

אגם הלשון ומשמעותו האקלימית

בני בגין

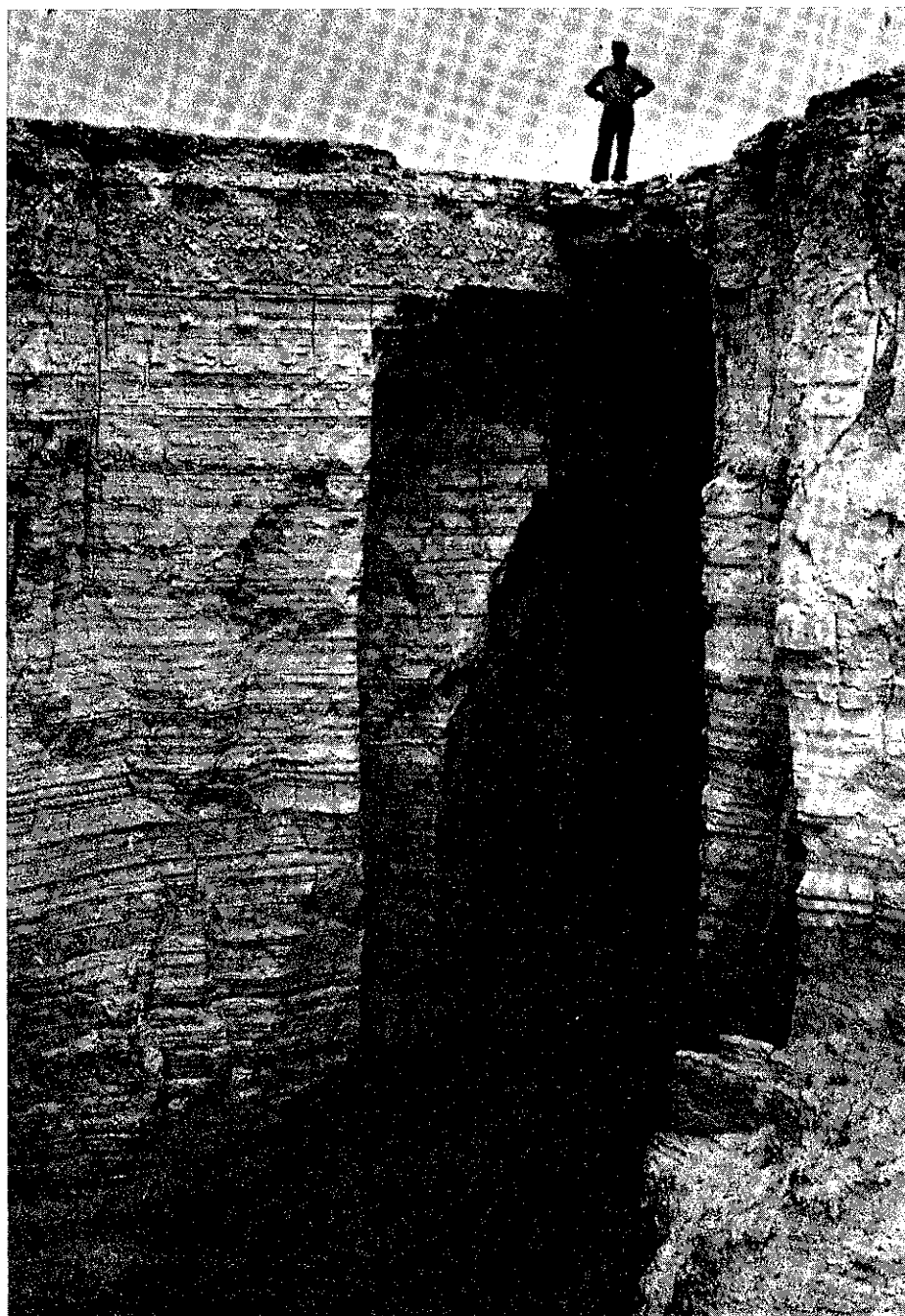
המכון הגיאולוגי, ירושלים

הקדמה

השכבות הלבנות והפריכות, המתפצלות לתת-שכבות דקיקות (למינות) כהות ובהירות לסרוגין אשר בסביבות ים-המלח, משכו את תשומת לבם של נוסעים וחוקרים רבים (איורים 1; 2 ו 2; 2). כבר לפני יותר ממאה שנים כתב הגיאולוג הצרפתי Lartet (1869) כי "מבהיל הדבר כמה מחקרים פורטמו על איזור זה". אותו חוקר היה הראשון אשר כינה את יחידת הסלע הזו בשם "משקעי הלשון" (על שם חצי האי "הלשון" של ים המלח) ופירש אותם נכונה כמציינים את קיומו של אגם קדום רחב ממדים.

רק לפני כעשרים שנה הוצגו לראשונה תוצאות של בדיקות גיל בשיטות רדיואקטיביות של שכבות אלה. זאת בעבודתם של ניב ואמרי (1967) על ים-המלח, שבה צויין שהשכבות הקדומות ביותר של תצורת הלשון הן בנות כ-70,000 שנה. בדיקות גיל נוספות הראו שהגיל של השכבות הצעירות ביותר של תצורת הלשון הוא כ-15,000 שנה.

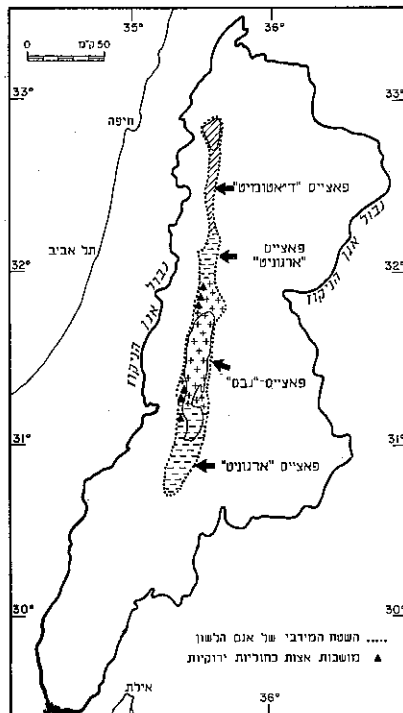
תצפיות של גיאולוגים רבים העלו כי הגובה המירבי בו מצויות שכבות אלה הוא 180- מ' ביחס למפלס הים התיכון, כלומר כ-200 מ' מעל למפלס ים-המלח. ואמנם אם עוקבים אחר קו גובה זה בכל בקעת הירדן וים-המלח מוצאים, ממנו ומטה, משקעים שהם שרידיו של אגם שאנו מכנים אותו בשם "אגם הלשון". לכן, אם מציינים על מפה את קו הגובה 180- מקבלים את תיאור ההיקף המירבי של "אגם הלשון" אשר שטחו היה כ-2900 קמ"ר, כלומר בערך פי שלושה משטח ים-המלח של היום. הכנרת וים המלח הם איפה שני האגמים ששרדו לאחר שאגם הלשון החל להתיבש לפני כ-15000 שנה (איור 3; 2).



איור מס' 2.1 מחשוף של תצורת הלשון בנחל פרצים. השכבות הפריכות נחתרות בקלות. (צולם ע"י י. קרץ, המכון הגיאולוגי).



איור מס' 2.2 קימוטים חריפים בתצורת הלשון בנחל פרצים, בהם בולטים החילופין של למינות בהירות וכהות (צולם ע"י י. קרץ, המכון הגיאולוגי).



