.

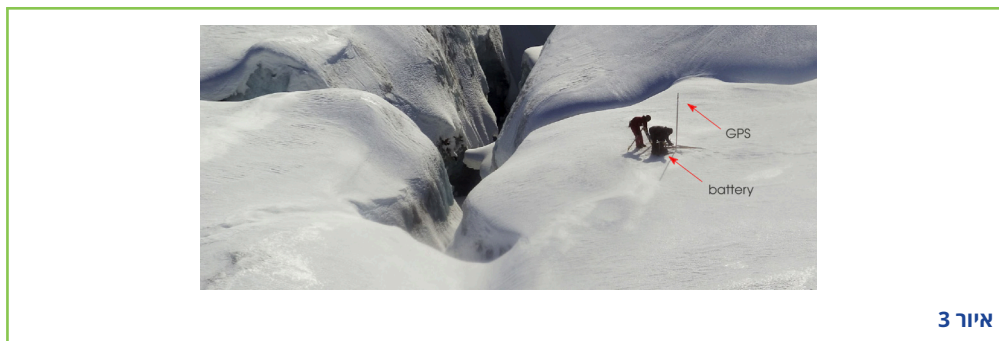
חשוב מאוד לבדוק שאכן אפשר לקבל מתמונות לוויין את אותם פרטים שהיינו מקבלים מיתדות GPS על תנועת קרחונים. וזה נושא המחקר שלנו: מדידת תנועה של קרחונים באמצעות צילומים מן החלל. אנחנו משתמשים בתמונות ששולח הלוויין SPOT5. הוא חג בחלל מאז 2002, ובזמן המחקר שלנו, המסלול שלו עבר באותה נקודה מדי חמישה ימים במשך קיץ שלם. זאת הייתה הזדמנות מושלמת לבחון את יעילות השיטה שלנו, וביקשנו מסוכנות החלל האירופית (ESA) לצלם את הקרחון קרונברן וגם קרחון בשם קאסקאוולש (Kaskawulsh) הנמצא בקנדה. הסוכנות הסכימה, והתצלומים שאספה עובדו על ידי סוכנות החלל הצרפתית (CNES) שהלוויין שייך לה.

תנועה של קרחון מרוחק בקנדה

הנה מה שגילינו כשבדקנו צילומי לוויין של הקרחון קאסקאוולש. הוא נמצא במערב קנדה, ברכס ההרים קלואני (Kluane, ראו איור 5B). כדי לעקוב אחרי תנועת הקרחון בעזרת תצלומי לוויין, יצרנו תמונה מסוג חדש. נקטנו באותה גישה שבה השתמשנו בעבודה עם יתדות GPS, אבל במקום לבדוק את הנתונים של נקודה אחת בלבד, כפי שהם נרשמים ביתד ה-GPS, הסתכלנו על כל הפיקסלים לאורך קו מסוים בצילומי הלוויין, והנחנו את כל הצילומים (שצולמו מדי חמישה ימים) בשכבות על הקו הזה. התקבלה תמונה מסוג שנקרא "פרוסת מרחב-זמן".

