

סוף שבוע

החשש: לונדון תהפוך לסיביר. מסע לגן עדן בעקבות שינויי הזרמים באוקיינוסים

צב ים בגלאפגוס. ההתבוננות בהם הביאה את דרווין לנסח את המשפט החשוב ביותר בתולדות המדע המודרני: "זה לא המין החזק או החכם ביותר ששורד, אלא זה שיכול להסתגל לשינויים" צילום: FOTOGRIIN/Shutterstock

יצאנו במשלחת מדעית לקצה העולם, לחקור פיסת טבע נדירה שהשתמרה ללא מגע יד אדם. אלא ששינויי זרמים באוקיינוסים מאיימים כעת על הפלא הזה, ולא רק עליו. לפי מחקרים חדשים, הם עוד עלולים להקפיא חלקים מאירופה

אבנר גרוס • איי גלאפגוס

2024 במאי 01 • 17:35

התראות במייל

צמד הטנדרים הלבנים מסוג טויוטה שבאו לאסוף אותנו מפתח הוטל פייסטה בשמונה בבוקר הפרו באחת את השלווה הטרופית של מזרח האוקיינוס השקט, והחזירו אותנו למראות אוקטובר במזרח התיכון. החלפנו מבטים זה עם זה. פרופ' אנטוניו ליאון־רייס, שותפנו המקומי למשלחת המחקר, הבחין בכך. "אל תדאגו, הוא יעלה בקלות בשבילי הבוץ ללוע הר הגעש!" לא זו הבעיה אמרנו, והסברנו לו על משמעותו הסמלית של הטנדר מאז אותו בוקר ארוך. אנטוניו התנצל אך הסביר כי אין בנמצא כלי רכב אחרים, מאחר שזהו צי המכונות הרשמי של איי גלאפגוס, חלק משיתוף פעולה בין חברת טויוטה לקרן חיות הבר

העולמית. איגואנה שחורה (באורך של חצי מטר לפחות) שהשתזפה לה בשמש וצפתה על המתרחש באדישות הזכירה לנו כי אנחנו לא בישראל אלא באי געשי קטן, כאלף קילומטר ממערב לאקוודור. עלינו לטנדר והתחלנו במסע.

איי גלאפגוס התפרסמו בעולם לפני כ-200 שנה כשספינת ה"ביגל" שיצאה מפלימות' שבאנגליה עגנה לחופיו של אי געשי קטן, סן קריסטובל שמו. מהספינה ירד גיאולוג צעיר בן 22, צ'רלס דרווין שמו. הצבע השחור החזק של סלעי הבזלת המבצבצים מקו החוף, יחד עם היובש המפתיע של האי (השוכן ממש על קו המשווה שלרוב גשום ולח), לא הותירו רושם על דרווין, שכתב במחברתו כי לאי יש "מראה מכוער שמזכיר מכרה פחם".

ימים בודדים אחר כך גילה דרווין שלא לגיהנום הגיע אלא דווקא לגן עדן. סן קריסטובל הוא חלק משרשרת איי גלאפגוס, שכוללת חמישה איים גדולים וכמה איים קטנים יותר, אשר בכל אחד מהם מגוון גדול של מינים אנדמיים שלא קיימים בשום מקום אחר בעולם, כמו צבי ענק, ציפורים ייחודיות ואיגואנות ים. בדילוג מהיר בין האיים זיהה דרווין תופעה מעניינת: המקור של מין ציפורים מקומי (שנקראו מאוחר יותר Darwin finches) משתנה בצורתו ובגודלו בין האיים ומותאם לגובה העצים ומרקם הפירות. כשתיצפת על צבי הענק המתהלכים לאיטם בין השיחים והסלעים, הבחין דרווין כי באיים הגשומים שבהם העשב הירוק והמזין זמין תמיד, צורת השריון מעוגלת. לעומת זאת, באיים יבשים שבהם עצי קקטוס תמירים הם מקור המזון העיקרי של הצבים, השריון חתוך בקצהו, מה שמאפשר לצבים להניף את צווארם הארוך מעלה ולהגיע לפירות הקקטוס המזינים. לימים יתברר כי תצפיות אלו של דרווין היו מהמשפיעות ביותר בתולדות המדע: בסוף הביקור הקצר באיים, בן חודש ימים בלבד, יצק דרווין את הבסיס למה שאנחנו מכירים היום כתיאוריית האבולוציה.