איור מס' 2.3 מפת תפוצה של הפאצ'ים השונים של תצורת הלשון. (מעובד עפ"י בגין ואח', 1980).

בתיאור תצורת הלשון נשתמש להלן בשני מושגים הדורשים הבהרה. משקעים כימיים: עשויים מינרלים אשר מתגבשים מתמיסה כאשר זאת מתאדית. מינרלים אלה משקפים את טיב המים מהם הם נוצרו. המינרלים אשר מצויים בתצורת הלשון ונוצרו ממי אגם הלשון הם: ארגוניט - סוג של גיר שהרכבו הכימי הוא פחמת הסידן $(C_a(CO_3)_2)$ והוא מכיל גם כמות זעירה ביותר של נתרן וסטרונציום; גבס - שהרכבו הכימי גופרת הסידן $(C_aSO_4 \cdot 2H_2O)$. בכמויות קטנות מאד מצוי גם המינרל דולומיט $((C_a, M_g)(CO_3)_2)$, כאשר מאיידים תמיסה שיש בה מלחי פחמת סידן וגופרת סידן נוצר קודם כל גיר (ארגוניט) ואילו אידוי נוסף הגורם להגברת המליחות מביא ליצירת גבס ובתנאים מסוימים גם דולומיט.

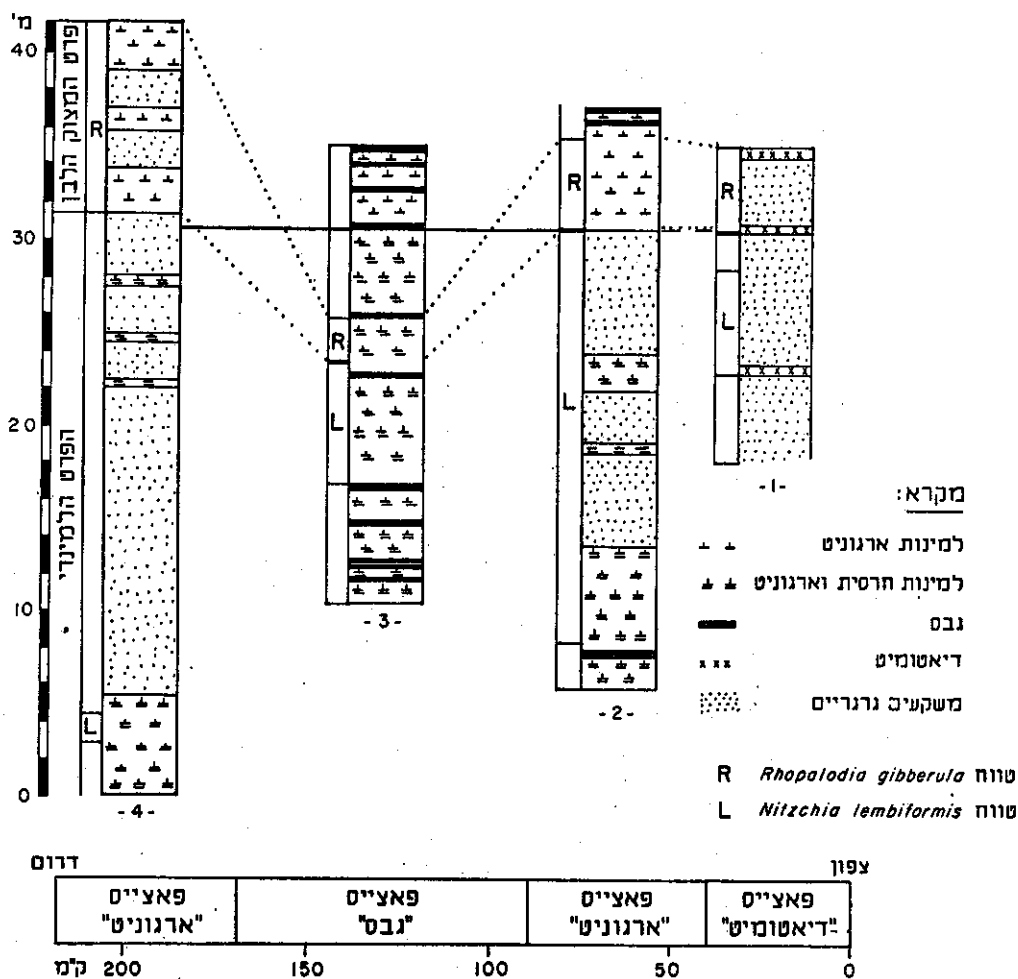
משקעים גרגריים: עשויים גרגרים בגדלים שונים (חלוקים, חול, חרסית) אשר מקורם בהתפוררות סלעים קדומים, ואשר הובלו אל מקום הרכבתם מן ההרים שמסביב לאגם. גרגרים אלה אין בהם כדי להעיד על הרכב מי האגם בו הם הצטברו.

נתאר קודם כל את הרכב הסלעים בתצורת הלשון, נפרט את הרכב המאובנים שנמצאו בה, נסביר את המגמות העקריות, במרחב ובזמן, של תפוצת הסלעים, ונציע פירוש להיווצרותם ולתפוצתם. לבסוף נציג את המסקנות העקריות שניתן להסיק לגבי האקלים ששרר באיזור בעת קיום אגם הלשון והרכבת סלעי תצורת הלשון.

בחתכים שנערכו לאורך הירדן, הזורם היום בקירוב לאורך קו המרכז של אגם הלשון הקדום, נמצא שתצורת הלשון מונחת בכל מקום על יחידת סלע הבנויה בעיקרה חול וחרסית. כחתך שנערך בנחל אמציה דרומית לים המלח, גם הוא סמוך למרכז האגם, ניתן להבחין ביחידה זו בעובי חשוף של כ-15 מ', כאן היא מאופיינת על ידי חלוקים בבסיס החתך, ובהמשכו כלפי מעלה מוצאים גרגרים דקים יותר של חול ומעליהם גרגרים דקים יותר של חרסית. יחידת סלע זאת מליצגת את השלב שבו החל אגם הלשון להתמלא מים.

תצורת הלשון

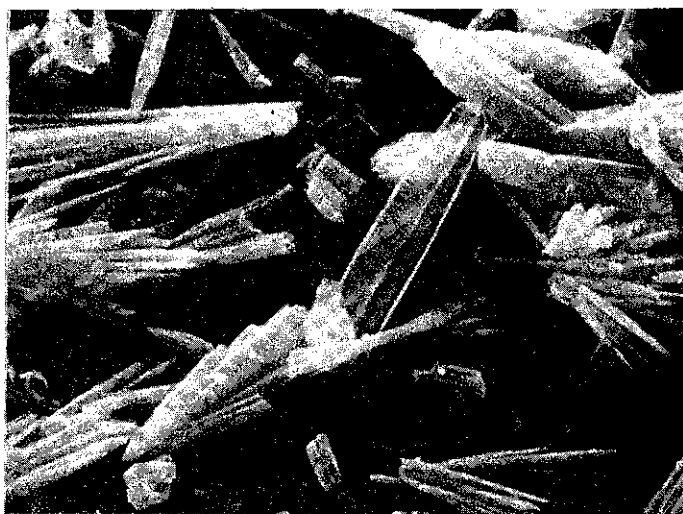
בתצורת הלשון ניתן להבחין בשני פרטים הנחשפים כמעט בכל כקעת הירדן. הפרט התחתון מכונה ה"למינרלי" ומעליו מופיע פרט ה"מצוק הלבן" (איור 2.4).



