

אקלים סביבה וחברה – גישות מערכתיות לקיימות

למידה מהשלכות של תנודות אקלימיות על חברות אנושיות היסטוריות: רטוריקה אקדמית או סיוע למדיניות הסתגלות?

עמית טובי¹, לי מרדכי¹

amit.tubi@mail.huji.ac.il

1. האוניברסיטה העברית

השלכות שינויי האקלים על חברות אנושיות טומנות בחובן אי וודאות רבה. לאור כך, חוקרים רבים פונים אל העבר כמקור לאנלוגיות המבוססות על 'ניסויים שהושלמו' בהשפעותיהן של תנודות אקלימיות על חברות ותגובותיהן לאירועים אלו. גוף מחקרי הולך וגדל טוען כי אנלוגיות אלו יכולות לשמש כבסיס ליצירת מדיניות הסתגלות לשינויי אקלים. אחד ממקרי הבוחן הדומיננטיים ביותר הינו השפעתן של בצורות על קריסת אימפריית המאיה. במסגרת המחקר נערך ניתוח מקיף של הספרות העוסקת בלמידה ממקרה זה. לשם כך, זוהה ומוין גוף הספרות הרלוונטי, ולאחר מכן נותח לאור מספר אלמנטים המתארים את אופן, מידת וסוג הלמידה מהעבר ואת המסקנות הקשורות בכך.

הממצאים מראים כי למרות שמחקרים רבים מצהירים שמטרתם הינה ללמוד מהעבר, רובם הגדול אינו מתאים את שיטת המחקר למטרה זו ומשתמש בטיעון הלמידה והתרומה להווה בעיקר כהצדקה למחקר. כמו כן, רק חלק זעום מהמאמרים דן במגבלות הלמידה מהעבר, על אף מגבלות רבות הכרוכות בתהליך זה ובהסקה ממנו. בממד המרחבי, מאמרים רבים טוענים כי מסקנותיהם תקפות לחברות ומערכות אקולוגיות רבות, ללא ההסתייגות הנדרשת בפרשנות ממצאיהם. בנוסף, המחקר העוסק במאיה מייצר מסקנות 'השראתיות' ורחבות מאוד ונמנע ממסקנות קונקרטיות היכולות לשמש כבסיס ליצירת מדיניות הסתגלות לשינויי אקלים.

מחקר זה מראה כי על מנת לייצר מסקנות רלוונטיות ותקפות התורמות למדיניות שינויי אקלים בהווה, על המחקרים העוסקים בלמידה מהעבר להתאים את עצמם למטרות למידה זו – הן בפן האמפירי והן בפן הפרשני. עד ששינויים אלו לא יוטמעו במחקר, הלמידה ממנו עשויה להיות מוגבלת למדי, או גרוע מכך – לספק תובנות שאינן תקפות ויכולות לשמש כבסיס מוטעה לתהליכי קבלת החלטות הנוגעות לאחד האתגרים המרכזיים העומדים לפתחה של האנושות.

תרומתו המרכזית של המחקר הינה בחינה ביקורתית של השיח המתמקד בלמידה מהעבר. בחינה זו מאפשרת לנו להפיק קווים מנחים לחוקרים אשר מעוניינים לספק ידע הנוגע לפגיעותן של חברות עבר לתנודות אקלימיות והתמודדותן עם תנודות אלו, אשר יוכל לשמש מקבלי החלטות לשיפור מדיניות הסתגלות לשינויי אקלים בני זמננו.

בשדה המחקרי, מחקר זה חושף את הנתק שבין חוקרים לשדה קבלת ההחלטות, ומהווה צעד נוסף בקידום השיח הרב-תחומי העוסק בלמידה מהעבר, המשלב, בין היתר, פליאו-קלימטולוגים, היסטוריונים, ארכיאולוגים, גיאוגרפים, ואנשי מדיניות. לציבור, מחקר זה מנגיש ידע העוסק ביכולתו ללמוד מהעבר, נושא אשר מקבל לעיתים קרובות תשומת לב בבמות שונות.

