

שינויים אקלימיים באגן ים המלח והתפתחות תרבות האדם בישראל ובסביבותיה ברביעון המאוחר

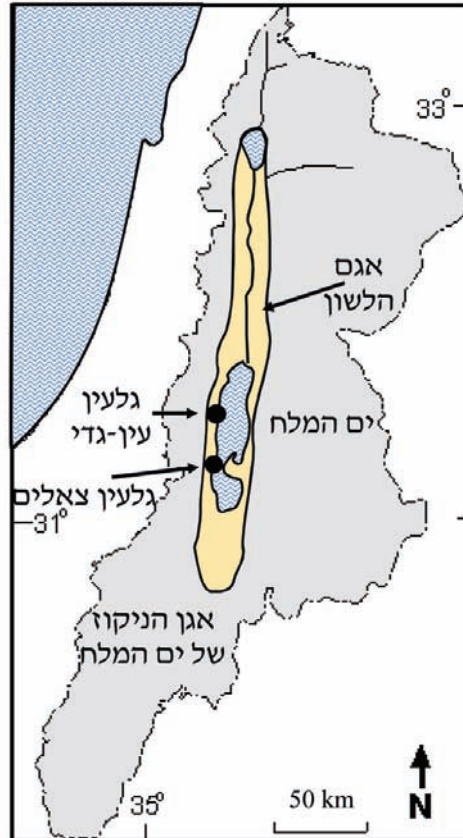
מרדכי שטיין

הקדמה

ים המלח, המצוי כיום (2006) במפלס של כ-418 מטר מתחת לפני הים (להלן: מפני הים) הינו אגם מלוח שאליו מתנקזת אחת המערכות ההידרולוגיות הרחבות במזרח התיכון (Neev and Emery, 1967; איור 1). פני השטח של ים המלח מקבלים מעט מאוד משקעים בשנה, ולפיכך מפלסיו מגיבים בראש ובראשונה לשינויים במשטר הגשמים באגן הניקוז: נהר הירדן (למשל, המערכת ההידרולוגית של הר חרמון) ומי השיטפונות הזורמים אל האגן משוליו המורמים. מקורות מים אלה מושפעים כיום, וכנראה במשך אלפי ועשרות אלפי השנים האחרונות, ממערכות האקלים הים תיכוניות, המאופיינות בחורפים גשומים ובקיצים שחונים. מרבית סופות החורף מקורן באוקיינוס האטלנטי ובאזור הקוטב, כאשר הים התיכון החם יחסית משמש מקור לחות. אגן ים המלח ממוקם באזור המעבר שבין רצועת האקלים המדברי (סהרה-ערב) ובין אזור האקלים הים תיכוני הממוזג. מיקומו והיותו אגם חסר מוצא (לכן הוא מכונה אגם טרמינלי) הופכים אותו למעין 'מד גשם' ענק המשקף במפלסיו, בהרכבו הכימי ובסדימנטים ששקעו ממנו את השינויים במערכות הגשם האזוריות. נוסף על כך אגן ים המלח הוא אחד השקעים הטקטוניים שנוצרו לאורכה של מערכת הבקעים הסורית-אפריקנית (הכוללת בין השאר את הים האדום ואת

* מרדכי שטיין הוא חוקר במכון הגאולוגי, ירושלים.

העתק הטרנספורם לאורך מפרץ אילת, בקע ים המלח-בקעת הירדן ובקעת הלבנון), מערכת אשר שימשה אחד מנתיבי התנועה של האדם הפרה-היסטורי ביציאתו מאפריקה וכאזור התפתחות חשוב של תרבות האדם.



איור 1: אגן הניקוז של ים המלח

ים המלח הוא גוף מים טרמינלי (כלומר חסר ניקוז חיצוני ומאבד את מימיו בעיקר בהתאדות), שמפלסיו רגישים לשינויים במערכת ההידרולוגית בכלל אגן הניקוז: גשמים, שיטפונות ונביעת מעיינות. לכן אפשר לראות במפלס האגם מעין 'מד גשם' אזורי. ים המלח ההולוקני והמודרני הוא גוף מים שאריתי (המורכב מתמלחת) שמקורו בגופי מים שונים אשר התקיימו באזור אגן ים המלח-בקעת הירדן במשך הרביעון, כגון אגם הלשון שהתקיים באזור בתקופת הקרח האחרונה. בשיא התפשטותו השתרע אגם הלשון מהכנרת בצפון ועד חצבה בדרום. האיור מציג גם את מיקומם של קידוחי עין גדי וצאלים שמהם נלקחו חלק מהנתונים במאמר זה.

השילוב בין השימוש בתכונות גופי המים והסדימנטים הממלאים את אגן ים המלח כמוודדי אקלים אזורי (בעיקר גשם) והידע הארכאולוגי על תרבות האדם, מאפשר לבחון את הקשר בין התפתחות תרבות האדם וההיסטוריה האקלימית של האזור (Neev and Emery, 1995). התנאי ההכרחי לביצוע השוואה מעין זו הוא ביסוס לוח זמנים מדויק ברזולוציה גבוהה של האירועים האקלימיים מחד גיסא והתרבותיים-אנושיים מאידך גיסא. הגאולוגים החוקרים את התפתחות גופי המים והאקלים האזורי משתמשים בשיטות תיארוך איזוטופיות, ובעיקר בשיטת הפחמן-14 (ראו הרחבה על שיטת פחמן-14 במאמרו של יובל ברטוב, 2005).

בסעיפים הבאים אסכם את המחקרים השונים שביססו לוח זמנים ברזולוציית זמן גבוהה של ההיסטוריה האגמית של ים המלח ב-15,000 השנים האחרונות. פרק זמן זה מתאר את שלהי קיומו של אגם גדול, אגם הלשון (Lake Lisan), שהתקיים בתקופת הקרח האחרונה – לפני 14,000-70,000 שנה – באגן ים המלח-בקעת הירדן, את נסיגתו הדרמטית של האגם באלף ה-14 לפני ימינו, את עלייתו מחדש במעבר להולוקן (כינויה של תקופת הזמן הגאולוגית המשתרעת על עשרת אלפי השנים האחרונות) ואת השינויים שחלו בו במהלך תקופה זאת. פרק הזמן הנידון מלווה בשינויים גדולים בהתיישבות ובתרבות האדם, הכוללים את המעבר מהתרבות האפיפלאוליתית הגאומטרית-קברית לתרבות הנטופית ולתרבות הנאוליטית הקדם-קרמית (PPN), ואת צמיחת התרבויות החקלאיות של ההולוקן המוקדם. המאמר ינסה לבדוק את הקשר בין שינויי האקלים שנרשמו ברקורד הסדימנטרי של ים המלח לבין ההתפתחויות התרבותיות באזור ישראל. אולם יש לזכור כי התפתחות תרבות האדם משקפת גורמים נוספים על האקלים האזורי, ובהם שינויים תרבותיים ופוליטיים באזורים מרוחקים. השפעתם של גורמים כאלה נעשתה משמעותית יותר ככל שתרבות האדם השתכללה במהלך ההולוקן.