איור מס' 2.4 חתכים המיצגים את הפאציס השונים של תצורת הלשון. חתך 1 ליד ירדנה (2034/2200); חתך 2 ליד דיר שמן (ראה מיקומו באיור 2.10) חתך 3 ליד גשר אלנבי (2007/1419); חתך 4 בנחל אמציהו (1819/0358). (מעובד עפ"י בגין ואח', 1980).

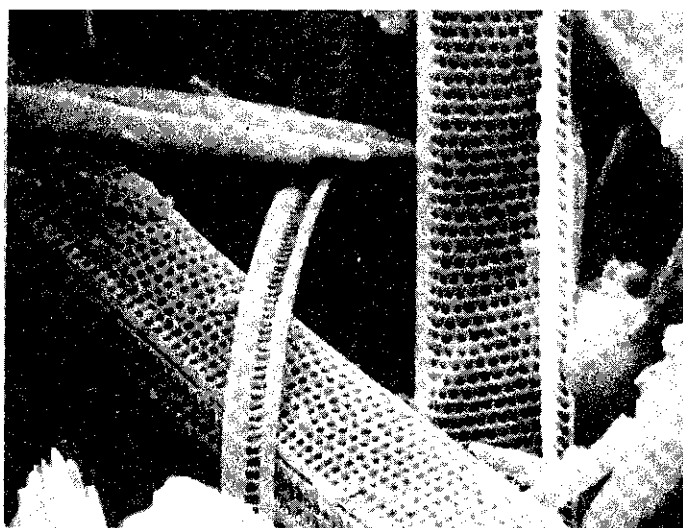
הפרט ה"למינרי"

החתך החשוף העבה ביותר, כ-26 מ', של פרט זה מצוי באיזור דיר שמן, צפונית מזרחית ליריחו. הוא מורכב בעיקר למינות דקות, כמילימטר עוביין, כהות ובהירות לסרוגין. הלמינות הבהירות בנויות רוכן ככולן גבישי ארגוניט דקים המופיעים לעתים קרובות עם אצות צורניות (איור 2.5).



5א

איור מס' 2.5א* גבישי ארגוניט דמויי מחסים ושלר של אצה צורנית. תמונת מיקרוסקופ אלקטרוני סורק של למינה לבנה בתצורת הלשון ליד אום שורט. אורך הקו מתחת לתמונה הוא 0.01 מילימטר (מתוך בגין ואח' 1974).



5ב

איור מס' 2.5ב* שלדים של האצה הצורנית *Nitzschia sigma* יחד עם גבישי ארגוניט. תמונת מיקרוסקופ אלקטרוני סורק של למינה לבנה בתצורת הלשון ליד אום שורט. אורך הקו מתחת לתמונה הוא 0.01 מילימטר. (מתוך בגין ואח' 1974).

הלמינות הכהות בנויות גרגרים זעירים שהוכלו לאגם הלשון מן ההרים שסביבו ומקורם, כאמור, בליה של סלעים קדומים. מוצאים ביניהם חרסיות מסוגים שונים, שברי מאובנים מיקרוסקופיים, גיר, דולומיט וקוורץ.

באיזור שבין גשר אלנבי למצדה מצויות בגג הפרט למינות וגם שכבות אחדות של גבס בעובי 10-20 ס"מ. כן נמצאים במקומות אחדים תרכיזי גפרית המופיעים באופקים מסוימים בחלק העליון של הפרט ה"למינרי". עקב הופעת שכבות הגבס בפרט זה מכונה איזור תפוצתן בשם "איזור (פאציאס) הגבס". מצפון ומדרום לו נעלמות שכבות הגבס בפרט ה"למינרי" ובמקומן מתרבות שכבות חול וחרסית בתוך רצף למינות הארגוניט והחרסית. היות שהמינרל העקרי כאן הוא ארגוניט מכונים אזורים אלה בשם "אזורי (פאציאס) הארגוניט". צפונות לבית שאן בנוי הפרט הלמינרי בעיקרו גרגרי חול וחרסית כמעט ללא למינות של ארגוניט. אולם כאן מצויות שכבות אחדות הבנויות רוכן ככולן מאובנים של אצות צורניות (דיאטומיאות). איזור זה מכונה איפא "אזור (פאציאס) הדיאטומיט".

פרט ה"מצוק הלבן"

פרט ה"מצוק הלבן" מונח בד"כ בהתאמה על הפרט הלמינרי ; יוצא מכלל זה החתך סמוך לירדן ליד דיר שמן, בו הובחן מגע של אי התאמה אירוזיכית בין הפרטים, המלווה שרידים של שרשי צמחים. בכך יש עדות להתיבשות זמנית של האגם באיזור זה.

פרט ה"מצוק הלבן", כשמו כן הוא, בנוי בדרך כלל שתי יחידות יוצרות-מצוק. חלקו העבה ביותר כ-15 מ', מצוי ליד מצדה. ביחידה זו רב יותר חלקם של המשקעים הכימיים יחסית למשקעים הגרגריים. בכל מקום דרומית לבית שאן יש בו לפחות שתי שכבות עבות של גבס או ארגוניט, הבנויות למינות דקות. בגג הפרט מצויות שכבות גבס, הן באיזור המוגדר כ"אזור הגבס" והן באיזור המוגדר כ"אזור הארגוניט". בלמינות הארגוניט בפרט זה יש יותר גבישי גבס מאשר בפרט ה"למינרי". באיזור מצדה נמצאו בפרט ה"מצוק הלבן" תרכיזי גפרית. כחתכים שבאיזור דיר שמן - אום שורת נמצאו סמוך לגג פרט ה"מצוק הלבן" למינות בודדות בהן נמצאו גבישי דולומיט אשר מקורו ככל הנראה בהתגבשות מתוך מי אגם הלשון והוא אינו תוצר של בליה והובלה כגרגרים אל האגם. באיזור נחל אמציהו נמצאו בגג החתך אואוליטים הבנויים ארגוניט.

מול שפכי נחלים מוצאים בתצורת הלשון חתך המתאפיין בריבוי של חלוקים וחול שהובלו לאגם ע"י הנחלים והורבדו בו במניפות סחף תת-ימיות. מניפות אלה נחקרו בפירוט ע"י עמיחי סנה מן המכון הגיאולוגי, אשר מצא בהן מחזוריות של שכבות חלוקים, חול וחרסית וחןזר חלילה. כאגפי מניפות הסחף התת ימיות האלה מעורבים המשקעים הגרגריים בלמינות הבהירות והכהות האפיניות לתצורת הלשון.

