

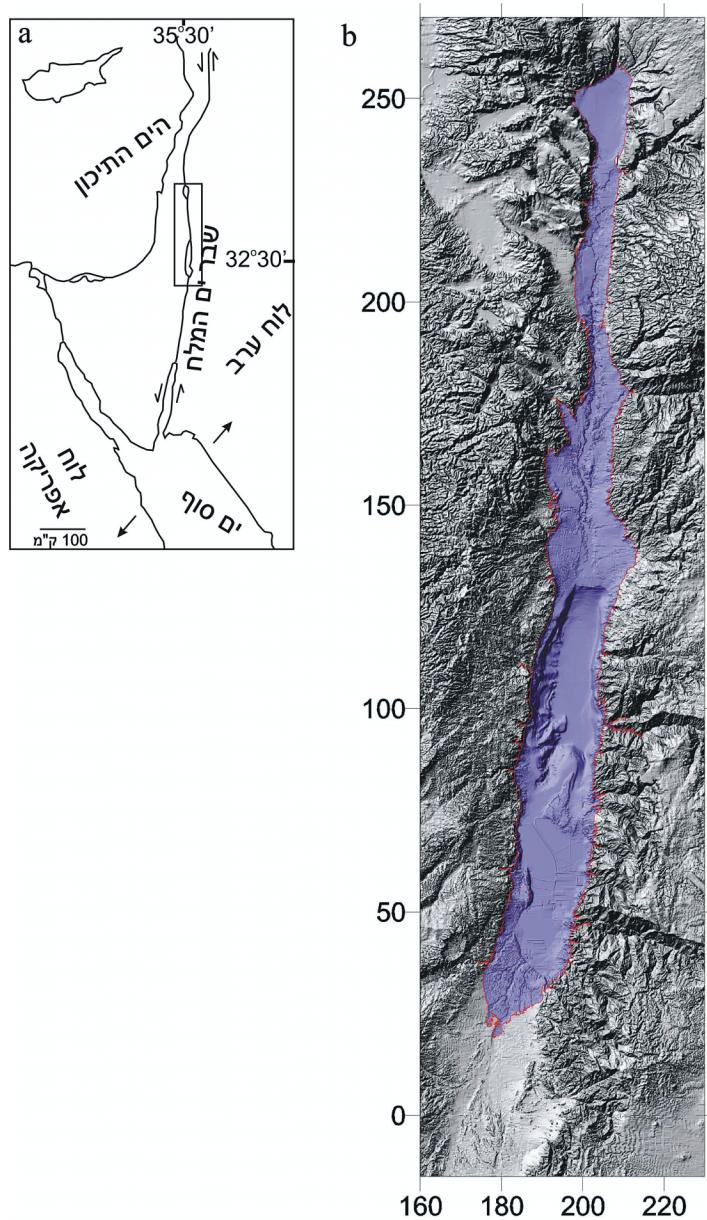
אגם הלשון: מפלסים וاكتלים

יובל ברטוב

מצוקת המים בישראל וההצהרות התקופות בדבר התהממות כדור הארץ מניעות חוקרים רבים לנסות להבין את הגורמים המשפיעים על האקלים בעולם בכלל ועל אזורנו בפרט. לשם כך החוקרים מנסים לשחזר את תנאי האקלים ששררו בעבר, להוות ולפניהם אותו, ועל סמך מידע זה לנתח שינויי אקלימיים עכשוויים. אחת התופעות המוכרות באזוריינו, הקשורות באופן ישיר לשינויים החלים באקלים היא ירידת המפלס של ים המלח. הוויקים מבין הקוראים זכרו בוודאי את הגובה האגדי של ים המלח: 392 מטר מתחת פני הים ורבים יופתעו לדעת כי נכון לכייז' 2005 המפלס עומד על 418-419 מטר והוא ממש לרדת בקצב מדhim של כמטר אחד בשנה. למרות זאת, מוקדם להספיק את ים המלח. עומקו מגע במקומות מסוימים לכ-400 מטר (לשם השווהה, עומק הכנרת כ-40 מטר בלבד) ומחקרים מראים שמפלסו לא ירד אל מתחת לכ-500 מטר מתחת לפני הים (ראוمامרו של סטרינסקי בקובץ זה).