אגמי ים המלח כארכיבים פלאו-הידרולוגיים

במהלך תקופת הרביעון (איור 2) מילאו כמה אגמים את השקעים הטקטוניים שלאורך העתק הטרנספורם של ים המלח. התמיסות שמילאו אגמים אלה נבעו

משני מקורות עיקריים: 1. תמלחות סידניות-כלורידיות שהתפתחו ממי לגונת סדום הקדומה (כנראה מתקופת הפליוקן); 2. מי נהרות ושיטפונות מאזור אגן הניקוז של אגן ים המלח, המהווים את מרבית התרומה של מים מתוקים לאגמים (סטרינסקי, 2005; Gavrieli and Stein, 2006). התרומה היחסית של כל אחד ממקורות מים אלה לאגמים השתנתה במהלך הזמן בהתאם לתנאים האקלימיים-ההידרולוגיים ששררו באזור, תנאים שהוכתבו על ידי שינויי אקלים עולמיים. השינויים בהרכב מי האגמים מצאו ביטוי בטיפוס הסדימנטים ששקעו מהם ובהרכבם. למשל, אגם הלשון השקיע בעיקר רצפים של סדימנטים משוכבים דק, המורכבים מחומר סחף דק המובל לאגם על ידי השיטפונות ומקלציום (סידן) קרבונט (CaCO_3) בצורת המינרל ארגוניט, השוקע מתמיסת אגם מלוחה. באותו זמן התקיים בכנרת אגם מתוק (בדומה לימינו) אשר השקיע קלציום קרבונט בצורת המינרל קלציט. הסיבה להשקעת המינרל הקרבונטי השונה בשני האגמים היא השיעור הגבוה של המגנזיום ביחס לקלציום (Mg/Ca) באגם הלשון עקב תרומת התמלחת.

השינויים בהרכבים הכימיים של האגמים ובאופן פעילות התמלחות מלווים את השינויים במפלס האגם. מפלסיו הגבוהים של אגם הלשון היו מלווים בהשקעה רבה של ארגוניט כימי ובנביעה חזקה של התמלחות. תבנית התנהגות זו מעידה על כמות גשמים רבה באזור הרי יהודה היוצרת עומד הידראולי ומאפשרת 'דחיפת' תמלחות שחדרו בעבר אל אקוויפרי ההר בחזרה אל אגם הלשון. מפלסיו הנמוכים של האגם לוו בהשקעת חווארים קלציטיים כנראה בתקופות של מיעוט גשמים בהרי יהודה ובירידה בתרומת התמלחות. דווקא תקופות אלה אופיינו בשיטפונות עונתיים שסיפקו בייקרבונט לאגם והביאו להשקעת המינרל קלציט.

המעבר מאגם הלשון לים המלח ההולוקני

אגם הלשון הגיע לשיא גובהו (160-200 מטר מפני הים) והתפשטותו הגאוגרפית (מאגן הבטיחה שבצפון ועד אזור עידן שבדרום) בפרק הזמן שלפני 18,000-26,000 שנה (Bartov et al., 2003). בפרק זמן זה כיסו מסות קרח שטחי יבשה וים נרחבים בקווי הרוחב הצפוניים של כדור הארץ. בשלהי תקופה זו החלו

הקרחונים לסגת. לאחר כמה תנודות חריפות במפלס אגם הלשון (בפרק הזמן שלפני 14,000-17,000 שנה) נסוג האגם במהלך האלף ה-14 לפני ימינו וירד אל מתחת ל-500 ואולי 600 מטר מפני הים (איור 2). זוהי כנראה הנסיגה הגדולה ביותר של גוף מים שמילא את אגני בקע ים המלח במאות אלפי השנים האחרונות. במהלך נסיגה זו ירד האגם ביותר מ-300 מטר, ערך שיכול להיתרגם לקצב נפילה של עשרות סנטימטרים בשנה – ומתקרב לקצב הנסיגה הנוכחית של ים המלח (כמטר בשנה), הנובעת ברובה מהשפעות מעשי האדם (נטילת מי הירדן ומקורותיו לצורכי האוכלוסיות בישראל ירדן וסוריה ואידוי מי ים המלח ליצור אשלג). משמעות הנסיגה המהירה של אגם הלשון היא השתררות של תנאי יובש קיצוניים באגן הניקוז, שמנעו הן את פעילותם של מקורות המים המתוקים והן את זרימת התמלחות אל האגם. בסטרטיגרפיה העולמית ידועה התקופה שבה נפל אגם הלשון בשם 'אלרוד' (Allerød).

כעבור כמה מאות שנים חזרה המערכת ההידרולוגית (הגשמים האזוריים, הנחלים, המעיינות והשיטפונות) לפעילותה ומפלס האגם עלה. תקופת עלייתו של האגם ידועה בסטרטיגרפיה העולמית בשם Younger Dryas (YD), האלף ה-13 לפני ימינו). הייתה זו תקופה קרה מאוד בקווי הרוחב הצפוניים, המזכירה במובנים מסוימים תקופות קרח. באגן ים המלח שקעו בתקופת ה-YD סדימנטים שיטפוניים דטריטיים, ומצפון לים המלח, באזור ערבת ריחו ובקעת הירדן, במוצאם של הנחלים קלט ופצאל, הצטברו קרקעות אדומות מטיפוס טרה רוסה (תצורת פצאל), שקודם לכן בשלהי תקופת הקרח כיסו את תבליט במת ההר. נראה שתקופת היובש הקטסטרופלית לפני 14,000 שנה גרמה למות הצומח ולהתרופפות הקרקע, ועם בואם של שיטפונות תקופת ה-YD נסחפו הקרקעות לבקעות. להצטברות של קרקעות אלה יש חשיבות מרכזית בהתפתחות התרבות החקלאית באזור.