איור 3

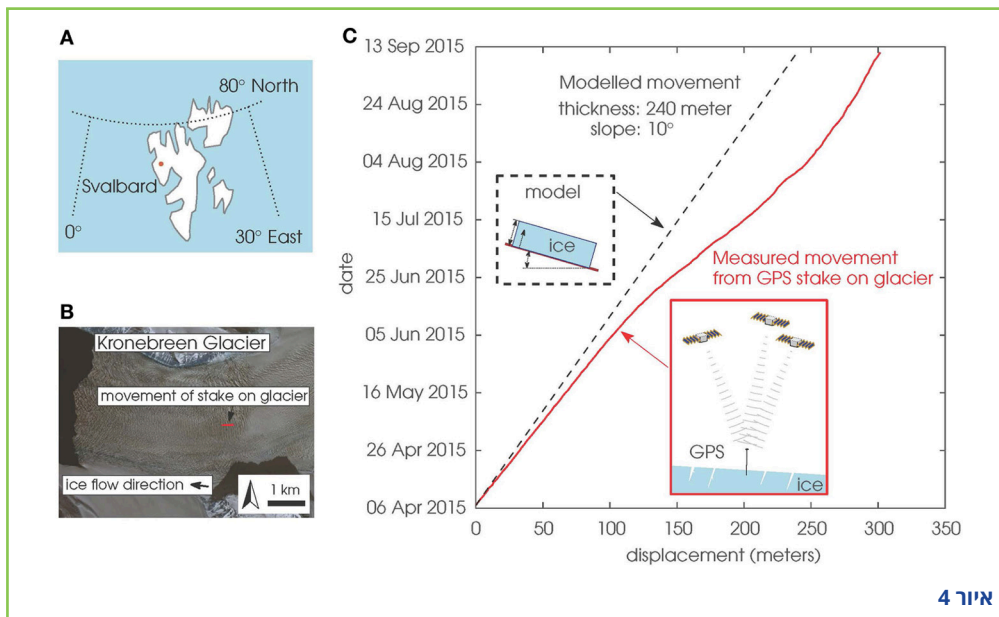
צילום תקריב של ג'ק וקרסטי מתקינים את היתד. אפשר לראות את מכשיר ה-GPS על היתד, ולידו סוללה המספקת חשמל למכשירים. צילם: Elvar Orn Kjartansson.



איור 3

איור 4

A. מפה של סוולבארד. הנקודה האדומה מציינת את מיקום הקרחון קרונברן. **B.** תמונת לוויין של הקרחון. הקו האדום מראה את מסלול התנועה של יתד ה-GPS במהלך קיץ 2015. הנתונים נרשמו על ידי יתד ה-GPS המופיע באיור 3. **C.** הקו האדום בגרף מראה את תנועת יתד ה-GPS המופיע באיור 3. ציר ה-X מייצג את המרחק במטרים וציר ה-Y את התנועה שהייתה צפויה לפי חוק הזרימה של גלן. אפשר לראות שהשיפוע של הקוויים דומה בתחילה, אבל בחודש יוני הקו שנרשם לפי נתוני ה-GPS מתחיל לנטות יותר. זאת בגלל גלישה מוגברת של הקרחון על קרקעית הסלע, שנעשתה חלקלקה בגלל מי השלגים. החמימות היחסית של חודש יוני גורמת להמסה של הקרח, ולכן כמות המים עולה.



איור 4

בתחילה היא נראית אולי מוזרה, אבל כשלומדים לקרוא אותה, אפשר לראות בה את תזוזת הקרחון קאסקאוולש!

באיור 5C תראו "פרוסת מרחב-זמן" המתייחסת לקטע מהחלק העליון של הקרחון. כשאתם מסתכלים בה, זכרו שמה שמעניין אותנו הוא המהירות. מהירות מוגדרת כמרחק שעצם עובר במשך פרק זמן מסוים. כשעצם מסוים על הקרחון, סלע למשל, משנה את המיקום שלו (שמוצג בציר Y) במשך פרק זמן מסוים (שמוצג בציר X), אפשר לעקוב אחרי השינוי. למשל, אם סלע מונח ליד הקרחון ולא עליו, המהירות שלו תהיה אפס, כלומר במשך הזמן הנמדד הוא לא יזוז כלל. לכן, ב"פרוסה" שלנו, הוא יופיע כקו אנכי ישר. אבל סלע המונח על פני הקרחון ינוע, ולכן ייצר קו נטוי. זה מה שאתם רואים בתמונה.