ים המלח הוא אגם סגור המאבד מים באידוי בלבד. מפלסים עולים באגם משקפים מאון מים חיובי שמקורו בתופות עתיות גשם, שבחן כמות המים שנכנסת לאגם גדולה מזו המתאדה. מפלסים יורדים משקפים מאון מים שלילי וاكتלים יבש. בעבר היו לאגם עליות ומורדות: לעיתים היה רדוד ומצומצם בשטחו ולעתים גדול ורחב עד כדי מילוי כל בקע ים המלח, מאורח הצבה בדרום ועד לכנרת בצפון (איור 1). אגם נרחב זה מכונה אגם הלשון.

* יובל ברטוב הוא פרופסור וחוקר ב-Colorado School of Mines שבגולדן, קולורדו. המאמר מתאר חלק מעבודתו לתואר דוקטור במכון למדעי כדור הארץ של האוניברסיטה העברית בירושלים.



איור 1: מערך הלוחות באזור ומפת ההשתרעות המרבית של אגם הלשון לפני כ-25,000 שנים

בماמר זה אציג את אופיו של האגם ב-70,000 הילומטרים רבועים, אעמוד על האפן שבו החוקרים לומדים על השינויים שהלכו בו ועל המסקנות שאפשר להפיק מהשינויים האלה לגבי האקלים באזוריינו בעבר ובהווה.

אגם הלשון: אגם מתנדנד

אגן ים המלח הוא בור عمוק שנוצר עקב תנועת לוח ערב מצפון ללווי סיני-ישראל על פני השבר הסורי אפריקני. זהו אזור נמוך שבמאות אלף השנים האחרונות היו בו אגמים גדולים וקטנים, אך תמיד מולחמים. הסיבה למיליחות נועוצה בחדרה של מי הים התיכון לבקע הירדן לפני כ-3,000 שנים. חדרת הים יצרה לגונה ארכאה וצירה שבה שקוו כמותות גדולות של מלח, כדוגמת המלח בהר סדום העשיי ברובו ממלח (ראו מאמרם של וינברגר ובגין בקובץ זה). לימים נסוג הים ונותר אגם מלוח שמקורו הימי שלו הם מי גשמיים וכי מעינות. בתקופות שכזה זרמו מים רבים באגן הניקוז של הבקעulo פניהם והציפו שטחים נרחבים ואילו בתקופות יבשות יותר ירדו פניהם מי האגם. לאחר שים המלח איננו מנוקז (כלומר הוא אגם סופי בניגוד לנכרת) כמות המים שבו מושפעת מכמות המים הנכנסת ומהכמות המתאדה. لكن השינויים במפלס האגם מושפעים בעיקר מהגשמיים באזורי הניקוז של ים המלח וסביר להניח כי שינוי המפלס בעבר משקפים את השינויים האקלימיים שהתרחשו באזורי.

מצפון הארץ ועד לכנרת פוררים סלעי משקע לבנים בעלי נוף מצוקי (איור 2). מרבית הסלעים האלה שקוו באגם הלשון – האגם הגדול האחרון בסדרת האגמים שקדמו לים המלח. גילם של סלעי משקע אלה צעיר ביותר בмонтנהיים גאולוגיים והוא נקבע בשיטות רדיואקטיביות ל- $15,000$ עד $70,000$ שנים. במבט מקרוב אפשר לבדוק מהסלעים בניויםMSC בדקות ורכות, שכבה בהירה ושכבה כהה לסרוגין. השכבות הבהירות מכילות בעיקר ארגוניט, מינרל גירוי הזוהה בהרכבו למינרל קלציט הבונה את רוב סלעי הגיר בארץנו, אך שונה ממנה במבנה הגבישי. השכבות הכהות מכילות חומר גיררי דק. שכבות אלה (המכונות למינרלים בשל עוביין הדק) שוקעות במי האגם בתנאים שונים: הארגוניט הבונה את הלミニות הבהירות מתגבש בגוף המים ושוקע בעונות יבשות, בעוד מקרים של הגרגרים הבונים את הלミニות הכהות הוא סחף שיטפונות ואבק הנישא עם