בסיום תקופת ה-YD, באלף ה-11-12 לפני ימינו, ירד ים המלח פעם נוספת והשקיע רצף עבה של מלחים. רצף מלחים זה בונה את תחתית החתך ההולוקני. המסתו של מלח זה בשנים האחרונות הוליכה כנראה להתפתחות הבולענים לאורך חופי ים המלח (ראו מאמרם של יחיאלי ואבלסון בחוברת זאת). האגם עלה שוב בתחילת ההולוקן ובמשך עשרת אלפי השנים הבאות התנווד בדרך כלל בין 370 ל-420 מטר מפני הים.

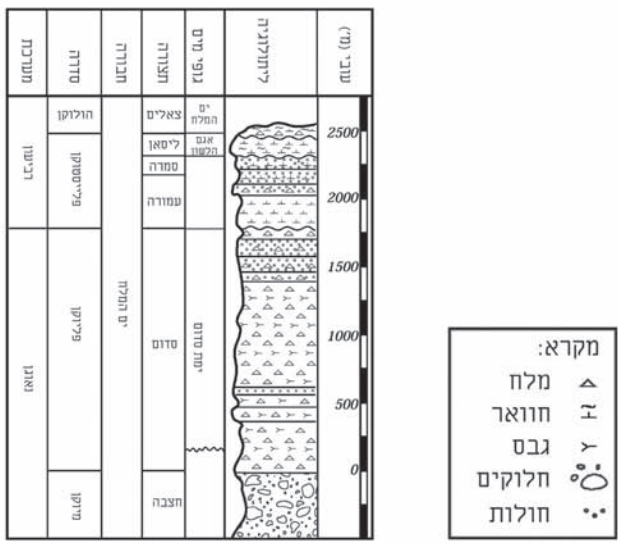
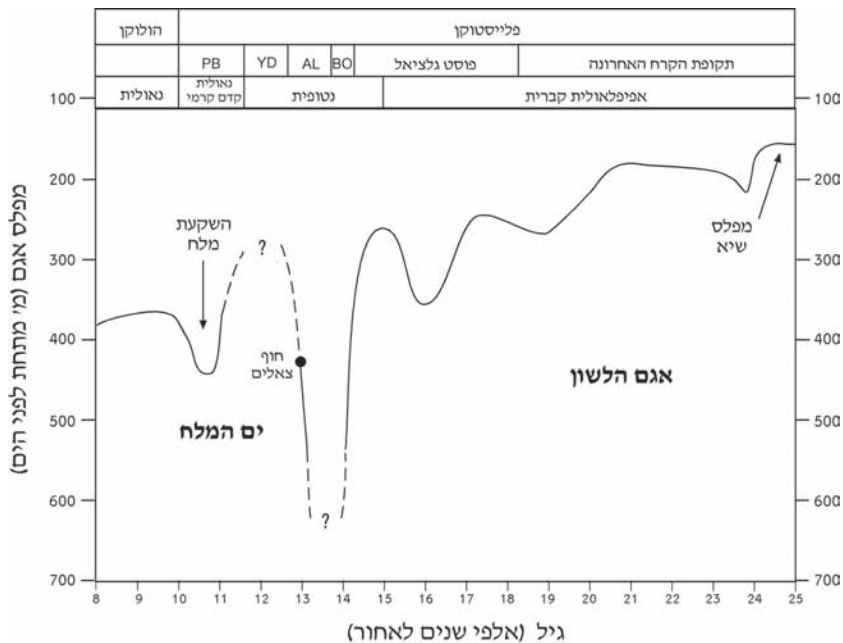
ים המלח ההולוקני

ים המלח המודרני (איור 1) מורכב משני תת-אגנים: האגן הצפוני העמוק (עומק המים המרבי בו הוא מעל 300 מטר) המלא בתמלחת, והאגן הדרומי הרדוד, התפוס כיום על ידי ברכות האידוי של מפעלי ים המלח. שני האגנים מופרדים בסיל (מעין סוללה) אשר גובהו כ־402-403 מטר מפני הים. הסיל הוא גורם המייצב את מפלס האגם. בתקופות גשומות, כאשר פני המים באגן הצפוני עלו אל מעל לסיל, הם נשפכו והציפו את האגן הדרומי, שטח האידוי גדל מאוד ועליית המים נבלמה. לכן, על מנת להעלות משמעותית את פני האגם מעל הסיל, דרושה הגברה משמעותית של כמויות המשקעים באגן הניקוז. לעומת זאת, בתקופות של יובש יורדים פני המים באגן הצפוני אל מתחת לסיל, שטח האידוי קטן וירידת המפלס נבלמת. בתקופות כאלה שוקע מלח מהתמלחת השאריתית באגן הדרומי ורצפים קלסטיים המובלים על ידי שיטפונות עונתיים בדידים מצטברים בשוליים הנחשפים של האגם.

אפשר להעריך את כמות המשקעים הדרושה להרמת מפלס מעין זה על ידי השוואה בין עקומת המפלסים של ים המלח המודרני (עד שנות הארבעים של המאה העשרים, עת החלה התערבות משמעותית של האדם במאזן המים) ונתוני הגשם השנתיים כפי שנרשמו בתחנה המטאורולוגית של ירושלים (Enzel

איור 2: שחזור עקומת מפלסי אגם הלשון וים המלח מתקופת הקרח ועד ההולוקן המוקדם (25,000 ועד 8,000 שנה לפני ההווה), וטור סטרטיגרפי של חבורת ים המלח הכוללת בחלקה העליון את תצורות ליסאן וצאלים ששקעו באגם הלשון וביים המלח ההולוקני

עקומת מפלסי האגם מתבססת על נתונים של מפלסי חוף קדומים וגילים שנקבעו בשיטת פחמן-14. נתונים אלה מצויים בעבודותיהם של דוד ניב, בני בגין, יובל ברטוב, קלאודיה מיגובסקי, יוסי יחיאלי ושותפיהם. עקומת מפלסי האגם מציגה את נפילתו החדה של ים המלח באלף ה־14 לפני ימינו אל מתחת ל־500 מטר מפני הים ועלייתו המהירה בתקופת ה־Younger Dryas (YD). האיור מציין את גובה חוף צאלים בתחילת תקופת ה־YD. השינויים הדרמטיים במפלס האגם משקפים שינויי אקלים קיצוניים באזור מזרח הים התיכון, ובהם ההתייבשות הקטסטרופלית של האקלים באלף ה־14 לפני ימינו. שינויים אלה השפיעו כנראה על המעבר מהתרבות הנטופית לתרבות הנאוליתית הקדם־קרמית, שבישרה את ההתיישבות הכפרית החקלאית באזור. הקיצורים בשורה האמצעית מציינים תקופות בפרק הזמן שבין תקופת הקרח האחרונה להולוקן. השמות נקבעו על פי נפישויות של פולן (גרגירי אבקת צמחים) בחתכים סדימנטריים באירופה: BO = Bølling; AL = Allerød; YD = Younger Dryas; PB = Preboreal