הסיבה לעושר המינים קשורה במיקומם הגיאוגרפי הקסום של איי גלאפגוס: נקודת המפגש של ארבעה זרמי אוקיינוס עיקריים, המובילים מים קרים מאנטרקטיקה הקפואה בתקופת הקיץ ומים חמים מפנמה הלוהטת בתקופת החורף. הזרמים סחפו לאורך אלפי קילומטרים בעלי חיים תועים כמו צבים,

איגואנות ופינגווינים, שהפכו את איי גלאפגוס לביתם החדש. לפי ההשערה, לפני מאות אלפי שנים נסחפו צב פרואני קטן ואיגואנה צ'יליאנית יבשתית על גזע עץ אקראי לעומק האוקיינוס, היטלטלו עם הזרמים וסיימו את דרכם לאחר כמה ימים באיים געשיים עירומים. הצב והאיגואנה עברו תהליך אבולוציוני מהיר כדי להתאים לסביבת חייהם החדשה והפכו, בטעות, להיות האבות הקדמונים של צבי ענק ואיגואנות ימיות שאפשר למצוא אך ורק באיי גלאפגוס. ההתבוננות בהם הביאה את דרווין לנסח את המשפט החשוב ביותר בתולדות המדע המודרני: "זה לא המין החזק או החכם ביותר ששורד, אלא זה שיכול להסתגל לשינויים".

איגואנות מקומיות. התנאים הייחודיים באיים יוצרים מצב שבו יצורים חובבי חום חיים לצד פינגווינים שמשגשים

בשלב צילום: Discover Marco / Shutterstock

הזרם האנטרקטי, שנקרא זרם ההמבולדט, מוכר לכל תושב באי בשל היותו הזרם "המחיה", שמספק בתקופת הקיץ חומרי הזנה חיוניים (נוטריינטים) ממעמקי האוקיינוס הדרומי היישר לחופי הארכיפלג. הנוטריינטים האנטרקטיים מדשנים את האצות, שבתורן מהוות מקור מזון לאיגואנות, דגים, כרישים, כלבי ים, פינגווינים וצבי ים, מה שהופך את המערכת האקולוגית הימית של האי לעשירה מאין כמותה. אחד המאפיינים של הגלאפגוס הוא ניגודיות עזה. בעוד בתקופת הקיץ, כשזרם ההמבולדט האנטרקטי שולט, הים שוקק חיים, הרי שביבשה זוהי תקופה של קמילה והתכנסות. הקיץ בגלאפגוס יבש, מאחר שהזרם האנטרקטי הקריר המקיף את האיים מאט את קצב יצירת העננים. ההאטה הזאת מובילה לתקופה ארוכה של יובש, שמקשה על החיים באי וצובעת אותו בצהוב. בחורף ההיפוך חד, כשהזרם הקריר מפנה את מקומו לזרם המים החמימים מפנמה, שמגבירים את האידוי והעננות ומביאים לגשמי ברכה שמרוויים את העשב, מעשירים את חיי היבשה והופכים את הצהוב לירוק בוהק. אולם מאחר שהזרם מפנמה עני בחומרי הזנה, בזמן שהיבשה חוגגת החיים בים הופכים למאתגרים במיוחד. לעתים נדמה כי זרמי הים מדביקים את האיים בסכיזופרניה הפכפכה, שיוצרת מראה סוריאליסטי שבו עצי קקטוס מדבריים שוכנים לצד עצים טרופיים ירוקים להפליא, ואיגואנות חובבות חום משגשות לצד פינגווינים אנטרקטיים שנהנים ממי הים הקרירים.

העושר שנסחף לכאן מכל קצוות תבל הפך עם השנים את הגלאפגוס למקום עלייה לרגל לחובבי טבע ללא מגע יד אדם. בשבילנו המדענים, שרשרת האיים המרוחקת היא מעבדה חיה, מגרש משחקים לבחינת השערות מורכבות על הטבע והאקלים. זכיתי להזדמן לאיים במסגרת משלחת מחקר קטנה שמומנה על ידי מענק מחקר משותף של אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, בית הספר לקיימות ושינויי אקלים של האוניברסיטה, וכן של אוניברסיטת סן פרנסיסקו דה קיטו מאקוודור. המשלחת כללה מלבדי את ד"ר דניאל פלחן מאוניברסיטת אריאל, הדוקטורנט אנטון לוקשין מאוניברסיטת בן-גוריון והמארחים שלנו פרופ' אנטוניו ליאון-רייס מאוניברסיטת סן פרנסיסקו דה קיטו והסטודנטית נואליה באריגה מדינה.

האי ברטולומה. תערוכה חיה שמציגה כיצד יכול היה להיראות עולמנו אילולא הפליא האדם את זעמו על הטבע במאות האחרונות צילום: Jess Kraft / Shutterstock