הרוח. אלה יוצרים תרחיף ושוקעים לאט, בדומה לבוז בשולית. لكن כל צמד של שכבה בהירה ושכבה כהה מייצג שנה אחת (קייז+חרוף). בשולי האגן נמצאים סלעי משקע הכוללים חלוקים בגודלים שונים שהובילו במערכות הנחלים שורמו לאגן. החומר הגס שקע באזור החוף והחוואר הדק שקע עמוק יותר לכיוון מרכזו האגן. פיזורם של החלוקים, גודלם והמעבר מהם לסלעי משקע אגמיים מרובדים דק, משקפים את מפלס האגן בזמן נתון. כאשר המפלסים גבוהים, אפשר למצוא מעברים בין הסוגים השונים של סלעי משקע בקרבת שולי האגן ובאזור המפלסים נמוכים, מעברים אלה רחוקים מהשולים, ומתקבבים יותר ויוטר למרכו האגן בדומה למצב כים. מעבר בין סוגים של סלעי משקע במרחב קוראים 'שינוי פציאס' (פניהם), כלומר שינוי בהופעת השדה של סלעי משקע שקבעו באותו הזמן. מכיוון שהשכבות מסוימות זו על גבי זו ובכל זמן הן משקפות את הפיזור המרחבי של הפציאס, אפשר לצפות בשינויים באופי סלעי המשקע בכל מקום נתון. מבט מרחבי על כלל גאולוגי זה מלמד על השינויים במפלסי האגן במשך ההיסטוריה שלו. לאחר שמקבלי האגן מפורט של מפלסים אלה על מנת ללמידה על שינוי האקלים בעבר והשלכותיהם על ההוויה.



איור 2: מצוקי תצורת הלשון במישור מצדה. מקור הצבע הבהיר בריובי הארגוניט שקע באזור המרוחק באופן יחסית מחופי האגן הקדום

כיצד מזוהים את מפלס האגם, או היכן עמדת סוכת המציג?

כדי לשחזר את מפלסי האגם שהיו בעבר יש להגדיר את גובהם ואת גילם של קווי החוף. בין חוף ים המלח למצוק ההעתיקים נמצא נוף של מדרגות חוף הקשוות לנסיגת אגם הלשון עד למפלסים הנמוכים של ים המלח המודרני (איור 3). קביעת גיל מדרגות חוף אלה מאפשרת את הגדרת מפלסי האגם בזמן נסיגתו. באופן דומה זההו של תופעות המאפיינות חוף במחשובי סלע באוזור שלו, האגן מאפשר את שחזור המפלסים במשך תקופה ארוכה יותר. לדוגמה, פעולות הגלים בחוף גורמת לסידור אופייני של חלוקי הנחלים לאורך חופי האגם (איור 4). עקב כך נוצרים מבנים המכונים רכסים חוף. לרכסים החוף יש מבנה אופייני מובהק: חתך הניצב لكו החוף מגלח חלוקים מסוודרים בשכבות הנטוויות ברובן לכיוון החוף (איור 5). נוסף על כך, גובהם של המבנים וגודלם החלוקים המרכיבים אותם מלבדים על עצמת הסערות שהתרחשו באגם בעבר. בחינתם של רכסים הנוכחים לאורך חופי ים המלח מאפשרת לנו להווות רכסים דומים בסלעי המשקע. זההו מבנים סדימנטריים כאלה מצבע על כך שבזמן יצרתם היה חוף האגם במקומות שבו הם מצויים. מכאן שניתן לאתר את מיקומה של סוכת המציג שיבש לחופי ים המלח לפני יותר מ-30,000 שנים.イトורם של רכסים חוף רבים במקומות שונים ומתקופות שונות מאפשר את שחזורם של מפלסי האגם העתיקים. אולם אין די בקביעת גובהו של מפלס האגם. כדי לעקוב אחריו שינויי המפלס לאורך זמן צריך לקבוע גם את גילם של משקעי החוף.

קביעת גיל רכסים חוף

בנית עקומת מפלסי האגם מובסת על זיהוי משקעי חוף במחשובים וקבעת גילים וגובהם הטופוגרפי באמצעות מכשירי מדידה. גilm של משקעי החוף נקבע באמצעות מישיות התיארוך המתאימות: סלעים משקע צעירים מ-40,000 שנים ניתן לתארך בשיטת פחמן-¹⁴ בחומר אורגני שקשר עם רכסים חוף. במשקעי חוף עתיקים יותר נקבעת מסגרת כרונולוגית לחתך כולל בעורת תיארוך משקעי הארגונייט בלמינות שמעל לרכס החוף שנצפה ומתתחו. השיטה מבוססת על התפרחות רדיואקטיבית של אורניום הקיים בסלעי המשקע האלה.