חלקים שונים של הקרחון אינם בהכרח זזים יחד

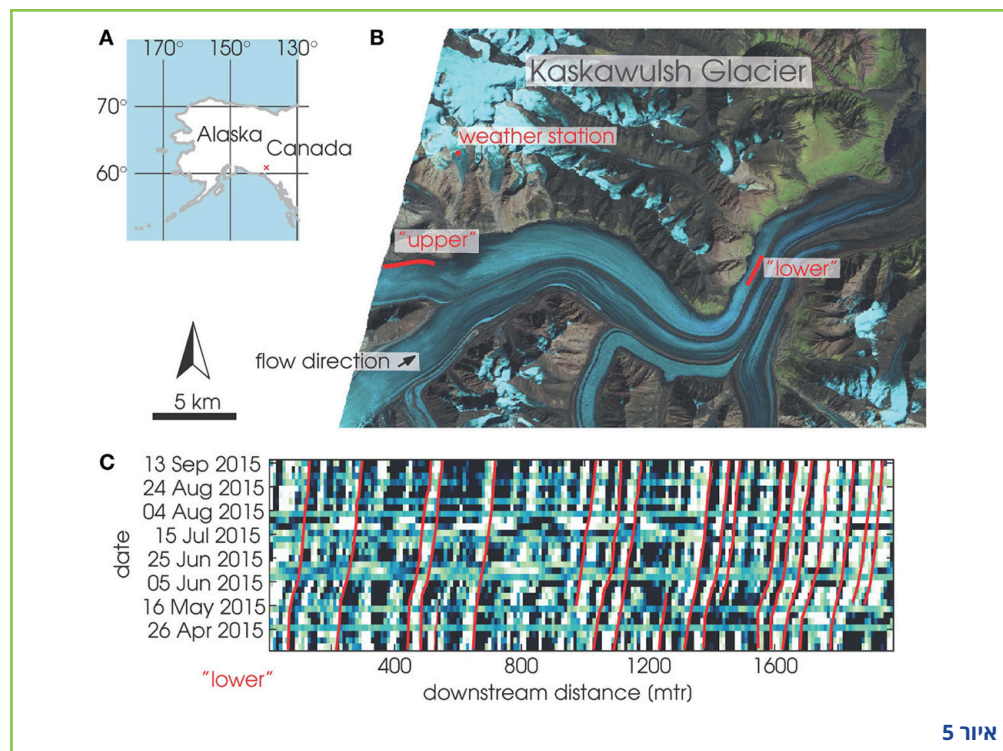
לפי הקווים בשרטוט, אפשר לראות מה הייתה מהירות הקרחון במשך תקופה מוגדרת. באיור 6 אפשר לראות את המהירות בשני מקומות שונים על קרחון קסקאוולש, שקראנו להם "עליון" ו"תחתון". הגרף מראה שבתקופה של תחילת האביב, הקרחון עבר מרחק של כמטר אחד ליום, אחר כך האיץ בבת אחת לשלושה מטר ליום, ואז שוב האט עד שכמעט חזר למהירות המקורית. החוקרת ג'ון פלאָורס, מאוניברסיטת סיימון פרייזר שבוונקובר, הציבה **תחנה מטאורולוגית**

תחנה מטאורולוגית אוטומטית (Automatic weather station)

קבוצת מכשירים המודדים היבטים שונים של מזג האוויר: מהירות הרוח, כיוון הרוח, טמפרטורה, לחות, עוצמת אור השמש, החזרות האור ממשטחים, ועוד מדדים רבים. כל המכשירים מחוברים למתקן המוצב על פני הקרחון. המתקן צריך להיות גדול כדי שהרוח לא תפיל אותו, וגבוה כדי שהשלג לא יכסה אותו. החיישנים פועלים כל הזמן, וכדי לספק להם חשמל יש לתחנה סוללות גדולות וגם

איור 5

A. מפה המראה את מיקומו של קרחון קאסקאוולש שבקנדה, ליד גבול אלסקה. **B.** צילום לוויין של הקרחון. תנועות החלק העליון והחלק באדום, וכך גם המיקום של התחנה המטאורולוגית. **C.** "פרוסת מרחב-זמן" המראה את תנועת החלק התחתון של קרחון קאסקאוולש. ציר ה-X מראה את המרחק שאותו עבר הקרח, במטרים, וציר ה-Y מראה את התאריך. הקווים השחורים-ירוקים-לבנים בתמונה נלקחו מצילומי הלוויין השונים. הם מראים את הקרחון הנע, ואמורים ליצור קווים מעוגלים דומים, כמו הקו האדום באיור 4C. רובם בכל זאת לא יוצרים קווים רציפים, כי המראה של הקרחון משתנה – למשל, באביב הוא מכוסה שלג, אבל בסתיו נראים רק קרח וסלעים על פני השטח. לפעמים קורה גם שהמצלמה קולטת רק עננים, למשל. לכן שרטטנו בעצמנו קווים אדומים על התמונה. אפשר לראות שהם אינם ישרים. כשהקווים משופעים יותר, פירוש הדבר שהקרחון עבר מרחק גדול יותר – כלומר, גם הקרחון קאסקאוולש נע יותר בתקופות מסוימות, בגלל גלישה Weather station - תחנה מטאורולוגית "Upper" - קטע "עליון" "Lower" - קטע "תחתון" Flow direction - כיוון הזרימה.