הגענו לגלאפגוס ברגע מוזר ונדיר. אחת לכמה שנים מתחממים מי האוקיינוס השקט באזור, כתוצאה מהיחלשות זרם המים המוסע מאנטרקטיקה הקפואה לעבר קו המשווה. השלכות התופעה הזאת, המוכרת בשם אל-ניניו, מורגשות בכל קצוות תבל, החל מבצורות וגלי חום באגן האמזונס, במרכז אמריקה, במערב אפריקה ובאסיה, ועד גשמי זעף ושיטפונות בפרו, אקוודור וקליפורניה. כשהאל-ניניו מגיע על כתפיה של התחממות עולמית מעשה ידי אדם, כדור הארץ מתערער. וכך קרה, כש-2023 היתה השנה החמה ביותר זה 100 אלף שנים לפחות. ההתחממות המואצת הובילה לאירועי אקלים קיצוניים הכוללים קריסת יבולים, שריפות נרחבות, הצפות וגלי חום חריגים. נראה כי 2024 ממשיכה את אותה מגמה. אצל המקומיים, נטישתו של הזרם האנטרקטי העשיר גורמת להיעלמות האצות הירוקות, שהן בסיס שרשרת המזון. ללא אצות מתפתחת תופעת הרעבה ימית כללית בגלאפגוס, כמו גם בחופי פרו ואקוודור. ההרעבה מביאה לתמותה המונית של דגים ולירידה של כ-90% באוכלוסיית האיגואנות הימיות בארכיפלג. גם לשינוי מחזורי זה התאקלמו המינים החיים באיים, אך משערים שהם יתקשו להסתגל לאקלים המשתנה, שצפוי לכלול האטה של הזרם הדרומי הקר שמזין את האיים, מה שעשוי לפגוע פגיעה קשה במערכת האקולוגית השברירית ממילא.

לצבי הגלאפגוס אין אוזניים. בהיעדר טורף טבעי, יכלו הצבים לווטר על חוש השמיעה ולגדול למשקל של 300 קילוגרם. כל זה נכון עד הופעת האדם, שצד אותם במשך שנים לטובת מאכל והפקת שמן. כשצב חירש חש בתדר ההליכה שלנו, דקות אחרי שאנחנו שמנו לב אליו, הוא התחיל לנשוף בחרדה והכניס את ראשו לשריון

הסיבה שבגינה נסענו לגן העדן שבקצה העולם היא לבחון אם הזנה דרך זרמי האוויר תוכל להוות תחליף להזנה דרך זרמי הים. ההשערה שלנו היא שחלקיקים עשירים בחומרי הזנה הנישאים על גבי הרוח בזמן סופות אבק ממדבריות צ'ילה ופרו, או על גבי אפר שריפות מיערות האמזונס הבוערים, יהוו מקור הזנה משלים היישר ממרום האטמוספירה. את חותמת ההזנה האטמוספירית חיפשנו בעליו של עץ ייחודי לגלאפגוס שנקרא סקלסיה (Scalesia), שגדל באזורים מרוחקים מיישוב בלוע הרי הגעש, במורדות ההרים ובין הסלעים באזורי החוף. העצים לא קלים לאיתור כלל וכלל, וכדי לזהות אותם נעזרנו בחוקרים וחקלאים מקומיים. בחיפושינו התבררנו ביערות עד, נשרטנו מקוצי ענק ופגשנו חיות שלא דמיינו שקיימות בכדור הארץ. על האדמה, בצדי השבילים, נחו איגואנות צהובות גדולות ועצלות וצבי ענק שרשפו בבהלה בכל פעם שהתקרבו. אחרי כמה ימים התרגלנו לפגישות אקראיות עם צב ואיגואנה, שהפכו להיות נפוצות למדי. מפגשים מעט נדירים יותר היו עם הפלמינגו הוורוד האצילי, בעל הרגליים הדקיקות, שהסתובב לו באלגנטיות ליד מקורות מים. בשמים מעלינו חגו נץ מזן מקומי ואינספור שקנאים שחורים (שנראים כמו דינוזאור מעופף). הם צללו באבחה בזה אחר זה לדוג את ארוחת הערב שלהם, וחזרו מן הים עם דג בפיהם. כשנכנסנו לרחוץ כדי לנוח מעט מחיפושינו, שחינו לצד עשרות כלבי ים. הם הצדיקו את כלביותם כשרצו לשחק איתנו והציקו לנו ללא הרף בניסיון לזכות בתשומת לב. לצדנו שחו גם צבי מים שלוויים יותר בגודל

של אדם בוגר, כרישי פטיש (שרק לאחר שהתרחקנו מהם בבהלה הבנו כי אינם מסוכנים לאדם) ודגים בכל הצבעים והגדלים. באחד המקרים, בייאושנו, נאלצנו לשמוע בעצתו של חקלאי מקומי שאיבד את מאור עיניו אך טען כי הוא מכיר את האזור כמו את כף ידו, ושלח אותנו לראש ההר למצוא את עץ הסקלסיה היחיד בסביבה. למדנו שלא תמיד כדאי לקבל הכוונה בג'ונגל מאדם עיוור. לאחר שנשרטנו מגדרות תיל ונפלנו זה אחרי זה לקן נמלי אש, חזרנו מבווישים, עקוצים ומזיעים לטויוטה הלבנה שחיכתה לנו תחת השמש הקופחת. מי שלא ביקר בקו המשווה יתקשה לתאר את עוצמתה של השמש. "זוהי קרינת השמש שאחראית להכל", הציע אנטוניו, והסביר שהקרינה החזקה, שחודרת לתוך הדנ"א של כל יצור חי ויכולה ליצור מוטציות, היא אחת הסיבות לאבולוציה המהירה של הצמחים ובעלי החיים באיים. את סופו של כל יום עבודה נהגנו לסיים עם שקית מיץ קוקוס ובירה קרירה על חוף שורץ כלבי הים, שנמצא בצמוד לתחנת המחקר של אוניברסיטת סן פרנסיסקו דה קיטו בסן קריסטובל.