פחמן-¹⁴ (¹⁴C) נוצר באטמוספירה עקב פגיעה של חלקיקים מהיריים שמקורם ברוח השימוש ובקרינה הקוסמית באטומי החנקן. אטומי הפחמן-¹⁴ אינם יציבים

והופכים בחורה לאוטומי חנקן כרך שבתוֹר 5,730 שנים נשארת חצי מכמותם ההתחלתית (זהו ומין מחצית החיים). היצירה והפירוק של אוטומי פחמן-14 מגעימים לשינוי משקל כרך שכמותם באטמוספירה היא קבועה כמעט ועקבות אחר שנויים ארוכי טוח ברוח המשם. צמחי מחליפים פחמן דו חמוץ עם האטמוספירה בתהליכי הפוטוסינטזה והנשימה, וכך עוד הצמח חי נשמר שיווי המשקל של הפחמן-14 בצמח ובאטמוספירה. עם מותו חדל הצמח לחדש את הפחמן-14, כמותו של זה יורדת בהتمדה ושעון הזמן הרדיואקטיבי מופעל. השוואה בין הפחמן-14 המזוי בצמח ביום לבין הערך האטמוספרי מאפשרת לקבוע את גילו של הצמח המת (החומר האורגני). היחס האטמוספרי אינו קבוע בזמן, אך הוא נקבע על ידי השוואה בין גילי פחמן-14 וגיליהם שנקבעו בשיטות תיארוך אחרות.



איור 3: מדרגות חוף בקרבת מרחצאות עין גדי שנגרמו עקב נסיגת האגם בסוף תקופת הקרח الأخيرة. מפלס האגם ירד מגובה של 165 – מטר ל-390 – מטר ופחות



איור 4: א. רכס חוף שנוצר עקב סערה שהייתה בחורף 1996 לחופי ים המלח; ב. רכס חוף כפי שהוא מופיע בתחום של תצורת הלשון. זיהוי מבני החוף מאפשר לנו לשחזר את מפלסי האגם הקדומים

רכס חוף



איור 5: מבנה רכס החוף כפי שנצפה בשדה. המבנה נובע מפעולות הגלים ומשידורם מחדש של חלוקים שמקורם בשיטפונות

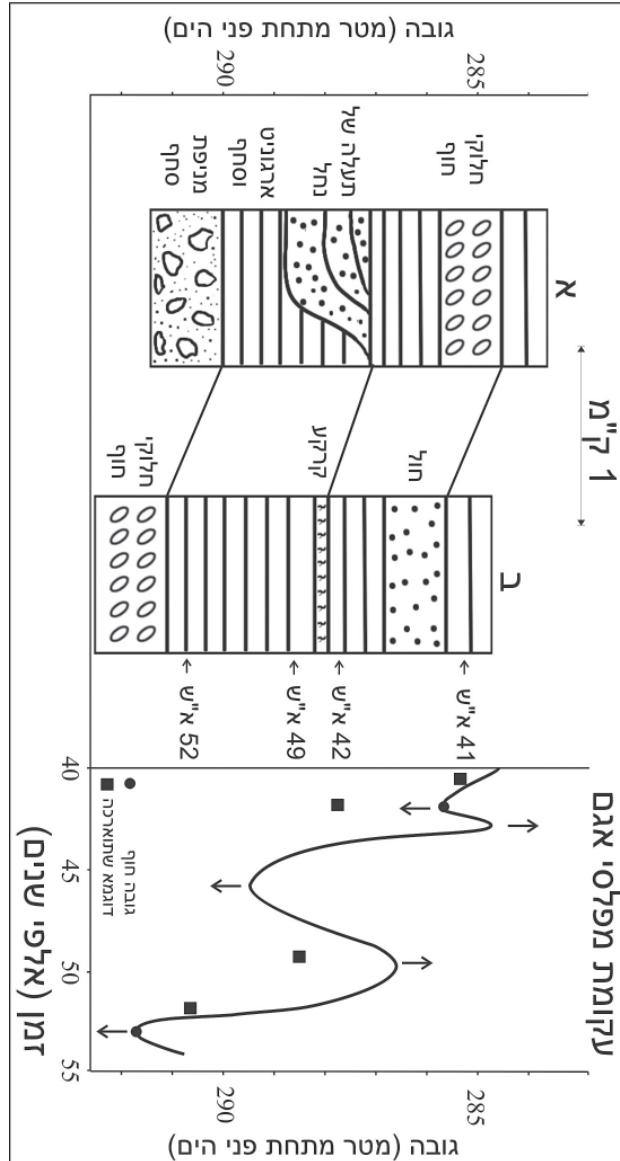
כיצד בונים עקומה מפלסים עם נסיגת החוף מתחדרים אפייקי נחלים שכובות ששקעו באגם הקדום ומאפשרים הצזה לסדרות ששקעו זו על גבי זו. השינויים בעמודת סלע הנמצאת במקום מסוים מייצגים את השינויים בתנאי ההשקה באותו המקום במשך הזמן שבו הצברו הסלעים. לדוגמה, באתר שבו שקו סלעי משקע המספרים על שקיעה מי ים יכולים לאחר זמן מה לשקו משקעים נחליים עקב ונסיגת הים. באופן זה כל מחושף של עמודת סלע מייצג את השינויים בתנאי ההשקה באותה מקום. תיאור של מחושפי סלע רבים שבהם נרשמים תנאים השקה שונים מאפשר את זיהוי הגאוגרפיה בזמינים קדומים, כדוגמת שינוי קו החוף.