מאובנים בתצורת הלשון

אצות צורניות (דיאטומיות)

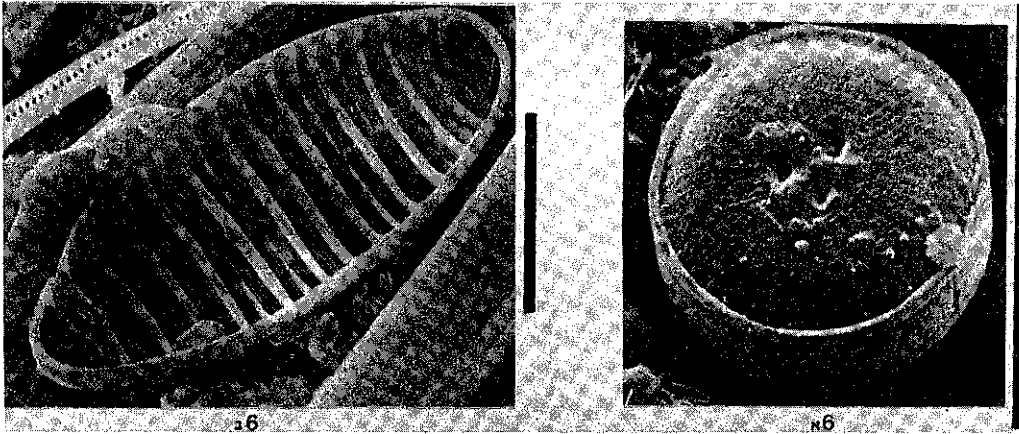
בתצורת הלשון נמצאו אצות צורניות רבות השייכות ליותר מ-30 סוגים ויותר מ-160 מינים שונים. שתי הקבוצות העיקריות הן: אצות צורניות המסוגלות לעמוד בתנאי מליחות משתנים (צורניות אוריהליניות) וצורניות האופייניות למים מתוקים. האצות האוריהליניות כולן חיות על קרקעית האגם (בנתונות) ומאפיינות מים רדודים. רב ידיעותינו על תפוצת הצורניות בתצורת הלשון ומשמעותה מבוססת על מחקריה המפורטים של ד"ר ארליך מן המכון הגיאולוגי.

ממחקרים אלה עולה כי ניתן להבחין בקבוצות מינים מסוימים של אצות צורניות אירוהליניות המוגבלים לחלקים שונים של החתך בתצורת הלשון. בחלק התחתון של החתך מוצאים בעיקר את המינים *Nitzschia vitrea*, *N. sigma*, *N. aff. confinis* ו- *Amphora coffeaeformis*. לחלק האמצעי של החתך (בפרט ה"למינרי") אופייניים המינים: *Navicula aff. N. creuzburgensis*, *Nitzschia lembiformis* ו- *Amphora coffeaeformis*. לחלק העליון של החתך (עדיין בפרט ה"למינרי" בדרם אגם הלשון ובפרט ה"מצוק הלבן" בצפון האגם) אופייניים המינים: *Nitzschia sigma*, *Rhopalodia gibberula*, *Achnanthes brevipes*, *Amphora holsatica*, *Nitzschia coffeaeformis*, *Mastogloia sp.*

כפי שיוסבר להלן, המינים בחלק העליון של החתך (טווח R באיור מס' 2.4) מאפיינים מים בעלי מליחות יותר נמוכה מן המינים שבחלק התחתון של החתך (טווח L באיור מס' 2.4).

מבין האצות הצורניות של מים מתוקים הובחנו בתצורת הלשון צורניות המרחפות במים (פלנקטוניות) וצורניות בנתונות (החיות על קרקעית האגם) או נדבקות לצמחים (אפיפיות). צורניות המים המתוקים מהוות בד"כ חלק קטן בלבד מכלל אוכלוסית האצות הצורניות בכל דוגמא (איור 2.6).

מן הקבוצה הפלנקטונית המינים הנפוצים ביותר הם: *Stephanodiscus astraea*,
C. ocellata, *Cyclotella utzingiana*, *Melosira granulata*
 מן הקבוצה הכנתונית-אפיפיטית הסוגים הנפוצים ביותר הם: *Cymbella*, *Diatoma*,
Syndrea, *Cocconeis*, *Navicula*, *Gomphonema*, *Epithemia*.



איור מס' 2.6 א' האצה הצורנית הפלנקטונית *Cyclotella ocellata* החיה במים מתוקים. תמונת מיקרוסקופ אלקטרוני סורק מתוך למינה כהה בתצורת הלשון ליד אום שורט. אורך הקו בצד התמונה הוא 0.01 מילימטר. (מתוך בגין ואח' 1974).

איור מס' 2.6 ב' האצה הצורנית הכנתונית *Diatoma vulgare* החיה במים מתוקים. תמונת מיקרוסקופ אלקטרוני סורק מתוך למינה כהה בתצורת הלשון ליד אום שורט. אורך הקו בצד התמונה הוא 0.01 מילימטר. (מתוך בגין ואח', 1974).

ככלל, צורניות המים המתוקים מצויות רק בלמינות הכהות של תצורת הלשון ואילו הצורניות האירוהליניות מצויות גם בלמינות הארגוניט וגם בלמינות החרסית הכהות. בשכבות עבות יחסית של חול וחרסית אין מוצאים בד"כ אצות צורניות, וכך מתמעט מספרן של הצורניות האירוהליניות סנטימטרים אחדים מתחת לשכבות של גבס.

אצות כחוליות-ירוקיות

מושבות מאובנות של אצות כחוליות-ירוקיות (סטרומטוליטים) נמצאו בתצורת הלשון בין איזור סדום לבין איזור גלגל, בגבהים שבין 370- ל-180- מ'; מושבות אלה שגודלן עשרות ס"מ עד מטרים אחדים מאופיינות במבנה מיקרוסקופי ספרוליטי, בהרכב ארגוניטי שלעתיים מוחלף, חלקו או כולו, לקלציט ובמבנה שכבתי חיצוני הדומה לכרוב (איור 2.7). רב ידיעותינו על מאובנים אלה בתצורת הלשון ומשמעותם מבוססות על עבודותיו המפורטות של בנימין בוכבינדר מן המכון הגיאולוגי.



איור מס' 2.7 מושבות קטנות (סטרומטוליטים) של אצות כחוליות-ירוקיות בתצורת הלשון צפונית ליריחו בגובה 240- מ'. (צולם ע"י ב. בוכבינדר, המכון הגיאולוגי).

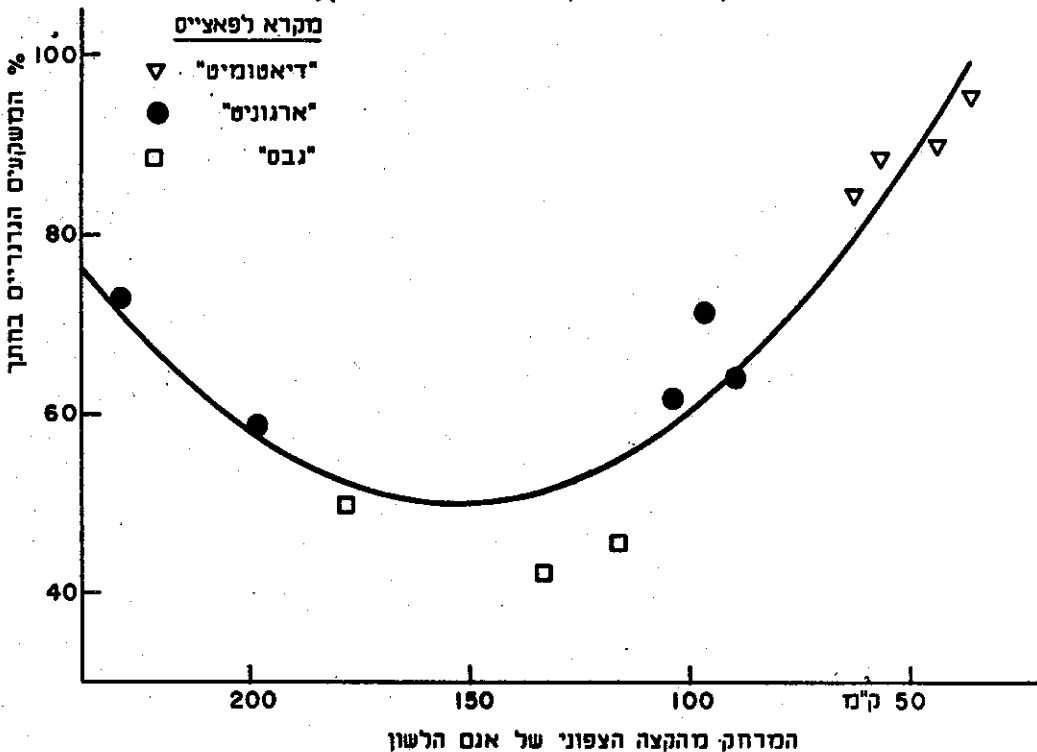
מכיון שאצות אלה ידועות כמטמיעות הרי שהגורם המגביל העיקרי לחיותן הוא חדירת אור הדרוש לפוטוסינתזה. מכאן ניתן להקיש שהמושבות נוצרו במי אגם רדודים והנחה זו נתמכת גם ע"י השוואה לאגמים אחרים בעולם. מכאן חשיבותם של מבני האצות כמצינים בקירוב את מפלס מי האגם. מציאותם בטווח גבהים של כ-200 מ' מצביעה איפה על תנודות חריפות בגובה פני האגם. כאשר ניתן לקבוע את הגיל של מושבות האצות בגבהים שונים ניתן גם לשרטט עקומה המתארת את השינויים בגובה פני האגם עם הזמן.