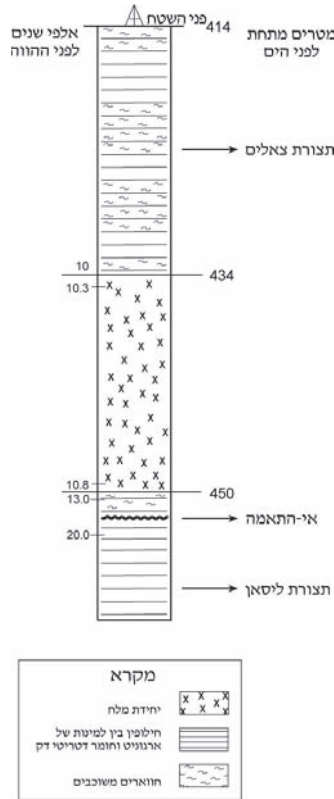


et al., 2003). השוואה כזאת מלמדת אותנו שעליות מפלס משמעותיות מעל הסיל מתאימות למוצע גשמים שנתי של למעלה מ־600 מ"מ. מפלס האגם יורד כאשר כמות הגשמים השנתית יורדת אל מתחת ל־350 מ"מ. בהקשר זה כדאי לציין ששנת 1992, שבה ירדו כמויות עצומות של משקעי גשם באגן הניקוז של ים המלח (כ־1,000 מ"מ באזור ירושלים לעומת הממוצע השנתי, העומד על 550 מ"מ) והירדן הזרים כמויות מים גדולות לים המלח, לוותה בעליית מפלס של שני מטרים באגם.

שינויי מפלס מעין אלה, המשקפים שינויים בכמות הגשמים האזורית, התרחשו תכופות במהלך ההולוקן ומצאו את רישומם בחתך הסדימנטרי ששקע באגן ים המלח. שחזור העקומה של מפלסי האגם בתקופת ההולוקן יחד עם קביעת התכונות הליטולוגיות (הרכב הסלעים) המינרלוגיות והגאוכימיות של הסדימנטים מאפשרים לקבוע את התנאים ההידרולוגיים ואת תנאי האקלים ששררו באזור. שחזור זה מאפשר השוואה לנתונים הארכאולוגיים וההיסטוריים על התפתחות תרבות האדם באזור (Neev and Emery, 1995; Frumkin, 1997; Bookman [Ken-Tor], 2004; Migowski et al., 2006).

ירידת המפלס המודרנית, הנובעת מהתערבות האדם במאזן המים של ים המלח, גרמה להתחתרות קניונים עמוקים בחזית מניפות הסחף ולחשיפת החתך ההולוקני שהיה עד לאחרונה קבור מתחת לים המלח (למשל הקניון שנוצר במניפת נחל צאלים). מחשופים אלה שימשו לשחזור עקומות המפלס בשלושת אלפי השנים האחרונות (Bookman et al., 2006).

נוסף על אינפורמציה המתקבלת ממחשופי הקניונים, שחזור החתך ההולוקני מתוך נתונים של גלעיני קידוחים אשר בוצעו למטרה הספציפית של מחקר ההיסטוריה של ים המלח בתקופת ההולוקן. נתוני הקידוחים מספקים אינפורמציה בעיקר על רצף הסדימנטים השוקע בסביבה האגמית וכן על המפלסים הנמוכים של האגם בזמנים שבהם ירד מפלסו אל מתחת לנקודת הקידוח (למשל הופעת שכבת חול בגלעין שנקדה בחוף מרחצאות עין גדי). נתונים על מפלסי האגם הגבוהים (למשל 370 מטר מפני הים) מתקבלים ממשקעי חוף המעטרים את חזית מניפות הסחף (למשל מניפות נחלי דרגה, ערוגות, צאלים) ומשולי האגם (למשל בית הערבה). בסופו של דבר עקומת המפלסים מתקבלת משילוב הנתונים מסביבות ההשקעה השונות (Bookman et al., 2006), וראו מאמרו של ברטוב (2005) על השיטה לקביעת מפלסי אגם קדומים).



איור 3: חתך סכמטי מורכב של הרצף הסדימנטרי של ים המלח ההולוקני כפי שעולה מגלעיני הקידוחים בחוף מרחצאות עין גדי ובמינפת נחל צאלים (ראו מיקומם באיור 1)

החתך ההולוקני מורכב ברובו משכבות של חוארים ומרצפים של למינות ארגוניט, גבס וחומר דטריטי דק. בבסיסו של החתך מופיעה שכבת מלח עבה (עוביה כ-15 מטר) ששקעה באגם במעבר בין הפלייסטוקן להולוקן (ראו איור 2). שכבת המלח מונחת על חתך המורכב משכבות של חומר דטריטי-חוארי ששקע בתקופת ה-Younger Dryas. משקעי ה-YD כשלעצמם מונחים באי-התאמה (תופעה המציינת חוסר ברצף הסדימנטרי כתוצאה מחוסר השקעה והסרת חתך בארוזיה) על סדימנטים אנמיים של תצורת ליסאן הבנויים מלמינות (שכבות דקות בעובי של כ-1 מ"מ) של ארגוניט ושל חומר דטריטי דק. למינות אלה שקעו באגם הלשון בסוף תקופת הקרח (לפני כ-20,000 שנה). אי-התאמה בין משקעי ה-Younger Dryas למשקעי אגם הלשון מציינת את נפילתו החדה של האגם אל מתחת ל-500 מטר מתחת לפני הים באלף ה-14 לפני ההווה. משמעות הדבר היא שבאלף ה-14 נפל מפלס האגם אל מתחת למשטח אי-התאמה בנקודת הקידוח.