איור 6 מציג דוגמה כללית לפעונה עקומה מפלטי אגם על פי שני חתכים عمודיים, תיאורן שכבות וההתאמה סטרטיגרפית ביניהם (הקוויים השחורים מחברים שכבות שוות גיל). לאחר הצבת סמני החוף בעקומה המפלסים יש להעריך את מגמת שינוי המפלס בין שתי נקודות חוף, ולהגדיר את מגבלות העלייה או הירידה במפלס. המגבלה על עליית המפלס המרבית נקבעת על ידי הגובה הטופוגרפי הגבוה ביותר בעבר שכבה המסמנת מים עומקים (זיהוי שיא הצפת האגם). זיהוי עומק ירידת המפלס מורכב יותר בغال תהליכי בליה והסרה המתבצעים בזמן ירידת המפלס הנמוך ביותר בתקופה נתונה דורש ניתוח מחושפי סלע באתרים הנמוכים מבחינה טופוגרפית, תוך התקדמות לכיוון מרכזו האגם, עד למציאת חתך שבו השקה רציפה.

אגם הלשון: מפלסים ואקלים

27

איור 6: סרטיות סכמטי המציג את אפיק שחוור מפלסי הדיאוגם. בעורת יזרוי תגאי ההלשון במקומות שונים במהלך המרחב (ההמיינרים עלי ידי שנבי). התחביכים העמוריים אפשר לשחרור את השנוגין במקומו של קו החוזן. לדוגמאות, לפיער 42 הדיאוגם בגביה מ-288 מטר כי בגביה זוחק עונסט וטסנת. גובה זו גבוהה מ-290 המילימטרים שמשנה אפיק שנוגן בפה. לפיער 41 הדיאוגם בגביה עז יהוד. לפיער 49 הדיאוגם בגביה עז יהוד. לפיער 52 הדיאוגם בגביה עז יהוד. גובה חוף דגמא שטארארכा (●) מושג על קו החוזן בפיער 41.