אקלים סביבה וחברה – גישות מערכתיות לקיימות

השפעת טמפרטורה, צמחייה ואופי החומר האורגני על פוטנציאל ייצור מתאן בסדימנט שמורת החולה

אלון אנגרט¹, יואב עובד רוזנברג², רותם גולן³

regev.hamiel@mail.huji.ac.il

1. האוניברסיטה העברית
2. מכון וולקני
3. המכון בגיאולוגי לישראל

ביצות הן המערכת האקולוגית היעילה ביותר בטבע לאגירת פחמן יבשתי, אך הן גם המקור הטבעי הגדול ביותר למתאן (CH₄) גז חממה בעל פוטנציאל חימום גלובלי גדול בהרבה מפחמן דו חמצני (CO₂) ביצות סובטרופיות כמו ביצת שמורת החולה, בדרך כלל מתאפיינות בפליטות מתאן משמעותיות עקב האקלים החם, עושר הצמחייה בהן וזמינות נמוכה של קבלי אלקטרונים חלופיים. אומנם ידוע כי החום, הרכב הצמחייה והחומר האורגני משליכים על ייצור המתאן בביצות, אך כימות השפעתם על יצירת מתאן בביצות סובטרופיות מוגבל ולא מאפשר מידול ותכנון ראוי. מטרות המחקר היא לבחון כיצד טמפרטורה, הרכב צמחייה מקומית (כגון קנה מצוי וקרן טבול), ותכונות החומר האורגני בסדימנט מווסתות את קצבי הייצור של CO₂ ו-CH₄.

לפיכך, אספנו סדימנטים משלושה בתי גידול בשמורת החולה; גדת ביצה מוצפת, גדת ביצה שיבשה (שתיהן נשלטות על ידי צמחיית קנה מצוי), ואזור המים-הפתוחים שבו גדל קרן טבול. במעבדה, הסדימנטים עברו אינקובציה בשלוש טמפרטורות המייצגות תנאים אקלימיים שלועונת החורף, הממוצע השנתי, ותרחיש קיץ חזוי לסוף המאה (14°C, 23°C ו-33°C, בהתאמה). החומר האורגני אופיין לפי כמות ואיכות ולבסוף, מדדנו את הגזים שהבקטריות יצרו.

מצאנו התאמה חיובית בין טמפרטורה לקצבי הייצור של CO₂ ו-CH₄-בעוד חמצן דו-חנקני נותר מתחת לסף הגילוי בכל האינקובציות. בסדימנט מהגדה המוצפת קצב הייצור היה הגבוה ביותר, אך הסדימנט מאתר המים-הפתוחים יצר יותר CO₂ ו-CH₄ לגרם פחמן בקרקע. מצאנו כי אזור הגדה המוצפת אוגר יותר פחמן אורגני מאזור המים הפתוחים. האגירה נעשית ככל הנראה בזכות הפחמן שמקורו בקנה. בסדימנט מאתר הגדה שהתייבשה (עקב בצורת) לא נוצר מתאן חרף הרטבה מחדש של הסדימנט, מה שמדגיש את המשמעות של כניסה של חמצן אל הסדימנט. כימות ייצור המתאן נטו ורגישות לטמפרטורה, בהתחשב בקצב חמצון ממוצע של מתאן בביצות, הראה כי החולה פולטת פחות מחצי מכמות המתאן שביצה סבטרופית ממוצעת פולטת. מנגד, ניתוח רגישות קצב ייצור המתאן לטמפרטורה עלולה להעיד על עלייה מסיבית בייצור המתאן באתר החולה בחורפים החמים הצפויים כתוצאה מההתחממות הגלובלית.

המחקר מראה כי קיים בישראל פוטנציאל לשיקום ביצות ללא פליטות מסיביות של מתאן. מצאנו כי יש חשיבות לסוג הצמחייה בביצת החולה, הקנה המצוי מאפשר אגירת פחמן במחיר פליטות נמוך יחסית. בנוסף, תוצאות ראשוניות מראות כי אפיון הפחמן האגור בסדימנט מאפשר הבנה של פוטנציאל ייצור המתאן מהביצה. תוצאות אלו אם יתקיימו בביצות נוספות יכולות לסייע לתכנון וניהול ביצות משוקמות במחיר פליטות נמוך.