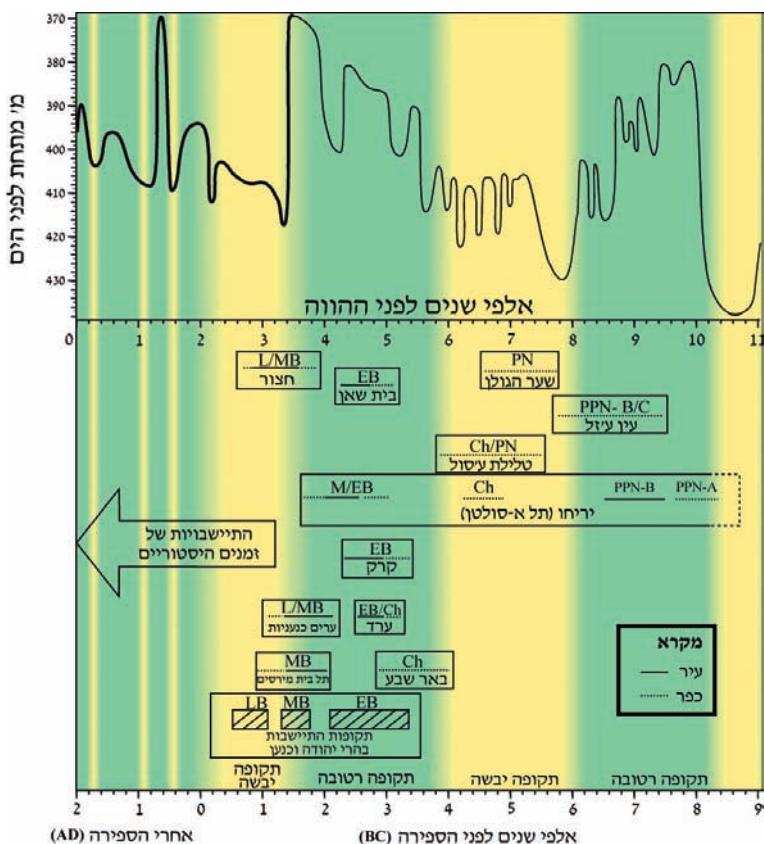
קידוח עין גדי חדר אל רצף משקעים המייצגים סביבה אגמית עמוקה יחסית ושחזר את כל תקופת ההולוקן. הקידוח נתקל בקרקעיתו (בעומק של 436 מטר מפני הים) בשכבת המלח הנזכרת לעיל. עוביה של שכבת המלח בעין גדי מגיע ל-15 מטר, והיא מונחת באי־התאמה על סדימנטים אגמיים משוכבים ששקעו מאגם הלשון (איור 3). אי־ההתאמה מציינת זמן שבו ירד מפלס האגם אל מתחת לאתר הקידום ולא הושקעו בו סדימנטים.

שחזור עקומת מפלסי ים המלח ההולוקני (חלקו העליון של איור 4) מעלה את האבחנות הבאות:

1. ההולוקן המוקדם. לפני 10,000 עד 8,600 שנה (8,000 עד 6,600 לפני הספירה) התאפיין האגם במפלסים גבוהים שהגיעו כנראה עד 380-390 מטר מפני הים, עלייה של כ־30-50 מטר ממפלס ההשקעה של שכבת המלח. בתקופה זו השקיע האגם בעיקר חווארים משוכבים, ליתולוגיה המציינת תקופות שיטפוניות. כן מופיעים רצפים של ארגוניט, המציינים פעילות מוגברת של התמלחות.

לפני כ־8,100-8,200 שנה נפל מפלס האגם אל מתחת ל־430 מטר מפני הים, נפילה המציינת את נסיגת האגם המשמעותית ביותר של תקופת ההולוקן. נסיגה זו מתאימה מבחינת הזמן לשינויים אקלימיים שנרשמו בחתכים הסדימנטריים של אגמים אחרים באזור, למשל באגם ואן שבמזרח תורכיה ובחתכים גאולוגיים שונים בעולם, והיא כנראה משקפת אירוע אקלימי כלל עולמי. שלוש-ארבע מאות שנים מאוחר יותר חזר ים המלח ועלה מעל מפלס של 410 מטר מפני הים, אולם בפרק הזמן שלפני 5,600-7,500 שנה שוב התקיימו תנאים יבשים באזור (האגם לא הציף בתקופה זו את האגן הדרומי של ים המלח).

2. ההולוקן התיכון (לפני 5,500 עד 3,600 שנה) התאפיין במפלסי אגם גבוהים שעלו לפני כ־4,500 ו־3,700 שנה לרום של 370-380 מטר מפני הים. הרצף הסדימנטרי האגמי אופיין בהשקעת למינות (שכבות שנתיות דקות) ארגוניט וחומר סחף דק בחילופין עם חווארים קלציטיים למינריים. עליית ים המלח בתקופה זו משתקפת גם ברקורד המערות של הר סדום (Frumkin, 1997) ומוצאת ביטוי בתווה מסוימת דרומה של צמחיית מדבר הנגב (Bookman et al., 2006). בהקשר זה יש לציין את אופיו הארדי־מדברי של אזור הנגב שמדרום לעמק באר שבע במהלך רוב תקופת ההולוקן.



איור 4: שחזור מפלסי ים המלח ההולוקני והשוואה לשינויים שהתחוללו בהיסטורית התיישבות האדם באזור ישראל

העקומה המודגשת בקו עבה מציינת את מפלסי האגם ב־4,000 השנים האחרונות שלגביהן קיימת אינפורמציה ממחשופים ומגלעיני קידוחים. לגבי 6,000 השנים הקודמות נגזרים רוב הנתונים מגלעיני קידוח המספקים אינפורמציה יחסית (עליית מפלס או ירידתו) ומפלסי מינימום, מפלסי המקסימום הם משוערים. הרצועות הצהובות מציינות תקופות של מיעוט גשמים באזור המתאימות לדעיכה תרבותית-התיישבותית. ב־3,000 השנים האחרונות הוכתבו השינויים התרבותיים כנראה בעיקר על ידי גורמים פוליטיים, בחלקם חיצוניים, ולכן לא הוכללו בהשוואה האקלימית-תרבותית. הפנל התחתון מציג את אתרי ההתיישבות העיקריים באזור ישראל. מפתח שמות התקופות הארכאולוגיות: PPN-A, B, C = Pre Pottery Neolithic; PN = Pottery Neolithic; Ch = Chalcolithic; EB, MB, LB = Early, Middle and Late Bronze.

(הנתונים מתוך עבודותיהן של גלית כדן, רויטל בוקמן, קלאודיה מיגובסקי ושותפיהן).

עליית ים המלח בהולוקן התיכון איננה רציפה. היא מופרת על ידי כמה ירידות מפלס קצרות, המציינות חזרה לתנאי אקלים יותר יבשים בפרק הזמן שבין 5,500 ו-5,100 ולפני כ-4,200 שנה.