מאובנים אחרים

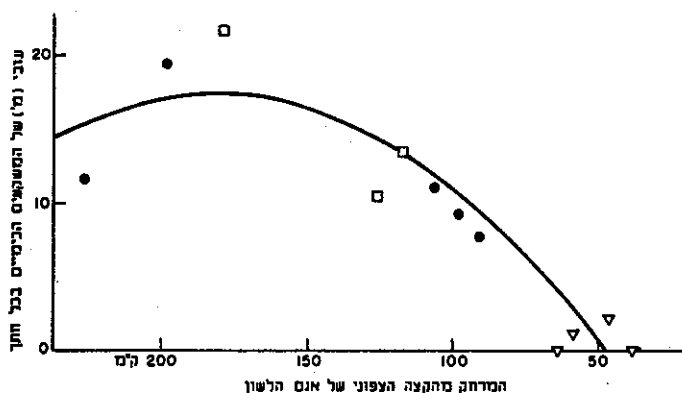
בחלקו הצפוני של אגם הלשון באיזור בית שאן, נמצאו בפרט הלמינרי שכלולים מן הסוג שחרור *Melanopsis* החי במים מתוקים. בפרט ה"למינרי" נחל פרצים נמצאו לפני שנים אחדות ע"י מנחם ראב מן המכון הגיאולוגי שני מאובנים של הדג נאוית *Aphanius sp.* דג זה הנו אירוהליני ומינים השייכים לאותו סוג חיים היום סמוך למעינות לאורך חופי הים המלח (ראה מאמרו של איתן צ'רנוב בקובץ זה). אמנון רוזנפלד מן המכון הגיאולוגי מצא בתצורת הלשון מאובנים אחדים של טרטנים זעירים (אוסטרקודים) וביניהם: *Condona, Cyprideis torosa* ו- *Ilyocypris*.

מגמות במרחב ובזמן

כאשר בודקים את משקעי אגם הלשון על שני פרטיו מוצאים מגמות ברורות: בצפון, בין הכנרת לבית שאן, האגם היה צר יחסית. רב החתך בנוי גרגרים שהובלו מן ההרים שמסביב לאגם והורבדו בתוכו. חלק קטן של החתך בנוי משקעים כימיים של ארגוניט, והגבס נעדר. שכבות אחדות הבנויות כמעט כולן אצות צורניות (סלע הקרוי דיאטומיט) מאפיינות את תצורת הלשון באזור זה (פאציס ה"דיאטומיט").



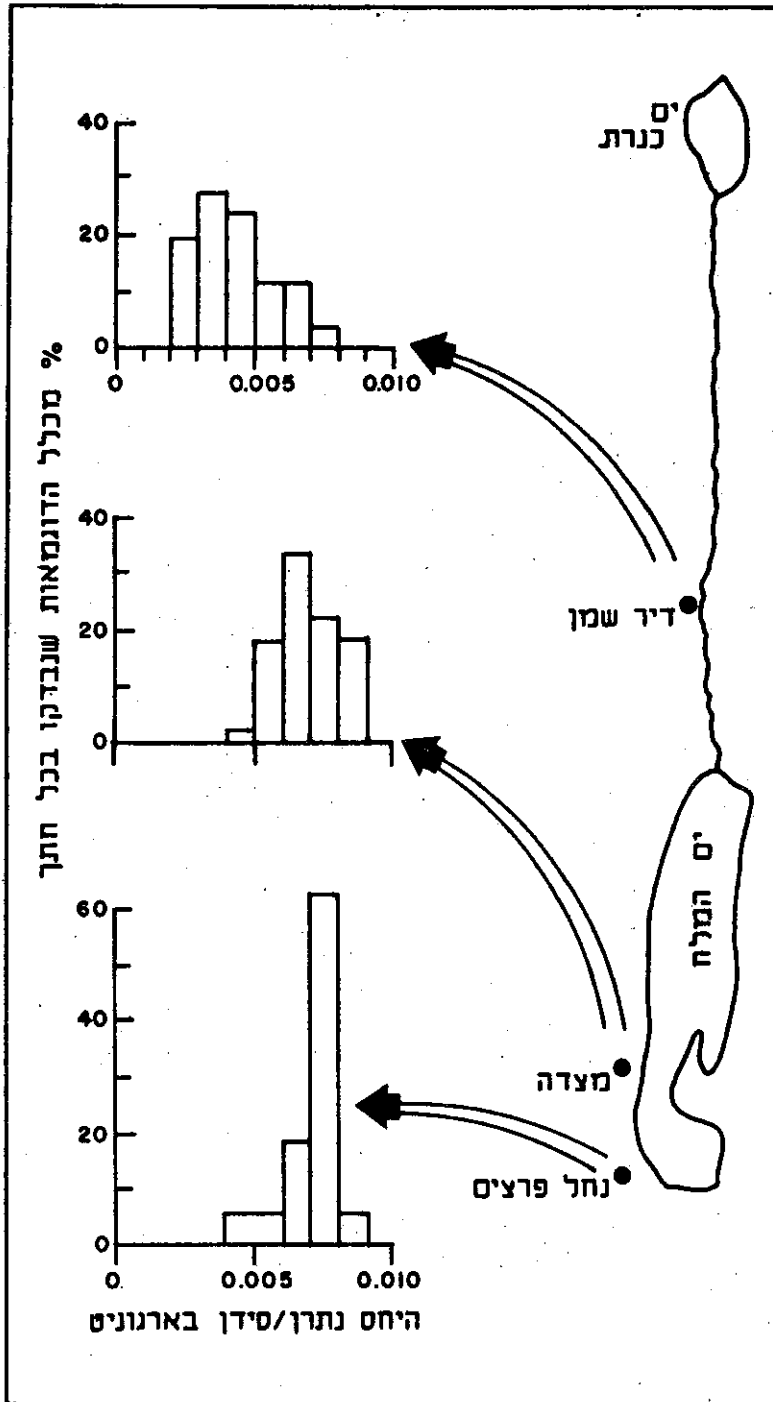
איור מס' 2.8 אחוז המשקעים הגרגריים מתוך כלל השכבות בחתכים בתצורת הלשון לאורך קו המרכז של האגם. בולטת הירידה באחוז המשקעים הגרגריים מצפון לכוון ים המלח ועליה דרומית לים המלח. (מעובד עפ"י בגין ואח', 1980).