איור 5

אוטומטית ליד המקטע העליון. באיור 6 מופיע גם גרף הטמפרטורות שנרשם בתחנה הזאת, והוא רומז לנו על הסיבה למהירות המוגברת של הקרחון. לקראת סוף החורף, הטמפרטורה באזור היא 10 מעלות מתחת לאפס. באביב, היא עולה במהירות אל מעל לאפס. העובדה הזאת תומכת במה שאנחנו כבר יודעים: מי השלג המצטברים מתחת לקרחון יכולים להגביר את המהירות שלו. שימו לב גם להבדל בין המהירות של הקטע העליון ושל הקטע התחתון. הקו האנכי השחור בכל גרף מראה מתי החלה מהירות הקרחון להתגבר. אפשר לראות שבגרף השמאלי, המתייחס לקטע העליון של הקרחון, ההאצה מתחילה כמה ימים אחרי ההאצה בקטע התחתון, שרשומה בגרף הימני. כלומר, החלק הנמוך של הקרחון כבר התקדם במהירות כאשר החלק הגבוה החל להאיץ.

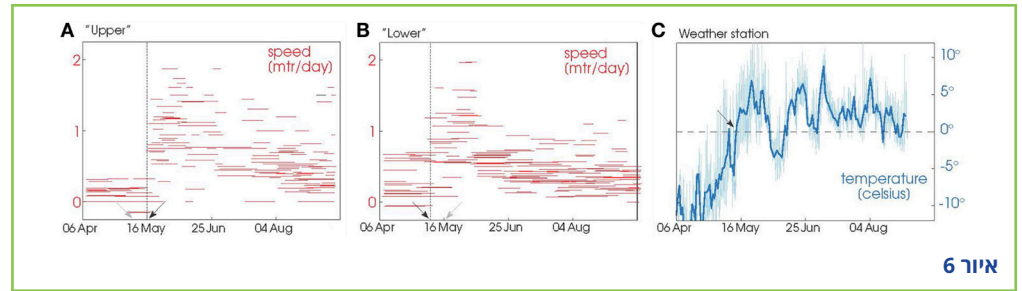
התופעה הזאת – האצה שמתחילה בחלק התחתון של קרחון ועוברת למעלה בהמשך – קשורה לכך שהקרח נמס באביב. הקרח מתחיל להמס באזורים הנמוכים, שהם פחות קרים, וממשיך באזורים הגבוהים יותר בהמשך האביב. ראינו זאת גם לפי יתדות ה-GPS – ועכשיו אנחנו יודעים שאפשר לראות את התופעה גם מהחלל!

מה גילינו?

כפי שראיתם, מתברר שאפשר לעקוב אחרי שינויי מהירות של קרחון הנמצא באזור נידח של קנדה. לפני שהיו בעולם לוויינים, המדענים נדרשו לעשות את המסע הארוך והקשה עד לקרחונים האלה. אבל כיום הלוויינים מאפשרים איסוף מידע על הרבה יותר קרחונים, והודות לו יש לנו הבנה משופרת על זרימת קרחונים ומהירותה.

איור 6

A. אומדן המהירות בקטע העליון של קרחון קסקאוולש. מיקום הקטע הזה מסומן באדום באיור 5. הקו האנכי השחור מסמן מתי נצפתה לראשונה מהירות גבוהה יותר – ב-16 במאי. **B.** אומדן המהירות בקטע התחתון של קרחון קסקאוולש. גם הוא מסומן באדום באיור 5. הקו האנכי השחור מסמן מתי נצפתה לראשונה מהירות גבוהה יותר – כמה ימים לפני ה-16 במאי. החץ השחור מצביע על התאריך הזה, והאפור מצביע על התאריך שבו החלה ההאצה בקטע העליון. המשמעות היא שהחלק הנמוך של הקרחון כבר נע במהירות לפני שהחלק הגבוה החל להאיץ. **C.** הטמפרטורות שנרשמו בתחנה המטאורולוגית האוטומטית, שהמיקום שלה מסומן באיור 5. אפשר לראות שהזמנים שבהם הטמפרטורה עלתה אל מעל אפס מעלות – נקודת הקיפאון של מים – חופפים בערך לזמני ההאצה של הקרחון.



