

בעיית הבולענים

תיפתור

מעצמה

משרד התשתיות הלאומיות מימן מחקר של פרופ' שלמה שובאל, איש הסגל הבכיר באו"פ, על אופן היווצרותם של בולענים בחופי ים המלח. המטרה – מציאת דרך לסלק את הבעיה המטרדית. פרופ' שובאל גילה תגלית חשובה, אבל בעניין מציאת הפתרון – הוא לא ממש אופטימי



פתח של בולען אופייני בחוף ים המלח (צילום: שלמה שובאל)

היה שהכול ידוע עליהם. עם זאת, בקשר למה שמטריד את משרד התשתיות – איך לפתור את בעיית הבולענים – לא נעים להודות, אין דרך פשוטה לעשות את זה ונותר עוד מה לחקור.

הכול בגלל הירידה במפלס הים

גם לפני מחקרו המוצלח של פרופ' שובאל ידעו אנשי המדע מה גורם להיווצרות הבולענים. אבל כמו שאומר פרופ' שובאל עצמו – העובדה ש"יודעים" לא יכולה לשמש הוכחה מדעית לאמינות הטענה, וזו עדיין טעונה הוכחה. המחקר בא לאשש את ההשערה, ותוך כדי כך נחשפה התגלית.

הכול מתחיל כמובן מהירידה הנמשכת במפלס ים המלח. ב־20 השנים האחרונות מדובר בירידה דרסטית של 20 מטרים, כלומר בקצב מבהיל של בערך מטר אחד לשנה. הדבר גורם לכך שפני השטח על חופי הימה מתאימים את עצמם בהכרח לפני הים החדשים, ואחד הביטויים של ההתאמה הזאת היא היווצרות הבולענים. מחקרים קודמים הראו כי ירידת המפלס גורמת לזרימה של מי תהום בכיוון הים הנסוג, אלה ממסים שכבת מלח מוצק, שנוצרה בעבר וטמונה באדמה סביב הימה. ההמסה יוצרת חלל בתוך המלח – והתמוטטות פני הקרקע אל תוך החלל הזה יוצרת את הבולענים.

הבולענים בים המלח – אותם שקעים הנפערים באופן פתאומי בקרקעית חופי ים המלח, בעיקר בחלקו הצפוני של האגם, ומגיעים לעומקים של עד 11 מטרים ולהיקפים של עד 25 מטרים – הם תופעה שמטרידה מאוד את משרד התשתיות הלאומיות. די בצדק, אם נזכור שמספרם של הבולענים עומד כיום על כ־1,200 (כולל בורות קטנים), ומספרם גדל בקצב של כמה עשרות מדי שנה. לכן אין זה מפליא שמשרד התשתיות החליט לממן שורת מחקרים במטרה למצוא דרך לפתור את הבעיה. רוב המחקרים מתבצעים על ידי המכון הגאולוגי – המתרכז בעיקר במחקרי שדה בתחום הבולענים – מיפויים וסיווגם, גילויים של חדשים באמצעות צילומים מן האוויר, מעקב אחר התרחבותם, קידוחי מחקר ובדיקות ססמיות – ופחות במחקר גאוכימי במעבדה.

פרופ' שלמה שובאל, איש הסגל הבכיר באוניברסיטה הפתוחה, מהמחלקה למדעי הטבע והחיים, קיבל ממשרד התשתיות הלאומיות מימון לחקור את הקשר בין המסלע ללידתם של הבולענים. דבר זה כשלעצמו חריג, שכן משרד התשתיות מקפיד לרוב לממן מחקרים יישומיים בלבד. במקרה זה, בגלל חשיבות הנושא, הוחלט לממן גם מחקר מעבדתי.

התוצאה – הישג מדעי: גילוי נדבך נוסף, שהוא בגדר תגלית של ממש, לגבי האופן שבו נוצרים הבולענים, שנראה

הסחיפה", שהוא התחנה הסופית שאליה סוחפים הנחלים והשיטפונות את המשקעים שהם מביאים איתם. כידוע, הנחלים זורמים אל הים והם עוצרים רק על שפת הים. כאשר הים נסוג, בסיס הסחיפה מתקדם יחד איתו וכך הכול מתיישר עם הים במפלס החדש והנמוך יותר שלו.

תופעת הבולענים היא חלק מהתאמת מערכות הניקוז – שכוללות כמובן גם את מי התהום – לירידה החרפה במפלס המים. בתנאים רגילים של ירידה מתונה במפלס, ייתכן שהטבע היה מוצא דרכים משלו לאזן את הדברים ולהמשיך לקיים את ההפרדה שהייתה כל השנים בין מי התהום לשכבת המלח המוצק שהזכרה קודם.