אקלים סביבה וחברה – גישות מערכתיות לקיימות

פירוק נשר צומח באזורים ים-תיכוניים – השפעת תנאי המאקרו-אקלים והמיקרו-אקלים

שי שכטר¹

schashay@gmail.com

1. האוניברסיטה העברית

פירוק חומר אורגני צומח (נשר) הוא תהליך מרכזי במחזור הפחמן הגלובלי, הנשלט לרוב על ידי פירוק ביולוגי. אולם, באזורים יובשניים המהווים כ-40% מהשטח היבשתי, זמינות המים מוגבלת, ולכן תהליכים אביוטיים מקבלים חשיבות מוגברת. עם זאת, התרומה היחסית של המנגנונים האביוטיים והבייוטיים לפירוק נשר המונעים על ידי גורמים אקלימיים באזורים יובשניים אינה ידועה.

המחקר בחן את השפעת תנאי המאקרו- והמיקרו-אקלים על פירוק נשר (איבוד מסה) בקיץ באזורים ים-תיכוניים בשני סוגי נשר: אלון מצוי (*Quercus calliprinos* = *Quercus coccifera*) וחיטת הלחם (*Triticum aestivum*). הנשר הונח על הקרקע ב-18 אתרים באגן הים התיכון, (12 בישראל, 6 בספרד), בכל אתר שני אזורים, מתחת לשיח/עץ ובשטח פתוח, שקיות נשר הונחו בשישה בלוקים לכל אזור. האתרים נבחרו לאורך גרדיאנט אקלימי בין קווי רוחב 29° ל- 42° .

תוצאות המחקר מראות כי לגורמי המאקרו-אקלים, בעיקר זמינות מים (משקעים או לחות יחסית אוויר) וקרינת שמש יש אפקט עיקרי על איבוד מסת הנשר. גשמי הקיץ נמצאו כגורם המשפיע ביותר, והביאו להאצה של כפי ארבעה באיבוד המסה בשני המינים.

גם תנאי המיקרו-אקלים היו משמעותיים: איבוד המסה היה גבוה יותר בשטחים פתוחים לעומת אזורים מתחת לשיחים. מודלים רבי-משתנים הראו כי משקעים (בספרד) ולחות יחסית (בישראל) הם הגורמים שחוזים באופן הטוב ביותר את איבוד המסה בנשר חיטה. השפעת קרינת השמש הייתה מתונה אך דומה בשני האזורים. נשר מסוג אלון נמצא פחות רגיש ללחות יחסית, כנראה בשל היחס הגבוה של ליגנון:חנקן ויכולת ספיחת אדי מים נמוכה. בנוסף, נמדדה עלייה בפחמן המסיס בנשר באזורים הפתוחים, המעידה על תהליך פוטו-כימי המגביר את זמינות החומר האורגני לפירוק ביולוגי.

תוצאות המחקר מדגישות את החשיבות של השונות האקלימית והיכולת למדוד אותה ברמת המיקרו-אקלים בהקשר של פירוק נשר ומחזור נוטריינטים. ניהול נכון של אזורים אקולוגיים תוך דגש על מגוון ושונות בתצורות צומח יכולים להשפיע רבות גורמי המיקרו-אקלים ועל קצב פירוק הנשר ומחזור הנוטריינטים במערכת. במערכות אקולוגיות יובשניות, חשיבות זאת גדלה במיוחד, שכן כמות החומר האורגני והנוטריינטים מוגבלת והתלות במחזור שלהם עולה. תוצאות מחקר עוזרות לתחזיות מחזור הפחמן תחת שינויי אקלים.