כדי לחקור מערכת מורכבת כמו איי הגלאפגוס יש צורך בשיתוף פעולה של מומחים מתחומים שונים, כמו גיאולוגיה, גיאוכימיה, מדעי הצמח, חקר כדור הארץ ואקולוגיה. לכן, משלחת המחקר הקטנה שלנו כללה חוקרות וחוקרים עם מומחיות ספציפית בתחומים אלו. עם הזמן נוצרה חלוקת תפקידים קבועה באיסוף דגימות הסלעים, הקרקע וצומח. אנטוניו, אקולוג וחוקר צמחים המתמחה בגלאפגוס, ניווט והוביל את החבורה עם מצ'טה שנועדה להסיר ענפים ושרכים מהדרך, עד שזיהה את העץ המתאים שאותו יש לדגום. דניאל, גיאולוג וגיאוכימאי שמתמחה במעקב אחר מקורות חומר עתיק וחדש בשיטה איזוטופית ייחודית, לקח על עצמו לזהות את הסלעים המתאימים והכה בהם בפטיש במומחיות עדינה. לאחר מכן הכניס בזהירות את שבריהם למבחנות ייעודיות. אנטון, סטודנט מצטיין לדוקטורט בהנחיה משותפת של דניאל ושלי, תיעד את אופיו האקלימי והגיאוגרפי של האתר שבו אספנו דגימות, ולקינח שבר בריכוז עילאי תלכידי קרקע כדי לאסוף דגימות אדמה. נואליה, שמתמחה בזיהוי מחלות של צמחים, הופקדה על בחינת הבריאות של הצמחייה בנקודות

שבהן דגמנו, ואספה אזוב מענפי העצים הגבוהים. ואילו אני, חוקר שינויי אקלים וביוגיאוכימאי שמתעסק במחזור הפחמן וחוקר את מקורות הנוטריינטים בים וביבשה, לקחתי על עצמי את התפקיד הקל ביותר – חיתוך עשרה עלים מכל עץ, מה שהותיר לי מספיק זמן לתת עצות מיותרות לכולם. למרות השריטות, העקיצות וחום השמש, המסע הסתיים בהצלחה. כל החומר שנאסף תועד ונשמר במבחנות ושקיות מיוחדות, ונשלח לארץ. למעשה, שליחת החומר לישראל היתה החלק הקשה ביותר במחקר, והצריכה מאמץ עילאי מצד אנטוניו ונאליה להשיג את שבעת האישורים הנדרשים להוצאת הדגימות מהאיים, ש-97% משטחם מהווים שמורת טבע מנוטרת להפליא. כשיגיעו הדגימות לישראל, נעמול אנטון, דניאל ואני כדי לבחון את ההרכב הכימי והאיזוטופי של הסלעים, הקרקעות והצמחים, ונסיק את המסקנות העולות מהמחקר.

בני אדם רשאים להתיישב רק ב-3% משטח האיים, כך ש-25 אלף התושבים מתרכזים בכמה עיירות שלרוב ממוקמות למרגלות הר געש, ונמתח מהן כביש אחד בלבד המקיף את ההר. לשאר האזורים ניתן להגיע בהליכה או בעזרת סירה. מיעוט התושבים לצד הטבע השוקק מקנים שלווה המהולה בתחושת ראשוניות קוסמית. כישראלים שמכבדים את עצמם חקרנו את בילאבונג, מורה הדרך במסע הקיאקים שלנו להקפת האי, על האפשרויות לרכישת פיסת גן עדן גלאפגוסית, שתאפשר לנו לחיות את שארית חיינו בינות שקנאים, כלבי ים, צבי ענק ואיגואנות. לאכזבתנו המרה הוא סיפר כי המקומיים שומרים בקנאות על הארכיפלג הנדיר, ושתי הדרכים היחידות לקנות פיסת נדל"ן הן להיוולד שם או להתחתן עם תושב מקומי, אופציה שלא מתאימה לאף אחד מאיתנו, לפחות נכון לזמן כתיבת שורות אלה. לאחר תחקור קצר בזמן החתירה גילינו כי בילאבונג הספיק להינשא פעמיים לנשים מערביות (ולהעניק להן את האזרחות הנכספת), וכי למעשה זהו לא שמו האמיתי, אלא שם שניתן לו על ידי אשתו האמריקאית אשלי (שהשכירה לנו בית על הצוק הצופה על החוף, שבו לנו במהלך שהותנו באי). הוא סיפר שהגיע לאיים מכפר קטן ביערות האמזונס בשנות ה-80, לפני שעבר חוק התושבות. למרות ניסיונות רבים, נוכחנו לדעת כי אף אחד מחברי המשלחת המקומיים אינו זוכר את שמו המקורי שניתן לו על ידי אביו ואמו.