איור מס' 2.9 עובי (מ') של המשקעים הכימיים הבנויים בעיקר גבס וארגוניט בחתכים בתצורת הלשון לאורך קו המרכז של אגם הלשון. העובי גדל מצפון לעבר ים המלח וניכרת הפחתה קלה דרומית לים המלח. (מעובד עפ"י בגין ואח', 1980).

ככל שמדרימים משתנה אופי התצורה, מתמעטות באופן יחסי השכבות הבנויות גרגרים שמקורם מחוץ לאגם ומתרבות שכבות הבנויות משקעים כימיים-ארגוניט וגבס (איורים 2.8 ו-2.9). דרומית לדמיה כבר אין מוצאים שכבות של דיאטומיט, אם כי האצות הצורניות מהוות מרכיב חשוב בלמינות הארגוניט (פאציס ה"ארגוניט"). בין גשר אלנבי לבין איזור מצדה מתרבים המשקעים הכימיים ומופיעות יותר שכבות גבס (פאציס ה"ארגוניט"). בין גשר אלנבי לבין איזור מצדה מתרבים המשקעים הכימיים ומופיעות יותר שכבות גבס ("פאציס הגבס"). באזור זה האצות הצורניות נפוצות פחות, הן מופיעות בפרט הלמינרי בלבד ורוכזן דווקא בלמינות הכהות. דרומה יותר, באיזור נחל אמציהו, שוב מופיע חתך האופייני לפאציס ה"ארגוניט". אמיתי כץ יהושע קולודני מהאוניברסיטה העברית ואריה ניסנבאום ממכון ויצמן שבדקו את ההרכב הכימי המדוקדק של מינרל הארגוניט בלמינות הבהירות, מצאו מגמה של הגדלת היחס בין תכולת הנתרן לסידן בגבישי ארגוניט בין דיר שמן דרומה לנחל פרצים (איור 2.10).

אם בודקים באופן כללי את השתנות החתך מלמטה כלפי מעלה (כלומר בודקים את השינויים במשקעים עם הזמן מעתיק לצעיר) ניתן לראות גם כן מגמות ברורות. בחלק התחתון של החתך מוצאים בדרך כלל יותר שכבות של חול וחרסית שמקורן מחוץ לאגם, וככל שעולים לשכבות צעירות יותר (וביחוד בפרט "המצוק הלבן") מוצאים יותר שכבות הבנויות משקעים כימיים של ארגוניט, ובגג היחידה אף גבס. כמו כן מוצאים שהיחס בין תכולת הסטרונציום לסידן בגבישי הארגוניט יורד והולך בהתמדה בין כסיס החתך לגגו. מבחינת נוכחות הצורניות ניתן להבחין באיזור "פאציס הגבס" ככך שהן מתמעטות ככל שעולים בחתך עד אשר בפרט ה"מצוק הלבן" אין אצות צורניות כלל (איור 2.4).



איור מס' 2.10 היחס בין תכולת נתרן לסידן בגבישי ארגוניט בשלושה חתכים בתצורת הלשון. ניכרת הגדלת היחס הזה ככל שמדרימים. (מעובד עפ"י כץ ואח' 1977).

טבלה מספר 2.1
מגמות במרחב של תצורת הלשון

התכונה	פציאס "דיאטומיט"	פאציס "ארגוניט"	פאציס "גבס"
1. עובי המשקעים הכימיים	קטן מ-5 מ'	20-5 מ'	15-25 מ'
2. % המשקעים הגרגריים מחוץ העובי הכללי של החתך	גדול מ-80%	80%-60%	פחות מ-60%
3. מציאות שכבות גבס	מעטות מאד	מעטות מאד	נפוצות
4. מציאות תרכיזי גפרית	אין	אין	נפוצים למדי
5. מציאות שכבות דיאטומיט	מופיעות שכבות אחדות	מעטות מאד	אין
6. מציאות שכבות נושאיות אצות צורניות	נפוצות מאד	נפוצות	מעטות
7. מיקומו של טווח האצה הצורנית <i>Rhopalodia gibberula</i>	בשכבות המקבילות לפרט ה"מצוק הלבן"	בפרט ה"מצוק הלבן"	בפרט ה"למינרי"
8. הפוצתן של אצות אירוהלינות	בכל החתך	בעיקר בלמינות הארגוניט	בעיקר בלמינות החרסית
9. היחס השכיח בין נחרן לסיזון בארגוניט	לא נבדק	0.004-0.005	0.006-0.008

שיחזור תנאי ההשקעה של תצורת הלשון

הנתונים העיקריים על תצורת הלשון כפי שהובאו לעיל מאפשרים שיחזור מפורט למדי של התנאים ששררו באגם הלשון בעת השקעת תצורת הלשון, כלומר בין כ-70,000 שנים לבין 15,000 שנה לפני ההווה.

התכונה האופיינית ביותר לתצורת הלשון הם החילופים של למינות כהות ובהירות לסירוגין המבטאות חילופי עונות לחות ויבשות. בעונה הלחה מובילים הנחלים מים אל האגם ונוצרת כנראה שכבה דקה של מים מתוקים הצפה על המים המלוחים והכבדים יותר. בשכבת המים העליונה מצויים גרגרי חרסית דקים שנסחפו ע"י הנחלים, ומתפתחת בה אוכלוסית האצות הצורניות של מים מתוקים. לאחר מכן שוקעים גרגרי החרסית ושלדי האצות הצורניות לקרקעית האגם ומתערבבים שם באוכלוסית האצות הבנתוניות האירוהליניות. כך נוצרת למינה כהה שבה יש ריבוי יחסי של צורניות המים המתוקים, אולם עדיין שליטים המינים הבנתוניים האירוהליניים.

עם המעבר לעונה היבשה מתאדה שכבת המים העליונה ומליחותם גדלה, ועם הגדלת המליחות עקב ההתאיידות נוצרים גבישי ארגוניט לכנים. עם גבור המליחות בדרום האגם נוצרים גם גבישים של גבס. גבישי הארגוניט והגבס שוקעים לקרקעית האגם, מתערבבים שם באוכלוסית האצות הבנתוניות האירוהליניות, וכך נוצרת למינה בהירה (איור 2.5).

המגמה של ריבוי משקעים כימיים כלפי דרום וריבוי משקעים גרגריים כלפי צפון מצביעה על כך שבעת קיום אגם הלשון, כמו גם בימינו, התרומה העקרית של מים מתוקים לאגם באה מצפון. גם אופי המשקעים הכימיים מרמז בכיוון זה. היות שגבס נוצר בתנאי מליחות גבוהים מאלה שבהם נוצר ארגוניט הרי שריבוי שכבות הגבס בדרום האגם מצביע על מליחות גבוהה יותר שם.