אקלים סביבה וחברה – גישות מערכתיות לקיימות

הבדלים סינופטיים ואקלימיים באירועי ארזיה במישור ימין

אפרים בריל¹, נועה בלבן², ניצה חייקין², אסף צבר³, גרג הנקוק⁴, יונתן לרון³, רועי יניב¹, עדי טורפשוין¹, אסף הוכמן¹

efraim.bril@mail.huji.ac.il

1. האוניברסיטה העברית
2. הקריה למחקר גרעיני – נגב
3. אוניברסיטת בן גוריון
4. אוניברסיטת ניוקאסל, ניו סאות' ווילס, אוסטרליה

מישור ימין משתרע על כ-100 קמ"ר מזרחית לעיר דימונה, ומורכב בעיקר מחולות מיוקניים. האזור מאופיין בכמות גשם שנתית ממוצעת נמוכה של כ-80 מ"מ. בשנים האחרונות בוצעו מדידות סחף רציפות (אירוזיה) במטרה לכמת ולהבין את קצב סחיפת הקרקע במישור, כאשר הממצאים הראו כי אירוע סחיפה משמעותי אינו נוצר אחרי כל יום גשם שנמדד, אלא רק מחמישית מהאירועים.

עבודה זו בוחנת את ההבדלים הסינופטיים והתרמודינמיים בין ימי גשם ללא אירוזיה לבין ימי גשם המלווים באירועי אירוזיה משמעותיים, וכן מנסה להעריך את תרומת השינויים האקלימיים בעשורים האחרונים לעוצמתם של אירועים אלו. לשם כך נותחו שדות אטמוספריים ברום ובקרקע, מדדי אי-יציבות, ופרמטרים הקשורים להסעת לחות, תוך השוואה שיטתית בין קבוצות הימים, באירועי גשם בחמש השנים האחרונות.

הממצאים מצביעים על כך שאירועי אירוזיה מאופיינים בתצורה סינופטית מיוחדת, הכוללת מערכות קרקע ורום עמוקות ודרומיות יותר מהמערכות השכיחות, לצד תנאים תרמודינמיים התומכים באי-יציבות אטמוספירית מוגברת ובהתפתחות תהליכי עליית אוויר אינטנסיביים. שילוב זה מאפשר היווצרות משקעים בקצבים עוצמתיים, אשר תורמים להתגברות תהליכי הסחיפה במישור.

בעבודה זו נבחנת גם השפעת ההתחממות הגלובלית באמצעות השוואת אנלוגים סינופטיים של אירועי האירוזיה הקיצוניים ביותר בין תקופה קרה (1980–2000) לתקופה חמה (2005–2025), לאחר ניטרול השפעתם של מצבי שונות טבעית (ENSO, IOD, NAO). הניתוח מצביע על כך שבתקופה החמה אירועי האירוזיה מתרחשים בתנאים חמים יותר ובליווי שינויים במבנה המערכות הסינופטיות ביחס למערכות השכיחות, המלווים בשינוי בדפוסי המשקעים המרחביים, ובפרט בהתחזקות בדרום הארץ. תוצאות אלו מדגישות את הרגישות של אזורים צחיחים למחצה לשינויים אקלימיים ואת הפוטנציאל להחרפת תהליכי אירוזיה בתנאי אקלים עתידיים חמים יותר.

מטרת מחקר זה היא להבין את התנאים הסינופטיים והאקלימיים המובילים לאירועי אירוזיה במישור ימין, אזור המאופיין בפעילות מזהמת ובהטמנת פסולת. תהליכי סחיפת הקרקע משפיעים ישירות על קבלת החלטות הנוגעות לעומק ובטיחות ההטמנה. תחת התחממות גלובלית צפויה החמרה באירועי גשם קיצוניים ואירוזיה, ומחקר זה תורם לשיפור חיזוי אירועים אלו ולניהול ארוך-טווח של אתרי הטמנה, תוך זיהוי הדפוסים האטמוספריים האופייניים לימי אירוזיה.