איור 6

בעזרת הנתונים האלה אפשר לנסות לחשב את החיכוך בין הקרחון לסלע בתקופות ובתנאים שונים, ולפתח נוסחה. כבר היו כמה הצעות לנוסחה כזאת, אבל קשה להחליט איזו מהנוסחאות נכונה. היא צריכה לכלול את ההשפעה של מְי השלגים על המהירות – מה שמסבך את העניין, כי כמות המים משתנה מעונה לעונה. בנוסף, קשה לראות מה קורה מתחת לשכבת קרח עבה כל כך, ולכן קשה לבדוק אם התוצאות נכונות במציאות. נקווה שהמידע המגיע אלינו מהחלל יעזור לנו להחליט מה הנוסחה המתאימה ביותר לשינויי המהירות, וכך יוכלו מדענים אחרים לצפות את עתידם של גושי הקרח הענקיים הללו.

אני מקווה שלמדתם משהו מעבודתנו, ואם פעם יהיה לכם המזל הגדול לבקר בקרחון, זכרו שהקרח אולי נראה דומם, אבל הוא בהחלט זז – ולא רק זה, אלא גם מגיב לשינויי מקור החורף לחימות הקיץ.

מאמר המקור

Altena, B., and Käab, A. 2017. Weekly glacier flow estimation from dense satellite time series using adapted optical flow technology. *Front. Earth Sci.* 5:53. doi: 10.3389/feart.2017.00053

מקורות

1. Glen, J. W. 1952. Experiments on the deformation of ice. *J. Glaciol.* 2:111–4. doi: 10.1017/S0022143000034067
2. Nye, J. F. 1952. The mechanics of glacier flow. *J. Glaciol.* 2:82–93. doi: 10.3189/S0022143000033967

פורסם אונליין: 18 בינואר 2019

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

ציטוט: Altena B and Käab A (2019) קרחונים בתנועה: מעקב מן החלל. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2018.00009-he

תורגם והותאם:

Altena B and Kääb A (2018) Observing Change in Glacier Flow from Space. Front. Young Minds 6:9. doi: 10.3389/frym.2018.00009

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

COPYRIGHT © Altena and Kääb 2018. זהו מאמר בנישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (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**EMILIA, גיל: 15**

שמי אמיליה. אני בת 15. אני אוהבת לקרוא ולכתוב. תחומי המדע האהובים עליי הם אסטרונומיה וקוסמולוגיה כללית.

MATHILDE, גיל: 9

שמי מתילדה. אני בת תשע ואני נהנית לשחק שחמט ולקרוא. המקצועות שאני אוהבת בבית הספר הם מתמטיקה ומדעים.

הכותבים**BAS ALTENA**

באס אלטנה הוא חוקר באוניברסיטת אוסלו שבנורבגיה. הוא אוהב לבדוק מה מתרחש באזורים שלג וקרר, ולשם כך הוא משתמש בתמונות שצולמו מהחלל, והמאפשרות לראות שטחים גדולים של כדור הארץ. כך הוא מצליח לראות שינויים בשלג ובקרח במקומות נידחים בנורבגיה, קנדה, ואלסקה, ולקבל מושג ברור יותר על תנועת הקרחונים ושינויים בתצורות קפואות אחרות באזור הארקטי. *bas.altena@geo.uio.no

ANDREAS KÄÄB

גם אנדראס קאב הוא חוקר באוניברסיטת אוסלו. נופים של כדור הארץ מהחלל מרתקים אותו: צילומי לוויין מראים את המגוון העצום של תצורות קרקע מופלאות בכל רחבי הכוכב שלנו. אנדראס הוא גם חובב הרים וקרחונים. הוא למד הנדסה במינכן שבגרמניה ובציריך שבשווייץ, וכיום הוא משלב הנדסה עם צילומי לוויין בעיסוקו – חקר קרחונים, קיפאון-עד וגורמי סיכון בהרים, באמצעות צילומי לוויין.



Hebrew version
provided by

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