על מליחות רבה יותר בפאציס ה"גבס" מעידה גם תפוצתן של אצות צורניות אירוהליני אירוהליניות. באיזור פאציס ה"ארגוניט" הן מופיעות בעיקר בלמינות ארגוניט, כלומר שמליחות המים בעת יצירת הארגוניט היתה בגבול סכילותם. עפ"י הידוע, הגבול העליון של מליחות המאפשר חיותן של אצות אלה הוא כ-20% (טבלה 2.2). לעומת זאת בפאציס ה"גבס" אין כמעט אצות צורניות בלמינות הארגוניט (המליחות היתה גבוהה מדי כאן) ולעומת זאת הן מצויות בלמינות הכהות שמקורן ערכוב המים המלוחים של האגם עם מי נחלים שהגיעו בעונה הלחה. גם המגמה של עליה ביחס של תכולת נתרן לסידן בגבישי הארגוניט מדייר שמן דרומה מעידה על מקור צפוני למים, וזאת מכיון שהיחס נתרן לסידן בארגוניט עולה עם העליה במליחות המים מהם שוקע הארגוניט.

העובדה שבקצה הדרומי של האגם, מדרום למצדה, מצוי דווקא פאציס ה"ארגוניט" ולא פאציס ה"גבס", המצליח מליחות גבוהה יותר, הנה מפתיעה במבט ראשון. ההסבר האפשרי לכך הוא שאגן הניקוז ממנו הובלו מים לקצה הדרומי של האגם הוא בעל שטח גדול מאד, כך שגם אם כמות הגשם בדרום קטנה מזו שבצפון הרי השטח הגדול תרם בסך הכל נפח גדול של מים מתוקים לאגם הלשון בדרומו (ראה איור 2.3). לכן כאן דומה החתך במידה רבה לחתכים שבין עמק בית שאן לבין גשר אלנבי.

הערכת המליחות

מליחות אגם הלשון ניתנת להערכה הן על פי ההרכב הכימי של המינרלים שהתגבשו ממי האגם והן על פי המאובנים שנמצאו בתצורת הלשון.

עצם העובדה שמפחמת הסידן במי האגם התגבש המינרל ארגוניט (ולא המינרל קלציט) מעידה על כך שהמים לא היו מתוקים. התגבשות הגבס מעידה גם היא על מליחות מים רבה יחסית. היחס בין תכולת הנתרן לסידן הארגוניט בתצורת הלשון דרומית לדיר שמן נבדק ע"י כץ, קולודני וניסנבאום (1977). יחס זה תלוי במליחות המים ממנו שקע הארגוניט ועפ"י חוקרים אלה מליחות שכבת המים העליונה בזמן התגבשות הארגוניט היתה 7% עד 17%. (לשם השוואה, 'מליחות ים המלח היום היא כ-31% ומליחות הים התיכון היא כ-4%). אותם חוקרים בדקו גם את היחס בין תכולת הסטרונציום לסידן בארגוניט של תצורת הלשון ומצאו שבכטיס התצורה היחס דומה לזה הקיים היום בים המלח (0.01), והוא פוחת והולך עד כדי מחציתו בגג התצורה.

השוואת מבני האצות הכחוליות ירוקיות (הסטרומטוליטים) לאצות דומות תחיות כיום מעידה על מליחות גבוהה בדרום האגם. באגם המלח הגדול במדינת יוטה בארה"ב הן חיות במליחות של 19%-28%.

מושג טוב למדי על השינויים במליחות, בזמן ובמרחב, של אגם הלשון מקבלים ע"י השוואת אוכלוסית האצות הצורניות הכנתוניות שנמצאה בתצורת הלשון לזו של סביבות השקעה של ימינו. אליון ארליך מן המכון הגיאולוגי בדקה את הקשר בין תפוצת אצות צורניות בנתוניות לבין מליחות המים בסבחת "גביש" אשר לחופי מפרץ אילת. בטבלה מס' 2.2 מוצגים אותם מינים בנתוניים-אירוהליניים אשר נמצאו הן בסבחת "גביש" והן בתצורת הלשון. מסתבר שלמרות שלאצות צורניות אלה יש אפשרות הסתגלות לטווח מליחות רחב, מינים אחדים מעדיפים מליחות נמוכה יותר מאחרים. עפ"י השוואה כזאת ניתן להסיק כי שכבות הדיאטומיט באיזור בית שאן הורבדו כנראה במים שמליחותם נמוכה מ-8%. מציאותן של אצות צורניות של מים מתוקים יחד עם צורניות אוריהליניות מצביעה כאמור על כך שלעתים קרובות רבתה תרומת מים מתוקים מנחלים. העלמותן של אצות צורניות אוריהליניות (בדרום האגם) סנטימטרים אחדים מתחת לשכבות גבס מעידה על כך שהגבס שקע כנראה במליחות העולה על כ-20%, שהוא הגבול העליון לחיותן של האצות הצורניות.

המין	תחום המליחות (%)				
	5.0-7.0	9.0-13.5	15.0-17.5	18.0-20.5	25.0-33.0
<i>Rhopalodia gibberula</i>	▨				
<i>Mastogloia</i> spp.	▨				
<i>Achnanthes brevipes</i>	▨				
<i>Amphora holsatica</i>	▨				
<i>Cocconeis placentula</i> var.	▨	▨			
<i>Nitzschia</i> aff. <i>lanceolata</i>	▨	▨	▨		
<i>Nitzschia sigma</i>	▨	▨	▨	▨ ?	
<i>Nitzschia frustulum</i> var.	▨	▨	▨	▨	
<i>Amphora coffeaeformis</i>	▨	▨	▨	▨	
<i>Navicula</i> spp.	▨	▨	▨	▨	
<i>Nitzschia lembiformis</i>	▨	▨	▨	▨	

טבלה מס' 2.2

תפוצת אצות צורניות כנתונות כתנאי מליחות שונים בסבחת "גביש" במפרץ אילת. בטבלה כלולים רק המינים שזוהו גם בתצורת הלשון. התחום המינימלי של מליחות שנמצא בעבודה זו הוא 5%. הטבלה מעובדת עפ"י ארליך ודור, 1985.

הערכת עומק המים

הגובה המירבי של מפלס אגם הלשון היה כ-180 מ', ואנו מניחים שמאז התיבשות האגם לפני כ-15,000 שנה לא השתפלה קרקעיתו אלא במטרים אחדים (קצב השתפלותו של בקע ים המלח אינו עולה על כ-1 מ"מ לשנה). גובה קרקעית אגם הלשון, כפי שאנו רואים אותה היום, הוא בין 200- מ' בערך באיזור הכנרת לבין 400- מ' בערך באיזור ים המלח. כמו כן יש להניח שהאגן הצפוני, העמוק, של ים המלח נוצר לפני אגם הלשון וגובה קרקעיתו 730- מ'. לכן העומק המירבי של האגם, בתקופות שעמד בשיא המפלס, היה כנראה 550 מ' באיזור ים המלח. גם העדרן של אצות צורניות בנתונות בפרט ה"מצוק הלבן" באזור ים המלח עשוי להעיד על עומק המים רב יותר באיזור זה. כאמור מאופיין פרט זה מצפון לים המלח ע"י אוכלוסית צורניות המציינת מים פחות מלוחים מאשר הפרט "הלמינרי", כך שהגורם שמנע מהן להתפתח באיזור ים המלח היה כנראה עומק המים הרב יחסית.