לפני כ-3,600 שנה נפל מפלס ים המלח נפילה מהירה (100-200 שנה) וחדה ממפלס שיא של 370 אל מפלס של 420 מטר מפני הים. קצב הנפילה הממוצע של 25-50 ס"מ בשנה דומה לקצב שהוערך לגבי נפילת אגם הלשון בתקופת האלרוד! נפילות אגם אלה משקפות שינויים קיצוניים (ואפשר לומר 'קטסטרופליים') במערכת ההידרולוגית-אקלימית האזורית ושינויים מהירים במערכות האקלים העולמיות. יש לציין כי נפילת ים המלח לפני 3,600 שנה באה עם או לאחר (במגבלות קביעות גיל בשיטת פחמן-14) התפרצות הר הגעש סנטוריני וייתכן שהיא קשורה בשינויים אקלימיים אזוריים שנבעו מהתפרצות זאת.

3. ההולוקן המאוחר (מלפני 3,400 שנה ועד הזמן המודרני). לפני כ-3,000 שנה החל ים המלח לעלות ולפני כ-2,000 שנה (בתקופה הרומית-ביזנטית) הגיע לגבהים של 390-400 מטר מפני הים. מאוחר יותר, לפני כ-1,400 שנה, התרומם האגם (לתקופה קצרה) לרום שיא של 370-380 מטר מפני הים. התקופה הלחה של ההולוקן המאוחר מתאפיינת בחוסר יציבות והאגם ירד פעמים מספר (לפני 2,200, 1,500, 1,200 ו-400 שנה) עד לרום של 405-415 מטר מפני הים.

בסוף המאה התשע עשרה עלה האגם לרום של 390 מטר מפני הים. גובה זה נרשם על ידי משלחת החקר Palestine Exploration Fund (PEF) כקו אופקי על סלע מעל לשמורה הנוכחית של עין פשחה. בתחילת המאה העשרים הוא ירד לסביבות 400 מטר מפני הים, ומאז שנות השישים של המאה העשרים האגם נמצא בנסיגה מתמדת, שהגיעה בשנים האחרונות לקצב של מטר בשנה כתוצאה מפעילות האדם.

השוואה בין השינויים ההידרולוגיים-אקלימיים והתפתחות תרבות האדם במזרח הקרוב

עקומת שינויי המפלס של גוף המים ההולוקני משקפת כאמור את ההיסטוריה

ההידרולוגית של אגן הניקוז של ים המלח. היסטוריה זו מתארת את כמויות ירידת הגשמים ותבניותיהם ואת פעילות האקוויפרים והמעיינות. איור 4 מציג השוואה בין עקומת שינויי המפלס (כמד גשם' אזורי) ושינויים שהתרחשו בתרבות האדם באזורנו. שינויים אלה כוללים עלייה ונפילה של תרבויות, התיישבות ונטישה של חבלי ארץ והתרחבות והצטמצמות של יישובים חקלאיים ועירוניים. אפשר לציין את פרקי הזמן שבהם ניכרת התאמה בין שינויים במפלסי האגם ושינויים 'תרבותיים' משמעותיים שהתרחשו באזור.

1. השינויים החריפים ביותר במפלס האגם התרחשו בתקופת המעבר בין סוף הפלייסטוקן (סוף תקופת הקרח האחרונה) ותחילת ההולוקן. אגם הלשון, שמפלסו בסוף תקופת הקרח (לפני כ-14,000 שנה) היה כ-200 מטר מפני הים, נפל באופן חד במאות השנים הראשונות של האלף ה-14 למפלס מינימום הנמוך מ-500 מטר מפני הים; מיד לאחר מכן, בתקופת ה-YD, התאושש האגם (שכונה משלב זה ואילך בשם ים המלח) ועלה למפלס של לפחות 330 מטר מפני הים. נפילתו החדה של אגם הלשון ועלייתו של ים המלח לוו בהיעלמות התרבות הנטופית שהתפתחה באזור בשלהי תקופת הקרח האחרונה ובעליית התרבות הנאוליטית הקדם קרמית (PPN) שבה מופיעים ניצני ההתיישבות החקלאית באתרים כמו יריחו, גלגל ופצאל (Bar-Yosef, 1998). אתרים אלה מצויים בתוך בקעות שלאחר נסיגת אגם הלשון הצטברו בהן קרקעות טרה רוסה, הבונות את תצורת פצאל. למרות שגיל ההצטברות של קרקעות אלה בבקעות איננו ידוע במדויק, סביר להניח שסחיפתן מגב הרי יהודה-שומרון לבקעת הירדן התרחשה בתקופת ה-YD, המאופיינת בחידוש משטר הגשמים והשיטפונות באזור.

באלף העשירי לפני ימינו (~8,000 לפני הספירה) עלה מפלס ים המלח לרום של 370-380 מטר מפני הים והציף את אזור בית הערבה. נראה אם כן שלאחר תקופת היובש הקטסטרופלית של האלף ה-14 ושינויי האקלים הקיצוניים באלפים ה-13 וה-12 לפני ימינו נוצרו בתחילת האלף העשירי תנאים להתחדשות ושינוי בתרבות ההתיישבות של האדם (PPN-A). ייתכן שהתהליך לווה גם בשינויים בתפוצת הצמחים, וכפי שהוצע לאחרונה – גם בהתפתחות גנטית של מיני צמחים שתרמו לעליית התרבות החקלאית.

2. בהולוקן המוקדם נותר מפלס ים המלח ברום של 370-400 מטר מפני הים. זוהי התקופה שבה התפתחה התרבות הנאוליטית הקדומה (PPN-A)

ר-PPN-B) והתפתחו אזורי התיישבות סביב מקומות כמו יריחו ועין עיזל. בד בבד עם ההתייבשות האזורית נחלשה ההתיישבות ביריחו (בסביבות 6,600 לפני הספירה, Bar-Yosef, 1998). לפני 8,100-8,200 שנה נסוג האגם אל מתחת ל-430 מטר מפני הים. נסיגה זאת לוותה כנראה בהתייבשות מקורות המים של יריחו ועין עיזל ובנטישתן. האגם אמנם התאושש ועלה לפני כ-7,500 שנה, אולם תקופת היובש נמשכה לסירוגין (כפי שמשקף בעליות ובירידות התכופות במפלס) עד לפני 5,600 שנה. בתקופה זו התקיימה באזור התרבות הנאוליטית הקרמית (PN) ולאחריה התרבות הכלכוליתית (CH) באתרים מעטים ובקרב אוכלוסייה מצומצמת יחסית (למשל ביישובים שער הגולן, תלילאת עיסול, באר שבע ויריחו, Bar-Yosef and Kra, 1998).