לשמירה ההדוקה על מספר התושבים הרשאים לגור בגלאפגוס יש היגיון רב, מאחר שבני האדם לא הוכיחו את עצמם כשומרי פלנטה מוצלחים במיוחד. חורחה, צעיר מקומי שעובד בחוות שיקום של צבי ענק (giant tortoise), הראה לנו כי לצבי הגלאפגוס אין אוזניים. כששאלנו לפשר היעדרן, הסביר לנו כי לאורך מאות אלפי שנים לצבים לא היה אף טורף טבעי, מה שאיפשר להם לגדול עד למשקל של 300 קילוגרם, להתרבות בהמוניהם, ואף לוותר לגמרי על חוש השמיעה, מאחר שלא היה בו צורך. כל זה נכון עד הגעת האדם, שצימצם את אוכלוסיית הצבים מ-300 אלף פרטים בימים שדרווין התהלך כאן, עד כדי 20 אלף בלבד באמצע המאה שעברה. לירידה התלולה הזאת אחראי ציד בלתי מבוקר לשם מאכל והפקת שמן. כיום הצב מזהה את האדם כטורפו היחיד. לפיכך, כשחש הצב החירש בתדר הליכה של אדם בקרבתו (בדרך כלל דקות ארוכות אחרי שאנחנו שמנו לב אליו), הוא מתחיל בטקס שכולל קולות נשיפה חרדתיים והכנסת ראש בבהלה לתוך השריון. חורחה הרגיע אותנו וטען כי מאמצי השימור בעשורים האחרונים עושים פלאים, ואוכלוסיית הצבים מתאוששת במהרה.

לא ראיתי באף מקום בעולם מאמצי שימור אקולוגיים כמו בגלאפגוס. רמת מודעות שכזו לטבע דורשת רגולציה הדוקה, אזרחים ממושמעים וכסף. הרבה כסף. בגלל היובש ותוואי השטח, החקלאות באיים מועטה, והכלכלה המקומית מבוססת ברובה על תיירות. מאחר שההגעה לאיים איננה זולה, אופי התיירים שונה מאוד מזה של אמריקה הלטינית, ומורכב ממעט תרמילאים שחסכו כסף במיוחד, מתושביהן המבוססים של הערים הגדולות באקוודור, מטיילנים מנוסים מסקנדינביה וגרמניה ומפנסיונרים מצפון אמריקה שהגיעו על גבי ספינות קרוז מפונפנות. והמחירים בהתאם. כך יצא שאת הארוחה הראשונה באי אכלנו במסעדת תיירים מפוקפקת על הטיילת בעיירה פוארטו איורה שבאי סנטה קרוז, שמחירה כמחיר ארוחה בתל אביב. מאחר שנסענו עם תקציב מוגבל, למדנו די מהר שברגע שמתרחקים שני בלוקים מהים מספר התיירים הולך ויורד, ואיתו המחירים. מאותו יום סעדנו את לבנו במסעדות פועלים שמגישות תמורת

חמישה דולרים אורז עם שעועית, בננה מטוגנת, מנה עיקרית לבחירה, כוס מיץ פסיפלורה ואחי, מילה חשובה במיוחד גם בגלאפגוס, רק שכאן היא אינה כינוי חיבה לחבר קרוב או לבן משפחה, אלא לתערובת החרף המקומית.

האיים נוצרו מתופעה נדירה יחסית שנקראת "נקודה חמה", שבה לבה תתימית נפלטת מצינור ממעמקי כדור הארץ. עם הזמן הלבה שנפלטה לאורך מיליוני שנים התקשתה, התעבתה וגבהה עד שביצבצה מעל פני הים. כך שלמעשה, האיים הם קצהו של הר געש הנטוע בעומק הים. מאחר שפני השטח של כדור הארץ מורכבים מסדרה של לוחות טקטוניים שנעים בקצב של כמה סנטימטרים בשנה, בעוד צינור הלבה נטוע בשכבות העמוקות של כדור הארץ ואינו זז, יצר הצינור קבוצה של איים בני גילים שונים. האי "הזקן", סן קריסטובל, בן 2.5 מיליון שנה, בעוד שהאי "הצעיר", פרננדינה, בן 500 אלף שנה בלבד. כנער צעיר, האי פרננדינה עדיין גדל ומטפס לגובה. כשבוע לפני שהגענו לאיים, התפרץ הר הגעש באי הצעיר, ולמעשה עיבה אותו ויצר שכבה נוספת של ארץ. אין הרבה מקומות בעולם שאפשר לחזות בהיווצרות חלקים חדשים שלהם בשידור חי. מאחר שגילו של האי הוא זה שקובע מה תהיה פוריות האדמה ומה יהיו תכונותיה, בכל אי מערכת אקולוגית נפרדת משכנתה. כפי שהתושבים המקומיים שומרים על אוכלוסיית האי מפני השתלטותם של תושבים זרים לא קרואים שישנו את אופיו, כך גם המערכות האקולוגיות קנאיות לפרטיותן ולא מקבלות אורחים לא קרואים. מקרה מעניין הוא של עץ הפומרסה (Pumarosa), מין שפלש לאיים לפני עשרות רבות של שנים בעקבות בני האדם, נטע שורשים והשתלט במהרה על מורדות ההרים תוך דחיקת מינים מקומיים שלא קיימים בשום מקום אחר. בשביל אנטוניו, המאבק בפומרסה התמיר הוא אישי, ובמחקר ארוך שנים הוא ניסה לבודד פתוגניים שידביקו רק את הפולש אך יפסחו על מי שנולדו, גדלו וצמחו בגלאפגוס מימים ימימה. רצה המקרה ואת עבודתו של אנטוניו עשה האי בעצמו, ללא עזרתו של האדם. בשנה האחרונה נדבקו יערות הפומרסה בפתוגן מסתורי שפוגע אך ורק בהם, מרקיב את עליהם ומחליש שת שורשיהם. קבוצות של עצים מרקיבים נראות בכל סיבוב במהלך נסיעה בכביש העקלקל המקיף את הר הגעש בסן קריסטובל. שלא כרגיל, מראה העצים המרקיבים הוא מחזה משמח, שגרם לאנטוניו לקרון