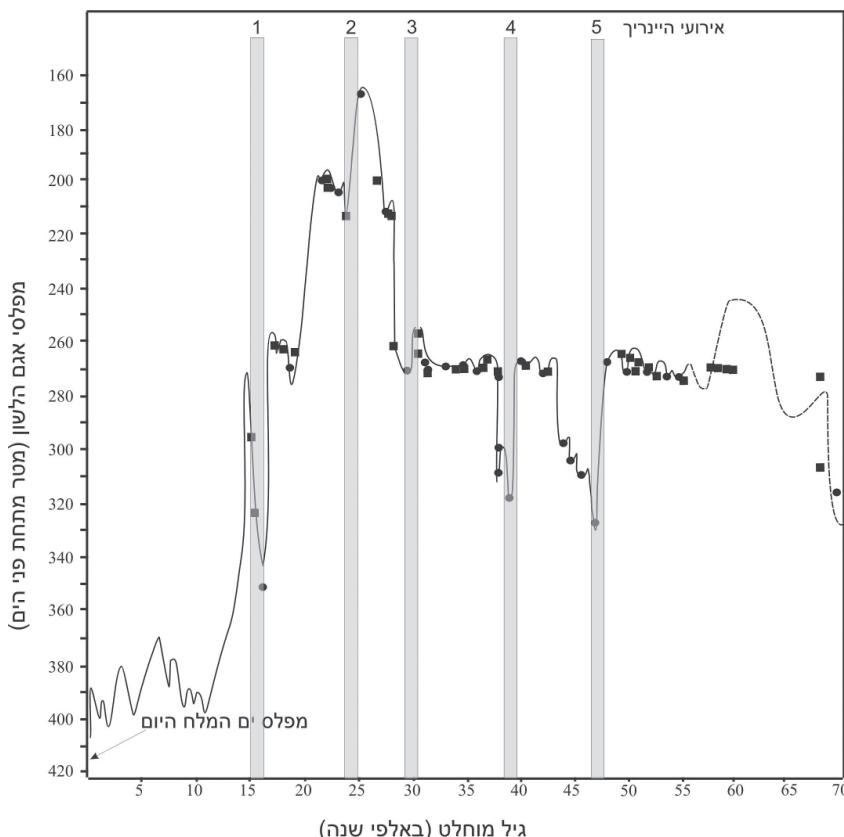


ההיסטוריה של מפלסי האגם

שחוור מפלסי האגם מציג היסטוריה מגוונת של מפלסים המוכתבים משינויי האקלים שהתרחשו באזורי. עקומת שינויי המפלס (איור 7) מראה כי גובה פני האגם לא היה קבוע והוא משקף תקופות אקלימיות שונות. מפלס האגם המרבי הידוע לנו כיום הוא לפחות 165 מטר מתחת לפני הים (מפלס זה גבוה ב-15 מטר מהרום של 180 מטר מתחת לפני הים שהוא נמור יותר ונע בין 390 ל-260 מטר מתחת לפני הים).

אפשר לחלק את עקומת שינויי המפלס לארבעה חלקים: לפני 70,000 עד 55,000 שנים היה מפלס האגם גבוה באופן ייחודי ולאחר עלייתו הראשונית הגיע למפלסים של כ-240 מטר מתחת לפני הים. סלעים מתוקפה זו חשופים רק במקומות מעטים באגן ים המלח ולבן קביעת גובה האגם בתקופה זו מבוססת על נתוניים מעטים ועל מפלסי מינימום, כפי שמשתקף מגובהם של סלעי משקע ששקווע באגם ואינם מצינניים חוף. לפני 55,000 עד 30,000 שנים היה מפלס האגם יציב באופן ייחודי, פרט לשולשה אירואים שבהם מפלס האגם ירד באופן פתאומי למפלסים נמוכים ביותר המשקפים התיבשות ונסיגת חוף. לפני 30,000 עד 23,000 שנים הגיע אגם הלשון את הבקע מאזור הצבה ועד לצפון הנרת ועלה למפלסי הגבואה ביתר. לאחר תקופה זו ירד המפלס באופן ניכר (להוציא אירוע הצפה קצר לפני כ-15,000 שנים) והגיע למפלסים נמוכים בדומה להיום.

לאחר נסיגת אגם הלשון למפלסים נמוכים ביותר (ככל הנראה נמוכים מ-420 מטר מתחת לפני הים) החל המפלס לעלות, תוך כדי השקעת שכבות מלח עבה שהמסתה ביום בחת-קרקע יוצרת את הבולענים המוכרים בחופי ים המלח (איור 8). במשך רוב תקופה ההולוקן (000 10,000 השנים האחרונות) היו מפלסי האגם נמוכים באופן ייחודי ודומים לאלה של היום (סביבה 400 מטר מתחת לפני הים), כאשר בכמה אירועים עלה המפלס ל-380 עד 370 מטר מתחת לפני הים. בסוף המאה התשע עשרה נרשמו מפלסי אגם הגבואה ביותר ב-5,000 השנים האחרונות, כאשר המפלס הגבוה ביותר היה כ-390 מטר מתחת לפני הים. ככלומר מפלסים אלה היו חריגים באופן ניכר בהשוואה לאלה שהקיפו את האקלים ששר באזור באלפי השנים האחרונות. ראוי לשים לב לעבודה זו כאשר באים להסביר את השינויים החלים ביום באגן ים המלח.



איור 7: עקרות מפלסי אגם הלשון והשוואתם לאירופי היינריך (חמשת המלבנים המוארכים) שתועדו בצפון האוקיינוס האטלנטי.

עד כה הוצגו שיטות העבודה והתמציות הගאולוגיות המסיעות לחוקרים בשחוור מפלסי אגם הלשון. מכאן עולה השאלה מה משמעותם של מפלסים אלה מבחינה אקלימית וכייזד הם קשורים למערכות האקלים העולמיות.

תקופת הפליסטוקן העליון (תקופת קיומו של אגם הלשון) מאופיינת בשינויי אקלים מהירים שמקורם בבנייה ובהתצטמצמות של קרחונים ובשינויי מפלס האוקיינוס (כאשר נבנים קרחונים, מפלס הים יורדת וכאשר הם מפשירים, המפלס עולה). קידוחים בים העמוק ובקרחונים מספקים עדויות על השינויים הפתאומיים

והמהירים ועל חסיבותם. אף ששינוי האקלים השפיעו גם על אורותם יבשתיים, העדויות המתעדות את השפעתם על היבשות הן מעטות באופן ייחסי, אחת מעדויות אלה היא אגם הלשון.