3. בהולוקן התיכון (לפני 5,600 עד 3,600 שנה) עלה האגם למפלסים יחסית גבוהים (מעל 390 מטר מפני הים, שפירושם הצפת האגן הדרומי). במחצית האלף השישי לפני ימינו התפתחה ערד והייתה אחת הערים החשובות של תקופת הברונזה הקדומה (EB), ששימשה מרכז אזורי להתיישבות חקלאית סביבה, באר שבע התפתחה, ממזרח לחצי האי ליסאן התפתחו באב אדרע ונומיירה, קרק נבנתה בהר שממזרח לים המלח, בית שאן נבנתה ויריחו שגשגה שוב. בהרי יהודה נמצאו עדויות ליותר ממאה התיישבויות חקלאיות. אולם יש לזכור כי בד בבד עם השתררות תנאים אקלימיים נוחים באלף השישי לפני ימינו, במעבר מהתקופה הכלכוליתית לברונזה התחתונה ראה אזור המזרח הקרוב כולו תחייה תרבותית התיישבותית וטכנולוגית, עם התפתחות מרכזים אורבניים במצרים ובמסופוטמיה. אגן ים המלח שכן על דרכי המעבר והמסחר העיקריות בין תרבויות אלה. המסחר, תעשיית מכרות הנחושת בערבה הדרומית ובסיני, וכריית המלח והאספלט בים המלח בעבור המצרים, תרמו ללא ספק להתפתחות המקומית.

השגשוג התרבותי בתקופת הברונזה הקדומה הופר לפני כ-4,300 שנה (בסביבות 2,300 לפני הספירה). ההתיישבויות העירוניות באזור ים המלח ובקעת הירדן – קרק, יריחו ובית שאן – הפסיקו להתקיים. אפשר אולי לקשור זאת להשפעת הקריסה של התרבות האכדית במסופוטמיה ואולי אף ל'מפולת' התרבותית שתוארה במצרים באותה תקופה לערך. קריסת התרבות האכדית יוחסה לקטסטרופה סביבתית, כגון רצף של רעידות אדמה והתייבשות אקלימית (Weiss et al., 1993). רישום ההיסטוריה הגאולוגית במשקעי ים המלח מצביע

אמנם על נסיגה והתייבשות אקלימית אזורית קצרת זמן (פחות מ־300 שנה) בפרק זמן זה, אולם האגם התאושש בסוף האלף החמישי ועלה לרום של 370 מטר לפני כ־4,000 עד 3,700 שנה. באזור החלה תרבות הברונזה התיכונה (MB) עם התפשטות ההתייבשות הכנענית והתפתחות יישובים כמו חצור, גור, אפק, דן, שכם, מגידו ועוד (Finkelstein, 1995).

ההיסטוריה של באב א־דרע שממזרח לחצי האי ליסאן מעניינת במיוחד בהקשר של שינויים סביבתיים והתפתחות תרבותית באגן ים המלח בתקופת הברונזה. בספרם של ניב ואמרי על 'הרס סדום, עמורה ויריחו' מובא תיאור מפורט של תולדות באב א־דרע ונומיירה (Neev and Emery, 1995). בתקופות הברונזה התחתונה (EB-I, II, III), לפני 4,300-4,900 שנה, התפתח בבאב א־דרע יישוב עירוני. לאחר מכן בסוף התקופה (EB-IV) נהרס היישוב ועבר סדרה של שרפות, אולי כתוצאה מרעידות אדמה לפני כ־4,350-4,400 שנה (ניב ואמרי סברו כי אירועים אלה מהווים רקע לסיפור התנכי על הרס סדום ועמורה). בעוד נומיירה נעזבה לאחר רעידת אדמה שהתרחשה לפני 4,350 שנה. בבאב א־דרע נמשכה ההתייבשות בתקופת הברונזה התיכונה. ניב ואמרי סבורים כי המעיינות השופעים שממזרח לחצי האי ליסאן אפשרו את המשך קיום ההתייבשות במקום עד לפני 4,200 שנה.

פריחת תרבות הברונזה התיכונה והתרבות הכנענית נגדעה באמצע האלף הרביעי (לפני 3,600 שנה), עת נפל האגם בחדות אל סביבות 420 מטר מפני הים. נפילה זו (50 מטר בפחות מ־100 שנה) הייתה קרובה בקצבה לנסיגה המודרנית (המלאכותית) של ים המלח ולנסיגה של אגם הלשון באלף ה־14 לפני ימינו. נסיגה זו קטעה עלייה כמעט רצופה של האגם בהולוקן התיכון ומעידה על משבר אקלימי קיצוני באזור המזרח הקרוב ומזרח אגן הים התיכון. הנפילה התרחשה בו זמנית עם התמוטטות הממלכה המצרית התיכונה, ובתוך מגבלות שיטות התיארוך בפחמן־14 היא קרובה להתפרצות הגדולה של הר הגעש סנטורני (איי יוון), שיתכן שגרמה לשינוי אקלימי אזורי וכנראה השפיעה על המערך האנטי־פוליטי באגן המזרחי של הים התיכון ובסביבותיו. ואכן, בפרק הזמן שלפני 3,500 ו־3,100 שנה (תקופת הברונזה העליונה, LB) מתוארות רק עשרים וחמש נקודות התייבשות באזור ההר.

4. ההולוקן המאוחר (מלפני 3,000 שנה ועד היום). בתחילת האלף השלישי לפני ימינו התאושש האגם. הוא עלה תוך כדי תנודות של עשרות מטרים והגיע

לפרקים לרום של 380-390 מטר מפני הים (לפני כ־2,000 שנה, 1,400 שנה ובסוף המאה התשע עשרה). בתקופה זו היו תרבות האדם ודרכי התארגנותו הפוליטיים מפותחות מאוד ולכן קשה יותר להצביע על גורמי אקלים כגורמים מכריעים בתבנית ההתיישבות. למרות זאת נראה שההתיישבות הרומית, הביזנטית והצלבנית, ואף הציונית המוקדמת באזור, התרחשו בפרקי זמן של עליות מפלס ושל אקלים רטוב יחסית באזור, בעוד נדידת השבטים הערבים ומאוחר יותר הטורקים התרחשו בתקופות יבשות (Bookman et al., 2006).