מצד שני, ריבויין של אצות צורניות בנתונות בשכבות מסוימות מצביע על כך שלפחות בתקופת היווצרון האגם היה רדוד בחלק ניכר ממנו. כאמור, מבני הגיר של האצות הכחוליות-ירוקיות הורבדו אף הם במים רדודים בשולי האגם. קביעת גילם מאפשרת שיחזור השינויים במפלס האגם וממנו מתברר (בתוצאות ראשוניות) שמאז 35,000 שנה לפני ההווה, בערך, היו שלוש תקופות בהן מפלס האגם היה נמוך מ-370 מ'. לכן איזורים גבוהים מכך (רוב אגם הלשון) היו בתקופות ארוכות רדודים או אף יבשים. רמז נוסף לכך מוצאים באי התאמה אירוזיכית ושירידי צמחים במרכז האגם באיזור דיר שמן, ויתכן שגם גבישי הדולומיט שנמצאו באיזור זה מצביעים על השקעתם במים רדודים. בבסיס פרט ה"מצוק הלבן" במצדה נמצא שינוי חריף ביחס היסודות סטרונציום לסידן במינרל הארגוניט בלמינות הבהירות, המעיד על ירידה במפלס האגם.

התפתחות האגם בזמן

התפוצה המרחבית של הסלעים והמאובנים בתצורת הלשון מעידה איפה על מקורות המים העקריים של אגם הלשון, וניתן להשתמש במודל זה כדי לנסות ולהבין גם את ההתפתחות של האגם עם הזמן. השכבות הבנויות גרגרים שמקורם סחף נחלים ומרצפות את בקעת הירדן לכל ארכה מתחת לתצורת הלשון מעידות על השלב של מילוי האגם ע"י מים מתוקים שזרמו אליו ונשאו אתם חלוקים, חול וחרסית. ככל שעולים בחתך לשכבות צעירות יותר פוחתת כמות הסלעים הגרגריים ומתרבים באופן יחסי המשקעים הכימיים. העובדה שבפרט המצוק "הלבן" מוצאים רצף של למינות ארגוניט ללא למינות חרסית ביניהן מעידה שהתמעטה כמות המים המתוקים שהגיעו לאגם.

נראה שבראשיתו היה אגם הלשון מלוח מאד (קרוב למליחות ים המלח) ומימיו הם תוצר של מיהול מי נחלים מתוקים באגם מלוח מאד שקדם לאגם הלשון והיה מוגבל כנראה לאגן הצפוני, העמוק, של ים המלח. עם הזמן הלכו מי האגם ונעשו פחות מלוחים עקב תרומת מי הנחלים. על כך מעידים הן הירידה ביחס בין תכולת הסטרונציום לסידן בארגוניט והן מאסף האצות הצורניות הכנתוניות הארוהליניות: מהשוואת מיני האצות בחלקים השונים של החתך (טווח L ו-R באיור 2.4) לתפוצת המינים בסבחת "גביש" (טבלה מס' 2.2) עולה כי לחלק העליון של החתך אופייניים מיני אצות צורניות המעדיפים מים פחות מלוחים.

מפלס אגם הלשון עלה וירר פעמים אחדות, בטווח השנתות של 200 מ' לפחות, ולכן יש להניח שחלקים ניכרים ממנו היו רדודים מאד או אף התיבשו לתקופות ארוכות של מאות או אלפי שנים. תפוצת תצורת הלשון מעידה על כך שבזמן שלאגם הגיעו כמויות קטנות יחסית של מי נחלים (בזמן השקעת פרט ה"מצוק הלבן") הוא הגיע לאחד משיאי התפשטותו והיה גדול בשטחו בערך פי שלושה משטח ים המלח כיום. את הסתירה הזאת ניתן לישב אם מניחים שעם התמעטות מי הנחלים פחתה גם ההתאידות מן האגם. דבר זה מבטא את ירידת הטמפרטורה השנתית הממוצעת כאזור במעלות צלזיוס אחדות, לפני כ-20,000 שנה, באותה תקופה שבה שררה באירופה תקופת הקרח האחרונה.

עם ההתחממות שהחלה באזורנו לפני כ-14,000 שנה התאדו מי אגם הלשון במהירות ומפלס האגם ירד מאד. עדות לירידת המפלס מוצאים בסדרת המדרגות היורדות ממצוק ההעתקים לעבר ים המלח באיזור עין גדי. דן באומן מן האוניברסיטה העברית מצא שהמדרגות מעידות על כך שהירידה לא היתה מתמדת אלא לוותה מדי פעם בעליה קלה של מפלס האגם. המפלס הנוכחי של ים המלח, שהוא שריד של אגם הלשון, מתקיים כבר מאז כ-10,000 שנה לפני ההווה בשינויים לא גדולים.

סכום המשמעות האקלימית

- מתוך הנתונים והמסקנות שהובאו לעיל ניתן להצביע על המשמעות האקלימית של אגם הלשון לגבי התקופה שבין 15,000-70,000 שנה לפני ההווה:
- (1) התקיימה מחזוריות שנתית של עונה לחה ועונה יבשה.
 - (2) כמות הגשם בצפון היתה רבה מכמותו בדרום.
 - (3) כמות הנגר העילי שהגיע לאגם פחתה והלכה עם הזמן.
 - (4) הטמפרטורה הנמוכה ביותר היתה לפני כ-15,000 שנה ואח"כ עלתה שוב.
 - (5) תנודות אקלימיות בטמפרטורה ובכמות הגשם גרמו לשינויי מפלס חריפים בקצב של כ-200 מ' בכ-2000 שנה.
 - (6) תנודות אקלים אלה קרו כמעט בעת ובעונה אחת עם תנודות אקלים דומות בארה"ב באותו קו רוחב.

הבעת תודה

אני מודה לד"ר א. ארליך, ד"ר ב. בוכבינדר וד"ר ע. ביינ מן המכון הגיאולוגי על הערותיהם המועילות לכתב-היד. תודה לו. אליה על ההדפסה ולס. לוי על השרטוטים.

מקורות

- Begin, Z.B., Ehrlich, A. and Nathan, Y. 1974. Lake Lisan, The Pleistocene precursor of the Dead Sea: Geological Survey of Israel, Bulletin 63, 30 pp.
- Begin, Z.B., Nathan, Y., and Ehrlich, A., 1980, Stratigraphy and facies distribution in the Lisan Formation - new evidence from the area south of the Dead Sea: Israel Journal of Earth Sciences, v. 29, p. 182-189.
- Bowman, D., 1971, Geomorphology of the shore terraces of the Late Pleistocene Lisan Lake, Israel: Paleogeography, Paleoecology, Paleocology, v. 9. p. 183-209.
- Buchbinder, B., 1981, Morphology, microfabric and origin of stromatolites of the Pleistocene precursor of the Dead Sea, Israel: in: Monty, C., (Editor), Phanerozoic Stromatolites, Springer Verlag, p. 181-196.
- Buchbinder, B., Begin, Z.B., and Friedman, G.M., 1974, Pleistocene algal tufa of Lake Lisan, Dead Sea area, Israel: Israel Journal of Earth Sciences, v. 23, p. 131-138.
- Ehrlich, A and Dor, I., 1985, Photosynthetic microorganisms of the Gavish Sabkha: in Friedman, G.M. and Krumbein, W.E (eds): Ecological Studies, Vol. 53: Hypersaline Ecosystems, Springer-Verlag, p. 296-321.
- Katz, A.; Kolodny, Y., and Nissenbaum, A., 1977, The geochemical evolution of the Pleistocene Lake Lisan - Dead Sea System: Geochimica et Cosmochimica Acta. v. 41. p. 1609-1626.
- Neev, D. and Emery, K.O., 1977, The Dead Sea, depositional processes and environments of evaporites: Geological Survey of Israel, Bull 41, 147 pp.
- Sneh, A., 1979, Late Pleistocene fan-deltas along the Dead Sea Rift: Journal of Sedimentary Petrology, v. 49, p. 541-552.