מאושר. הוא הוביל אותנו ביערות פומרוסה מרקיבים בהתרגשות גדולה, והצהיר כי נראה שהיערות הפולשים נמצאים בדרך הבטוחה להתמוטטות המיוחלת, שתאפשר למינים מקומיים שכמעט נכחדו להשתלט שוב על מורדות ההרים. כך קורה גם במקרה של הפטל, שלרוב נתפס כמתנה אלוהית לאדם, אך בגלאפגוס הוא מין פולש אגרסיבי במיוחד, שזרעיו הגיעו כנראה בסוליות נעליו של סוחר הודי והתפשטו לכל עבר. לפני כשנה זיהתה נואליה מקבץ של נקודות שחורות על עליהם של שיחי הפטל. כשבודדה את החיידקים שעל הנקודות, זיהתה פתוגן שלא היה מוכר בעבר, המסוגל להדביק את הפטל לבדו מבלי לפגוע בצמחייה המקומית. התקווה של נואליה ואנטוניו (ושל כולנו) היא שהאי מפעיל את קסמיו פעם נוספת ודוחק את הפטל הפולש בחזרה למקום שממנו הגיע.

איי גלאפגוס הם פיסת עולם אלטרנטיבית. חלקת גן עדן קדומה. תערוכה חיה שמציגה כיצד יכול היה להיראות עולמנו אילולא הפליא האדם את זעמו על הטבע במאות האחרונות. מחשבות אלה ליוו אותי בדרכנו הארוכה חזרה מזרחה, לכאוס המזרח-תיכוני, כשחצינו את האוקיינוס האטלנטי. שינויים בזרמים של האוקיינוסים מאיימים לפגוע לא רק בגלאפגוס, אלא בשורה של מוקדים ברחבי העולם. המקרה של האוקיינוס האטלנטי מזמן תמונה קודרת במיוחד. גילוי חדש שפירסמה קבוצת חוקרים מהולנד בכתב העת היוקרתי *Science Advances*, הראה בעזרת מודלים וסימולציות מורכבות כי אנחנו מתקרבים לנקודת מפנה של ממש באקלים כדור הארץ: זרם ההתהפכות האטלנטי (*Atlantic Meridional Overturning Circulation*, או בקיצור AMOC) — זרם מרכזי במערכת הזרמים שמערבבת את מי האוקיינוסים ומסיעה חום, חמצן וחומרי הזנה בין האזורים השונים — נמצא על מסלול האטה עד כדי עצירה מוחלטת, כתוצאה מהמסת הקרחונים. עצירת ה-AMOC נחשבת לאחת מנקודות המפנה האקלימיות שצפויות מעל סף התחממות מסוים. ההתפתחויות האלה יהיו בלתי הפיכות, ועתידות להשפיע באופן נרחב על כדור הארץ.

המחקר החדש מצטרף לשורת מחקרים שראו אור בשנה האחרונה ומאשרים את החשש כי זרם ה-AMOC רגיש לעליית הטמפרטורה יותר משחשבנו בעבר, ולמעשה כבר נע לעבר התמוטטות עתידית. נתונים חדשים על התמוטטות ה-AMOC הוצגו רק החודש בכנס של האגודה הגיאופיזית האירופית באוסטריה, שאליו נסענו דניאל, אנטון ואני להציג את תוצאות מחקרנו, לצדם של כ-20 אלף מדעניות ומדעני אקלים וחקר כדור הארץ ממעל 100 מדינות. זהו הכנס המדעי הגדול מסוגו בעולם, שנערך מדי אפריל במרכז הכנסים הבינלאומי של וינה, מאז 2002. האווירה היתה קודרת במיוחד במושב המפתח שסיכם את המחקרים האחרונים על מצבן של נקודות המפנה האקלימיות.