אם בסיס הסחיפה היה נסוג בהדרגה, אפשר שמי הירדן והשטפונות היו סוחפים את פני השטח עד לבסיס הסחיפה החדש והיה נוצר רצף קרקעי תוך הסרת משקעים, אבל כשמפלס הים צונח באופן פתאומי וחרף כל כך, מערכות הניקוז לא מספיקות להתאים את עצמן אל המפלס החדש. והירידה משפיעה גם על מערכת מי התהום.

מקור מי התהום במי גשמים המחלחלים מטה בצורה אנכית, אך מי התהום נעים גם לצדדים, וכשמפלס מי הים צונח מי התהום נעים לעבר ים המלח. כך הם מגיעים פתאום אל מקומות שאליהם לא הגיעו בעבר – מקומות שבהם מצויה שכבת המלח המוצק בתת־קרקע. בפוגשם את סלעי

זה הסיפור בקיצור. עכשיו – קצת ביתר פירוט. בעבר הקדום לפני היווצרות ים המלח היה אגם רחב ידיים בשם אגם הלשון. מסיבות שונות הוא החל לסגת ולהתכנס אל תוך אגנו. לפני 12 אלף שנה נוצר ים המלח בצורתו המוכרת. בעת היווצרותו הוא השאיר – בשוליים שנחשפו והפכו לחופים – שכבת מלח, פרי המליחות של מימיו. כשהים המשיך לסגת, המלח כוסה במשקעים, כמו חרסיות, שמי השיטפונות סחפו איתם ו"שפכו" אותם על כל השטחים שאליהם הגיעו חופי הים. במשך אלפי שנים שכבות החרסית הלכו והצטברו מעל סלעי המלח הקבורים תחתן. כיום, בגלל הירידה במפלס ים המלח, לראשונה הגיעו מי התהום אל שכבת המלח הזאת.

בסיס הסחיפה נסוג מהר מדי

זה המקום לומר כמה מילים על ירידת מפלס מי ים המלח. התחממות כדור הארץ שאחראית לרוב התופעות המטרידיות שקורות בשנים האחרונות על פני כדור הארץ, כמעט שנקייה מאשמה במקרה זה. ירידת מפלס ים המלח בימינו רובה ככולה היא מעשה ידי אדם. האדם הוא שגזל מהים הזעיר הזה את מי הירדן, שכבר אינם מגיעים אליו, כי מנצלים אותם לצורכי חקלאות בירדן ובישראל.

ירידת המפלס משפיעה על האדמה שמסביב לים בגלל תופעת ההתיישרות של הנוף עם מה שמכונה "בסיס

מקבץ בולענים מלאי תמלחות בחוף עין גדי (צילום: שלמה שובאל)



המלח, הם ממסים אותם וכך נוצרים חללים חדשים. בשל כך, לא רק פני השטח משתתפים בתהליך ההתיישרות עם המפלס החדש – אלא גם כל מה שבעומק האדמה. עד כה סברו החוקרים שאל תוך החלל שנוצר עקב המסת המלח מתמוטטות בבת אחת כל שכבות הקרקע שמעל לשכבת המלח שנמס, כלומר שכבות החרסית והקונגלומרט, מה שמביא ליצירת הבולען.

חרסית יבשה מעל לחרסית לחה

פרופ' שובאל והאסיסטנטית גלינה קאז, סטודנטית של האוניברסיטה הפתוחה, בדקו באופן יסודי במעבדה את הקרקע שבה נוצרו הבולענים. הם ירדו אל עומק הבעיה, תרתי משמע, אספו ממעמקי הבולענים אינספור דגימות של המשקעים הקורסים. הדגימות נבדקו במעבדה וכך גילו השניים שהתמונה מורכבת יותר ממה שסברו קודמיהם ושהדברים מתרחשים באופן שונה.

הבדיקות הראו כי שכבת החרסית הרטובה שמתחת למפלס מי התהום היא שכבה בוצית מאוד וגמישה. חשוב לציין שסלע החרסית הוא סלע משקע הבנוי ברובו מגרגרים קטנים מאוד ונעשה בוצי כשבא במגע עם מים. כאשר מי התהום ממסים את שכבת המלח שמתחת לחרסית – החרסית הבוצית זורמת מיד וממלאת את החלל שנוצר מתחת – מה שמביא ליצירת חלל חדש מעל השכבה הבוצית. שם, מעל השכבה הבוצית, נמצאת שכבת חרסית יבשה, שחלקיה דבוקים אלה לאלה בחוזקה רבה עד כדי כך שיחזיקו מעמד וישארו מחוברים יחד, כשכבה אחת, גם כשמתחת נוצר חלל שיצרה הזרימה מטה של החרסית הלחה. כך מצליחה החרסית היבשה להישאר תלויה באוויר מעל חלל תת-קרקעי. אלא שעם הזמן, מתחילים להיווצר בה סדקי קריסה, שהולכים ומתרבים וגם מתרחבים. כשגוש שלם מתמוטט ונופל אל תוך החלל שנוצר מעל החרסית הרטובה נפער בולען אל פני השטח.