אקלים סביבה וחברה – גישות מערכתיות לקיימות

קוד המְשְׁמָרִיּוֹת 2026: כלי עדכני להטמעת יישומית של עקרונות האחריות התאגידית (ESG)

בני פירסט¹

benny.furst@mail.huji.ac.il

1. האוניברסיטה העברית

המושג ESG החל להיות שגור בעולם הסביבתי והעסקי ב־2004, כאשר הרעיון המרכזי בו הוא שהציבור הרחב ומשקיעים פיננסיים צריכים להעריך חברות כלכליות ולהחליט אם להשקיע בהן לא רק על פי ביצועיהן הכלכליים, אלא גם על בסיס מדדים כמותיים המשקפים את התנהלותן הסביבתית והחברתית. ואולם, הכוונות האותנטיות שליוו את המושג בראשיתו התחלפו במהרה בביקורת רבה ובעיקר למחלוקות בין גורמים עסקיים, ממשלות והציבור, בשל שלושה קונפליקטים: (1) האשליה שניתן להגיע לאיזון מלא בין פיתוח כלכלי לבין המחיר הסביבתי והחברתי הכרוך בו, אותו החברות העסקיות לא מוכנות או מסוגלות לשלם.

(2) עמימות של האחריות: המושג ESG מניח ביסודו כי השקעה סביבתית-חברתית תורמת גם לרווח הכלכלי והתדמיתי של התאגיד, בעוד שבפועל יותר רווחי עבורם לגלגל את תוצרי הלוואי השליליים (למשל זיהום אוויר מתחנת כוח) אל הציבור, מאשר לשאת באחריות מלאה על ההשפעות הסביבתיות כולן.

(3) בעיית מדידה: קשה לקבוע אמות מידה מוסכמות לדיווח של תאגידים ולמידת ESG. היעדר אמות מידה ברורות למדידת ESG גרמה לכך שקל יחסית ליצור מניפולציות שיווקיות (למשל תופעת ה-greenwash- ה"הִתְיַרְקָקוּת"). מטרת מחקר זה היא להציג לעומק את ערך היסוד הניצב בליבת המושג אחריות תאגידית, שהוא גם האמצעי העיקרי להתמודד עם שלושת הקונפליקטים לעיל: stewardship ("מְשְׁמָרִיּוֹת"). קוד המְשְׁמָרִיּוֹת (Stewardship Code, ובקיצור SC), שנקבע לראשונה בבריטניה בשנת 2010, השתכלל עם השנים, והחל מינואר 2026 הפך לכלי מנחה במדינות רבות. הרציונל מאחורי הקוד הוא ליצור ערך קיימותי לטווח ארוך ללקוחות, לצרכנים ולמוטבים מכל פעולת השקעה או פיתוח. הקוד כולל 12 עקרונות יישומיים הנחלקים לארבע קטגוריות:

א) יעדים ומשילות. ב) מדיניות ההשקעות. ג) מחויבות לטווח ארוך. ד) הקפדה על זכויות הקהילה ואחריות כלפיה. מחקר זה מציג את מהות ורכיבי קוד המְשְׁמָרִיּוֹת תוך המחשת התועלת הסביבתית והחברתית הגלומה בהם באופן מצטבר על מספר מקרי בוחן. מסקנת המחקר מראה כי למרות העליה הכמותית במספר דוחות האחריות התאגידית המוגשים בישראל, עדיין רחוקה הדרך מהטמעתם באופן מקיים בעסקים בינוניים וקטנים, בהם השיקול הכלכלי בלבד היה ונותר המרכזי.

בישראל, הנמצאת הנמצאת בפער משמעותי בתחום האחריות התאגידית ביחס לעולם, ניכר בשנים האחרונות שינוי מגמה חיובי, עם העליה הדרגתית בכמות דוחות האחריות התאגידית המתפרסמים. יחד עם זאת, מידת מהימנותם ובעיקר יישומם לטווח ארוך עדיין רחוק מליצור אימפקט משמעותי. מחקר זה, המציג לראשונה בישראל את מהותו ורכיביו של קוד המְשְׁמָרִיּוֹת החדש, עשוי לתרום להתעוררות המגזר העסקי בארץ ולהצטרפותו לרשת הגלובלית של גופים המיישמים בהצלחה עקרונות המיטיבים יותר עם החברה והסביבה.