**האיים נוצרו מפליטת לבה, ולמעשה הם קצהו של הר געש
הנטוע בעומק הים. האי הצעיר פרננדינה, בן 500 אלף שנה,
עדיין גדל ומטפס לגובה. כשבוע לפני שהגענו לאיים, התפרץ
הר הגעש ויצר שכבה נוספת של ארץ. אין הרבה מקומות
בעולם שאפשר לחזות בהיווצרות חלקים חדשים שלהם
בשידור חי**

האטה של זרם ה-AMOC עד כדי עצירתו מתרחשת כאשר מי הים באזור האוקיינוס האטלנטי הצפוני מדוללים במים מתוקים, שמקורם בהפשרת הקרחונים ובעלייה בכמות הגשם ובספיקת הנהרות באזור. התנגשות בין המים המדוללים ובין מים חמימים שצפיפותם נמוכה, הזורמים צפונה מקו המשווה, עלולה הלכה למעשה למוטט את ה-AMOC. מחקרים גיאולוגיים מראים כי זו לא תהיה הפעם הראשונה שבה ה-AMOC מתמוטט. למעשה, תהליך דומה התרחש לפני 12 אלף שנה, בזמן היציאה מתקופת הקרח האחרונה, כשכדור הארץ היה מאוכלס בדלילות. ה-AMOC התמוטט גם קודם לכן בעידן הבין-קרחוני הקודם, לפני 130 אלף שנה לערך, כשהטמפרטורה בכדור הארץ היתה גבוהה רק במקצת מהיום. בשני המקרים התהליך הוביל לכך שהאקלים בכדור הארץ התערער למשך כמה מאות או אלפי שנים, וזיעזע את החי והצומח באופן משמעותי.

בהתבסס על מחקרים אלו, ובתוספת של מדידות חדשות, מודלים וחישובים מתוחכמים, מתריעים המחקרים האחרונים כי ההתמוטטות עלולה להתרחש כבר במאה הנוכחית, וייתכן שאף בעשורים הקרובים – מועד מוקדם בהרבה מהתחזיות שהיו לנו עד כה. עד המחקרים האחרונים העריכו מדענים כי ההתמוטטות ה-AMOC היא תהליך אטי שיתרחש רק ברמות התחממות גבוהות יותר. כלומר, נראה כי ה-AMOC פחות יציב מכפי שהערכנו. ברוב ההרצאות חזרה הטענה כי כבר ברמת התחממות של 1.5 מעלות מעל הטמפרטורה טרום המהפכה התעשייתית, סף שאליו אנחנו צפויים להגיע בתוך עשור, יעלה מאוד הסיכוי לחצייתן של נקודות מפנה אקלימיות כמו ה-AMOC. ואלו כמובן חדשות רעות.

מחקר של קבוצה בריטית הראה כי ההשפעות של התמוטטות ה-AMOC עלולות להיות מרחיקות לכת: נוסף על פגיעה בשרשרת המזון הימית ובזרמי הים, מעריכים החוקרים שההתמוטטות תוביל לחורפים קפואים בבריטניה ובסקנדינביה, שבהם הטמפרטורות יצנחו ב-10 עד 30 מעלות צלזיוס בהשוואה לחורפים היום. החוקרים בחנו את הנתונים הצפויים של לחות וטמפרטורת הקרקע באזורים החקלאיים באנגליה, וחזו כי יחד עם מגמת התייבשות צפויה, לא ניתן יהיה לקיים חקלאות ברחבי האי הבריטי, כך שהאזורים החקלאיים יהפכו לערבות צחיחות.

סולה כחולת רגל. בין מיני העופות הנדירים נתקלנו גם בשקנאים שחורים שנראים כמו דינוזאורים מעופפים צילום: Jessie Reeder/Getty Images

ואולם בעוד הסקנדינבים והבריטים יקפאו, ההודים, האפריקאים והאינדונזים עלולים לסבול מבצורות קשות: התמוטטות ה-AMOC צפויה לערער את העוצמה והתדירות של המונסונים ברצועת הגשם הטרופית, ולצמצם את תפוסת הגשם בדרום-מזרח אסיה, במערב אפריקה ובאמריקה הדרומית. המשמעות תהיה פגיעה במיליארדי בני אדם שתלויים בגשמים למחייתם.

נתונים חדשים מציעים כי ל-AMOC תפקיד מפתח בייצוב נקודות מפנה נוספות: התמוטטותו תפריע להסעת החום בין האוקיינוסים, מה שעלול לחמם