הבולענים מתפתחים בדרך כלל בשכבות החרסיתיות הנפוצות בחופי ים המלח ומכונות בפי הגאולוגים תצורת צאלים על שם תצורת קרקע שמופיעה בצורתה המובהקת ביותר בנחל צאלים. בחלקים אחרים של חופי ים המלח, מעל שכבת החרסית היבשה אפשר למצוא גם שכבת קונגלומרט. הקונגלומרט הוא סלע משקע אחר המורכב מחלוקי סלע שהתלכדו יחד. גם הקונגלומרט הנמצא סמוך לפני השטח יכול להחזיק מעמד תלוי באוויר מעל לחלל שנוצר תחתיו בגלל הלכידות המאפיינת אותו – עד שגם הוא מתמוטט, אם בגלל משקלו העצמי המושך מטה ואם בגלל משקלו של רכב הנע על פני השטח, או של אדם המהלך לתומו בשדה. המשקל הנוסף גורם לכל מה שנמצא מתחתיו – קונגלומרט או חרסית – להתמוטט אל תוך החלל שנוצר עקב המסת שכבת המלח.

פרופ' שובאל גילה כי הבולען לא נוצר בגלל קריסת משקעים "יבשים" היישר אל תוך החלל שנוצר עם המסת שכבת המלח, שכן חלל זה מתמלא ברגע שנוצר בשכבת החרסית הבוצית שמעליו. הבולען נוצר בגלל זרימת השכבה בוצית כלפי מטה ויצירת חלל חדש מתחת לשכבת החרסית היבשה. אל החלל החדש הזה מתמוטטים שכבת החרסית היבשה והקונגלומרטים. מכאן שחלל הבולען – החור בתת-

הקרקע – נוצר עוד לפני ההתמוטטות ועוד לפני ששמהו נראה על פני השטח. הוא נוצר בעומק האדמה והופך להיות גלוי לעין רק כאשר השכבה או השכבות שמעליו מתמוטטות.

המעבדה אישרה: החרסית סמקטיטית

כאמור, מלבד הבולענים שנוצרים במשטחי הבוץ המכוסים בשכבות של קרקע חרסיתית, יש בולענים שנוצרים במה שמכונה מניפות הסחף, שבהן פני הקרקע מכוסים בקונגלומרטים. הסכנה לאדם הנשקפת מהבולענים פחותה במשטחי הבוץ, מפני שממילא איש לא מטייל שם להנאתו. הסכנה הממשית אורבת במניפות הסחף, שם נבנו מרבית הכבישים על גבי שכבת הקונגלומרטים. שם ייתכנו קריסות פתאומיות, לא אחת בעקבות משקלה של מכונית, שנוסעיה אינם יכולים לנחש שמתחת לכביש מצוי חלל מבהיל. זאת הסיבה שבשנים האחרונות הפסיקו לסלול כבישים על חופי ים המלח ומה שנשלל, נסלל למעלה, באזור המצוקים.

מחקרו של פרופ' שובאל מתמקד באופי הבוצי והעיסתי של החרסיות בבולענים שבמשטחי הבוץ. הוא חש את בוציות הבולען על בשרו כשירד אל מעמקי הבולען וראה כיצד יכול היה בקלות לשקוע ולהיבלע בתוך החרסית הלחה, הרטובה והטובענית. זו הייתה בהחלט חוויה לא נעימה אך הסיפוק שבתגלית המדעית היה שווה את אי-הנעימות.

המונח "חרסית" הוא מונח כללי, המתייחס לסוגים רבים של מינרלים חרסיתיים, השונים אלה מאלה בתכונותיהם ומאפייניהם. המחקר קושר את אופיין הבוצי והעיסתי של החרסיות בתשתית בהימצאות חרסית מסוג סמקטיט. הסמקטיט הוא מינרל חרסיתי סופח מים באמצעות גרגריו והמרחב הבינ-שכבתי שלו. בצורתו הבוצית הוא מגלה יכולת זרימה. תכולה גבוהה של חרסית סמקטיטית גורמת להתנהגות פלסטית של המשקעים ומאפשרת זרימה בעומק האדמה.

פרופ' שובאל: "הנחנו שהחרסית הלחה שזורמת וגורמת להיווצרות הבולען היא חרסית סמקטיטית, אבל היינו צריכים לבדוק את זה במעבדה כדי להוכיח זאת. תוצאות הבדיקה במעבדה גילו ששכבת החרסית מכילה מינרלים נוספים, אבל אחוז הסמקטיט בה גבוה מאוד".