השינויים בסוגי המסלע במשקעי אגם הלשון ובמפלסיו מבטאים שינוי אקלים שחלו במורה הים התקין בתקופת הקרח האחרון. להשיקעת למיניות הארגוניט והגבש דרישה אספקה ממשועות של יוני בירובנט וטולפט הכהרחים להשיקעת מינרלים אלה. מקורם של חומרים כימיים אלה הוא במים המתוקים הנכנסים לאגם. עובדה זו קושרת את מפלסיו הגבוהים של אגם הלשון עם כניסה מים מתוקים רבים לאגם בתקופת הקרח. בתקופה ביןקרחונית מפלסיו הגבוהים נמכים בהרבה והשיקעת הארגוניט מוגבלת. מפלסיו הגבוהים ביותר של אגם הלשון (לפניהם עד 28,000 עד 20,000 שנים) תואם את שיא תקופת הקרח, המשתקף בטמפרטורות הקרחות ביותר בצפון האוקיינוס האטלנטי ובחתרעות נרחבות של הקרחונים. המפלסים הנמכים יותר של אגם הלשון קשורים בשלב קר פחות בתקופת הקרח האחרון, ולכן ניתן להסיק בהצללה על קיומו של קשר בין הטמפרטורות בצפון האוקיינוס האטלנטי לבין האקלים באזורי אגן הניקוז של אגם הלשון. אם כך, מהם אירועי ההתיישבות באגם הלשון המופיעים בעקבות המפלס? האם הם קשורים באירועי התחומות? להפתעת החוקרים אירועים אלה קשורים דווקא באירועים אקלימיים קרים במיוחד.

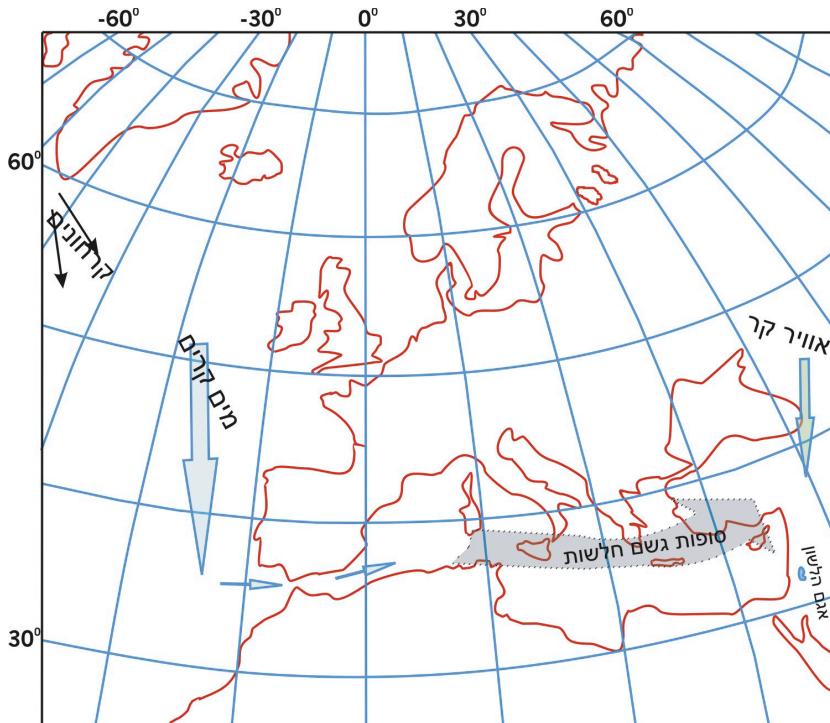
כפי שכבר הזכר, תקופת הקרח מאופיינת בשינויים מהירים בתנאים האקלימיים בצפון האוקיינוס האטלנטי. שינויים אלה הם מחזוריים בדרגות שונות. אחד מטיפוסי מחזוריים אלה נקרא היינרייך. אירועי היינרייך הם אירועים אקלימיים שהתרחשו בצפון האוקיינוס האטלנטי בתקופות קרות במיוחד. הATTRACTOR הקרים מומסת במשך זמן רב בתקופות הקרות הגיעו לשלב שבו השכבה שבבסיס הקרחון מוגבהת בשל העומס הרב, דבר הגורם לגילשת קרחונים לתוך האוקיינוס. אירוע גלישה עצוםים אלה מספקים כמויות גדולות מאוד של מים מתוקים לים. עקב כך מופרת הזורימה באוקיינוסים, דבר המשפיע על האקלים הגלובלי.