סיכום

האגמים באגן ים המלח בתקופת הרביעון שינו תכופות את מפלסיהם כתגובה ישירה להתנהגות מערכות הגשם באגן הניקוז של ים המלח, מערכות המשקפות את שינויי האקלים באזור מזרח הים התיכון והמזרח הקרוב.

עקומת שינויי המפלס בתקופה הפוסט־קריונית ובהולוקן מצביעה על פרקי זמן שבהם מפלס האגם עלה (תוך כדי תנודות בקנה מידה של עשרות מטרים) לעומת אירועי נפילת מפלס קטסטרופליים. אפשר לקשור תקופות של עליית מפלס ושל אקלים רטוב יחסית באזור להתפתחות תרבויות האדם, ואירועי התיישבות ונפילות מפלס לקריסות תרבותיות. הדוגמה הבולטת לכך היא צמיחת החקלאות הקדומה של התרבות הנאוליטית הקדם־קרמית (PPN-A ו־PPN-B) והרס תרבות זו בקטסטרופה האקלימית שאירעה לפני 8,200-8,100 שנה. צמיחת תרבות הברונזה הקדומה באלף השישי והתרסקות תרבות הברונזה התיכונה בהתיישבות שלפני 3,600 שנה (הקשורה אולי גם להרס הממלכה התיכונה במצרים והתרבות המינואית באיי יוון). ייתכן שגם התפתחויות תרבותיות־פוליטיות בכ־3,000 השנים האחרונות, כמו התפשטות הממלכה הרומית־ביזנטית לפני כ־2,000 שנה וחדירת השבטים הערביים במאות השישית והשביעית, היו קשורות בשינויי אקלים.

מאמר זה מצביע על קשר הדוק בין האקלים האזורי ותרבות האדם; עם זאת יש להסתייג מהשקפות דטרמיניסטיות קיצוניות. אין ספק שהאקלים היה גורם ראשון במעלה בעיקר באלפי השנים המוקדמות של ההולוקן, אולם האדם השכיל להסתגל ולמצוא דרכים להתמודד עם שינויים החלים בסביבתו.

יש לזכור זאת כלקח להווה ולעתיד. כיום מרבית השינויים במפלס ים המלח קשורים למעשי ידי אדם. עקומת שינויי המפלסים מלמדת אותנו שהמערכת הטבעית ידעה להשתקם ולחזור לעצמה במהירות רבה. יש לזכור זאת כשיקול מרכזי בדיון על דרכי 'החייאתו של ים המלח'. החזרת מערכת הספקת המים המתוקים לפעילותה, קרי החזרת זרימת המים בירדן, היא כנראה הדרך הנבונה ביותר להחזרת האגם למפלסיו הטבעיים.

תודות

מאמר זה משקף את עבודותיהם של יובל ברטוב, רביטל בוקמן, קלאודיה מיגובסקי וגלית כדן. תודה ליהודה אנול, אמוץ עגנון ויורג נגנדנק על שיתוף הפעולה הפורה לאורך השנים.

מקורות וקריאה נוספת

- ברטוב, י' 2005. 'אגם הלשון: מפלסים ואקלים'. מלח הארץ, 1, עמ' 19-33
 סטרינסקי, א' 2005. 'אגם ים המלח: הנביעה הגדולה בעולם'. מלח הארץ, 1, עמ' 35-51
- Bartov, Y. et al., 2003. 'Catastrophic arid episodes in the Eastern Mediterranean linked with the North Atlantic Heinrich events'. *Geology*, 31, pp. 439-442
- Bar-Yosef, O. & Kra R.S. (eds.) 1995. *Late Quaternary archeology and paleoclimates of the eastern Mediterranean*. Radiocarbon, Tuscon
- Bar-Yosef, O. 1998. 'The Natufian culture in the levant, threshold to the origin of Agriculture'. *Evolutionary Anthropology*, 6 (5), pp. 159-177
- Bookman (Ken-Tor), R. et al., 2004. 'Late Holocene lake levels of the Dead Sea'. *Geological Society of America Bulletin*, 116 (5), pp. 555-571
- Bookman, R. et al., 2006. 'Lake level reconstruction in the late Quaternary Dead Sea basin'. in: Enzel, Y., Agnon, A. & Stein, M. (eds.), *New*

- Frontiers in Dead Sea Paleoenvironmental Research*, Geological Society of America, Special Paper 401, pp. 155–170
- Cullen, H. M. et al., 2000. 'Climate change and the collapse of the Akkadian empire: evidence from the deep sea'. *Geology*, 28, pp. 379–382
- Enzel, Y. et al., 2003. 'Dead Sea lake level variations and Holocene climates in the Near East: implications to historical responses and modern water resources'. *Quaternary Research*, 60, pp. 263–273
- Finkelstein, I. 1995. *Living on the Fringe: The Archeology and History of the Negev, Sinai and Neighbouring Regions in Bronze and Iron Ages*. Monographs in Mediterranean Archeology 6, Sheffield
- Frumkin, A. 1997. 'The Holocene history of the Dead Sea levels', in: Niemi T.M., Ben Avraham Z. & Gat J. (eds.), *The Dead Sea – The Lake and its Setting*. Oxford University Press. pp. 237–248
- Garfinkel, Y. 1993. 'The Yarmukian culture in Israel'. *Plaeorient*, 19, 115–134
- Gavrielli, I. & Stein, M. 2006. 'On the source and fate of brines in the Dead Sea basin'. in: Enzel, Y., Agnon, A. & Stein, M. (eds.), *New Frontiers in Dead Sea Paleoenvironmental Research*, Geological Society of America, Special Paper 401, pp. 183–194
- Gitin, S., Mazar, A. & Stern, E. (eds.), 1998. 'The Fall of Canaanite Hazor – The "Who" and "When" Questions'. In *Mediterranean Peoples in Transition*, Jerusalem, Israel Exploration Society, pp. 456–467
- Migowski C. et al. 2006. 'Dead Sea levels, climate variability and human culture evolution in the Holocene Near East'. *Quaternary Research*
- Neev, D. & Emery, K.O., 1967. *The Dead Sea: Depositional Processes and Environments of Evaporites*. Geological Survey of Israel Bulletin 41
- Neev, D. & Emery, K.O., 1995. *The Destruction of Sodom, Gomorrah, and Jericho*. Oxford, Oxford University Press
- Weiss, H. et al., 1993. 'The genesis and collapse of third millennium north Mesopotamian civilization'. *Science*, 261, pp. 995–1004