כעת, כשיודעים איך נוצרים הבולענים, נשאלת השאלה מה עושים בקשר אליהם. לדעת פרופ' שובאל אין הרבה מה לעשות – בין היתר מפני שבעיית הבולענים תיפתר עם הזמן מעצמה, כשבסיס הסחיפה יתאזן עם מפלס פני ים המלח. והיא תיפתר ברוח הבדיחה הידועה על האיש שבא אל הרופא ומראה לו את אפו שנתקף בידי חיידק טורף ועומד על בלימה. מפוחד כולו שואל האיש את הרופא אם עליו לנתח את האף. הרופא מביט מקרוב, בודק ובסוף פוסק – "לא, לא צריך לנתח". האיש נושם לרווחה, מאושר. והרופא ממשיך – "לא צריך לנתח, כי הוא ינשור מעצמו".

זה מה שיקרה גם עם הבולענים. הבולענים אינם דבר סטטי. אחרי שבולען נוצר הוא מתרחב לאט, אבל בהתמדה, כי ההתמוטטות שגרמה להופעתו נמשכת, כשם שנמשכת המסת המלח בידי מי התהום. כל הזמן נוצרים חללים נוספים, ואט אט חור ייגע בחור ובולען יתחבר לבולען הגדול שלידו וזה לבולען שאחריו עד שהשטח יתיישר כולו אבל במפלס נמוך יותר. וכך עד להתיישרות הסופית עם המפלס החדש

פני השטח



מודל היווצרות הבולענים לפי מחקריו של פרופ' שובאל (צילום: שלמה שובאל)



אבי אוהיון / לע"מ

קריסה נמשכת בבולען בקרקע מכוסה קונגלומרטים

אגב, כמדען אמיתי, המתבונן בטבע כגאולוג בעל פרספקטיבה של מאות אלפי שנים, פרופ' שובאל לא ממש מתרגש – ובוודאי לא מתאבל – לנוכח מה שנראה כגסיסתו של ים המלח. בהיבט ארוך טווח מדובר בתהליך טבעי בסך הכול – וכל תהליך טבעי מעורר בו עניין, לא עצב ולא שמחה. בכלל, ים המלח הוא ים צעיר, בן 12 אלף שנה בסך הכול. לא משהו בן מיליוני שנה. הוא שריד של אגם ענקי, אגם הלשון, שהשתרע מחצבה עד הכינרת, וכמו שאין מה להתאבל על אגם הלשון שנכחד, אין מה לבכות גם על ים המלח. צריך רק ליהנות ממנו אף שחלים בו שינויים. ליהנות ממנו ולחקור אותו. ■

של ים המלח ושוב לא ייווצרו בולענים חדשים כי כל שכבת המלח תימס וכל המערכות יתאימו את עצמן לבסיס הסחיפה החדש והסופי של ים המלח.

אסון – ולא "הצלה"

ומה אם ינסו להציל את ים המלח באמצעות הזרמה של מים מבחוץ באמצעות "תעלת ימים" כלשהי מהים התיכון או מים סוף? פרופ' שובאל מבטל את האפשרות הזאת כבדיחה גרועה. לדבריו, מדינת ישראל לא יכולה לוותר על ים המלח בצורתו המוכרת לנו מכיוון שהיא אינה יכולה להרשות לעצמה כל פגיעה במפעלי ים המלח, בעלי החשיבות הכלכלית האדירה. פעילותם התקינה של מפעלי הים המלח תלויה בצלילות מי הים בים המלח. הצלילות הזאת חיונית ליעילות תהליך האידיוי בבריכות האידיוי של המפעל. הזרמה של מי ים רגילים – מים התיכון או מים סוף – לים המלח תגרום להלבנת מימיו באחת וכל כדאיות תהליך ההפקה של האשלגן במפעלים תלך לאיבוד. המים יעכרו בגלל שקיעת גבס שמרכיביו המומסים מצויים במי ים רגילים אך לא במימי ים המלח. לא רק זאת, מי הים ייצרו שכבה מלוחה פחות שתתמלא באצות שיהפכו את האגם השקוף לביצה עכורה ודוחה שאיש לא ירצה לטבול בה וכל הערך התיירותי של הים ייעלם.

וכך הניסיונות להציל את ים המלח באמצעות הזרמה של מי ים אולי יגביהו את המפלס שלו אבל יהרסו את הים כפי שאנחנו מכירים אותו היום. ולכן מוטב לשכוח מניסיונות הצלה מן הסוג הזה. הדרך היחידה להילחם בירידת המפלס היא להזרים אליו מים מתוקים דרך הירדן – אולי מלבנון – אבל נכון להיום לא נראה שמישהו חושב על כך ברצינות.