אחד מנגנוני איזון הטמפרטורהxcdור הארץ הוא מעבר חום מאזור המשווה לכיוון הקטבים ובליתו על ידי מערכת הזורימות האוקיינית. מערכת הזרמים מבוססת על שקייתם של מים מלוחים אך חמימים בצפון האוקיינוס האטלנטי וייצירת ה-NADW (North Atlantic Deep Water). לפי מודלים אוקיינוגרפיים שונים, כיסותם של מים מתוקים רבים בצפון האטלנטי עקב המסת קרחונים באירועי

הייןרייך גורמת להפסקה ביצירת ה-DWADN ועקב כך לזרימת מים קרירים בפני השטח לקווי רוחב נמוכים באוקיינוס האטלנטי, עד כדי כנישתם לים התיכון. השוואה בין הזמנים של אירופי הייןרייך לבין שינויי מפלס אגם הלשון (איור 7) מראה קשר ברור בין התופעות. ההסבר המוצע לירידה הפאותומית במפלס האגם בתקופה קרה במיוחד הקשור להשפעת אירופי הייןרייך על הזורמים האוקייניים. קירור מי האוקיינוס וכנישתם לאגן הים התיכון בזמן אירופי הייןרייך גרם להורדת טמפרטורת פני השטח בים התיכון וליצירה של גושי אוויר קר המכטינים את האידוי והגורמים לירידה ניכרת בסופות (איור 9). הקטנת כמות המשקעים מעלה לאגן הניקוז של אגם הלשון גרמה לירידות מפלס ניכרות אף זמניות. חזות מערכת הורמים האוקיינית למצבה הקודם אפשרה גם את חימום מי הים התיכון, הגברת האידוי וחזרתם של המפלסים הגבוהים באגם הלשון.



איור 8: בולען בחוף ים המלח. הבולען נוצר עקב המסת שכבות מלח ששקעה לפני כ-10,000 שנים (לאחר נסיגת אגם הלשון)



איור 9: מפה המציגת את מסלול השפעת אירופי היינריך על מפלסי אגם הלשון

לסיכום, לפני כ-20,000 שנים כוסו חלקים נרחבים של כדור הארץ בקרחונים. הופעתם והיעלמותם של הקרחונים זהה כמחזוריות, ככלומר ניתן להווות תקופות קרות וחרמות לסרוגן. זיהוי השינויים האקלימיים מאפשר לחוקרים ללמוד על המצב האקלימי שנמצא בו כדור הארץ ביום, על עתידו ועל השפעת האדם עליו. מפלסי אגם הלשון מציגים דוגמה מפורטת לשינויי האקלים על מאzon הימים באגם. הקשר בין המפלסים לבני אירופים אקלימיים שמקורם בצפון האוקיינוס האטלנטי מראה כי שינוי האקלים הם אירופי גלובלי הנשלט על ידי מגנן פועלה יחיד. לימוד מערכות יבשתיות כמו ים המלח ומעקב אחר שינויי מפלסי מאפשר לנו להכיר את תנאי האקלים שבהם אנו חיים כיום.

מקורות וקריאה נוספת נוספת

- בגין, ב"ז, 'אגם הלשון: אביהם הקדמון של הכנרת וים המלח', מדע ל' 3 (1988)
ברטוב, י', הגיאולוגיה של תצורת הלשון במישור מצדה וחצי האיליסאן, עבודת
גמר לתואר מוסמך, האוניברסיטה העברית בירושלים 1999
- רוז, א', ספר ים המלח, הוצאת רשות שמורות הטבע 1993
- Bartov, Y., Goldstein, L. S., Enzel, Y., Stein, M. 2003. 'Catastrophic arid episodes in the Eastern Mediterranean linked with the North Atlantic Heinrich events'. *Geology*, v. 31, 5, pp. 439–442
- Begin, B. Z., Ehrlich, A., Nathan, Y. 1974. 'Lake Lisan - the Pleistocene precursor of the Dead Sea'. *Geological Survey of Israel Bulletin* 63, p. 30
- Bookman, R., Enzel, Y., Agnon, A., Stein, M. 2004. 'Late Holocene lake levels of the Dead Sea'. *Geological Society of America Bulletin*, v. 116, pp. 555–571