מאוד את מי הים הדרומי לחופי אנטרקטיקה. תהליך זה יאט מאוד את זרם ההמבולדט, שיפגע בגן העדן הגלאפגוסי, אבל חמור מכך, יאיץ את חצייתה של נקודת מפנה נוספת – המסת יריעת הקרח של מערב אנטרקטיקה. מכאן יונע מעגל משוב אכזרי שיכול להאיץ את חצייתן של נקודות מפנה נוספות כגון קריסת יער האמזונס, שיקבל פחות גשמים ועשוי להתייבש, וכן להאיץ את הפשרת קרקעות קפאת העד בסיביר, קנדה ואלסקה, שכולאות מתחתן כמויות גדולות של גזי חממה עתיקים שישתחררו לאטמוספירה. מחקר על נקודת המפנה באמזונס שהוצג בכנס הציע כי מגמת התייבשות שתהפוך את היער לסוואנה תוביל להתחממות מקומית בברזיל ובפרו של עד כ-6 מעלות. מיד לאחר הרצאה זו עלה לדבר חוקר גרמני, שדיווח כי 70% מהתשתיות באזורי מדינות הצפון ממוקמות על קרקעות קפאת העד שיופשו עד 2050, ולכן יש לצפות לקריסת מסילות רכבת, מתקנים תעשייתיים, כבישים, מפעלים ועוד. הנרטיב הסמוי שקישר בין כל הנתונים המדעיים והתחזיות המסובכות שהוצגו היה ברור: יציבותו של זרם ה-AMOC והימנעות מחצייה של נקודות המפנה האחרות הן שיקבעו הלכה למעשה את יציבותה של החברה האנושית.

**הגלאפגוס בסכנה בגלל שינויי זרמים באוקיינוס השקט.
במקביל, שינויי זרמים באוקיינוס האטלנטי עלולים לחולל
שלל גלי הדף: מחקר של קבוצה בריטית מזהיר מחורפים
כבדים בבריטניה ובסקנדינביה, עם צניחה של 10 עד 30
מעלות. החוקרים צופים שהחקלאות בבריטניה תבוא לקצה,
ושהודו תחווה בצורות קשות**

שינויי אקלים אינם זרים לכדור הארץ, שחווה תהפוכות גדולות לאורך ההיסטוריה, מתקופות שבהן האוקיינוסים והיבשות קפאו והכדור הכחול הפך ללבן (snowball earth), ועד לתקופות חמות שבהן הקרח באנטרקטיקה התחלף ביערות עד. במיליון השנים האחרונות נכנס כדור הארץ לשלב של מחזוריות אקלימית יציבה (באופן יחסי), בין תקופות קרח שאורכות 100 אלף שנה לתקופות בין-קרחונית חמימות של 15-20 אלף שנה לערך. המחזוריות

הזאת נובעת מתנועת כדור הארץ וסיבובו סביב עצמו וסביב השמש. לפיכך, כדור הארץ צפוי להיכנס שוב לתקופת קרח בעוד כמה אלפי שנים. ואולם לפי אחת ההרצאות המרשימות בכנס, שהותירה באולם לסתות שמוטות, השפעת האדם על הפלנטה עולה על השפעתם של כוחות הטבע. ההרצאה הראתה איך העלייה בריכוז גזי החממה באטמוספירה במאה האחרונה, כתוצאה משריפת דלקי מאובנים וכריתת יערות, תדחה את כניסתו של כדור הארץ לתקופת הקרח הבאה בטווח זמן של 50 אלף עד 500 אלף שנה. במילים אחרות, נראה כי בתוך כמה עשורים בלבד הצליחו בני האדם להפריע לריקוד מסונכרן בן מיליון שנה בין השמש לכדור הארץ.

החדשות הטובות הן שהתהליכים עדיין הפיכים. בשיחות המסדרון ובהרצאות בכנס אפשר היה לחוש בזרמים של אופטימיות זהירה. הוצעו מספר נקודות מפנה חברתיות, כלכליות וטכנולוגיות שחצייתן תאפשר לנו בתוך זמן קצר להפחית את פליטות גזי החממה למינימום או להסירן ישירות מהאטמוספירה, ובכך להאט במידה ניכרת את מגמת ההתחממות. המסר הגלוי היה כי המדע הכי טוב שיש לנו מספר לנו כי עדיין נותר לנו חלון זמן להניע פעולות נחרצות לבלימת שינויי האקלים, וכך למנוע את חצייתן של נקודות מפנה אקלימיות ששמות בסכנה ממשית את המשך קיום החיים כפי שהם כעת. השינויים כבר מתרחשים בימים אלו בכל מערכות כדור הארץ ומשפיעים על כלל המערכות האקולוגיות והאנושיות, וכבר עכשיו מעמידים אותנו, בני האדם, במבחן שקבע דרווין: לא החזקים ולא החכמים ישרדו, אלא אלה שיכולים להסתגל לשינויים.

אבנר גרוס הוא ראש המעבדה לחקר שינויי אקלים באוניברסיטת בן-גוריון בנגב

הצג עוד

מערכת | הנהלה | מדיניות פרטיות | תנאי שימוש | צרו קשר | רכשו
מינוי | ביטול מינוי דיגיטלי | שאלות ותשובות | פרסמו אצלנו

חדשות, ידיעות מהארץ והעולם - הידיעות והחדשות בעיתון הארץ. סקופים, מאמרים, פרשנויות ותחקירי עומק באתר
האיכותי בישראל

© כל הזכויות שמורות להוצאת עיתון הארץ בע"מ