אקלים סביבה וחברה – גישות מערכתיות לקיימות

גישה מספקת ודינמית לנקסוס מזון-אנרגיה-מים לקיימות

אריאל אבירם¹, ערן פייטלסון¹, שירה בוקצ'ין פלס¹

aviram.ariel@gmail.com

1. האוניברסיטה העברית

נקסוס המזון-אנרגיה-מים (FEW Nexus) היא מסגרת מושגית המתווה את יחסי הגומלין המורכבים בין שלושת הממדים הללו. היא משמשת גישות שונות לקיימות (sustainability) על ידי זיהוי האופן שבו שינויים בממד אחד משפיעים על האחרים, תוך יצירת רווחים או אילוצי פשרות (trade-offs). עם זאת, המחקר מצביע על כשל מובנה בגישות נקסוס לקיימות: בעוד שהן שואפות לרוב להשיג קיימות באמצעות אופטימיזציה של אילוצי פשרות, הן מתקשות להגיע להלימה מעשית. קושי זה נובע מכך ש-"קיימות" עצמה סובלת מעמימות הגדרתית וחסרה מסגרת אחידה, מה שהופך את הניסיון למזער פשרות באופן אופטימלי לבלתי אפשרי לרוב. כדי להתגבר על חסמים אלו, מחקר זה מציג מודל נקסוס דינמי לקיימות מספקת (Satisficing), המתעדף פתרונות מספקים העומדים בסף מוגדר על פני אופטימיזציה, ומתבסס על גישת השלילה הכפולה לקיימות (Double Negative). המודל מיישם באמצעות שיטת הקווים האדומים (The red-line method), המגדירה מרחב פעולה בטוח וצודק על בסיס קריטריונים קהילתיים למצב מקיים בהווה ובעתיד. לאחרונה ביצענו מחקר שדה בדודומא, טנזניה, בקהילות רחוקות ומבודדות המנותקות במידה רבה מתשתיות ממשלתיות (off-grid), ומרשת המזון העולמית, דבר המאפשר לחקור אותן במידה רבה כרשתות נקסוס נפרדות. במסגרת הפרויקט מופו ונותחו קשרי נקסוס בשמונה כפרים, ארבע כפרים שעברו התערבות טכנולוגית בהיבטים שונים של מים אנרגיה ומזון, וארבעה כפרים שלא. אינדקסים מדעיים, שולחנות עגולים וראיונות עם נציגי הקהילות שימשו לזיהוי נושאי מים אנרגיה ומזון הרלוונטיים לכל קהילה ולהגדרת הספים עבור כל נושא שזוהה. סקרים וניתוח GIS שימשו לאמידת המצב הקיים ביחס לקווים האדומים שהוגדרו. לבסוף, עבור כל כפר, מפת קשרי הנקסוס סונכרנה עם דיאגרמת הקווים האדומים ושמשה להעריך שלושה תרחשים: התערבות טכנולוגית מלאה (מים-אנרגיה וחקלאות), התערבות חלקית (מים-אנרגיה), ללא התערבות כלל. התובנות מאפשרת "לנווט" כל אחד מהנושאים לאזור הבטוח והצודק ובכך להגיע למצב מקיים בין ביטחון מים, אנרגיה ומזון למשאבי הטבע והסביב ובקהילות שנבחנו ואחרות באזורים דומים בעולם.

ברמה הגלובלית, הוא מספק כלים יישומיים לחיזוק חוסן בקהילות פגיעות וקידום יעדי ה-SDGs. בהיבט הישראלי תובנות המחקר יכולות לתרום למדיניות הסביבתית, בדגש על חיזוק החוסן באזורי הפריפריה והספר. המחקר מספק כלי תכנון יישומיים לניהול משאבים משולב (מים-אנרגיה-מזון), החיוניים במיוחד לאזורים מרוחקים המתמודדים עם אתגרי ביטחון משאבי. ברמת המדיניות העירונית והקהילתית, המחקר מקדם מודל "מלמטה למעלה" המאפשר לרשויות מקומיות לגבש תוכניות היערכות לשינויי אקלים המבוססות על צרכי השטח והקהילה.