

בחינת מהלכי הסתגלות לשינוי האקלים באמצעות ניתוחי עלות-תועלת – מדריך לקובעי המדיניות בישראל

עשהאל גרינפלד ^{[1]*}, גור אנגיל ^[2], דן ברודסקי ^[3], רן מעוז ^[4],
נועם שלמון ^[5], מעוז מילנר ^[5], עמיאל וסל ^[6] וניר בקר ^[1]

^[1] תל חי – אוניברסיטת קרית שמונה בגליל

^[2] בית הספר לכלכלה ע"ש איתן ברגלס, אוניברסיטת תל אביב

^[3] המחלקה לכלכלה ע"ש משפחת בוגן, האוניברסיטה העברית בירושלים

^[4] כלכלן סביבה עצמאי

^[5] EY Parthenon (Strategy and Transactions)

^[6] אגף חוסן אקלימי, המשרד להגנת הסביבה

* greenfasa@telhai.ac.il



סקירות



מפקדת פיקוד העורף, רמלה. הצללת המרחב הציבורי מסייעת להתמודדות עם עומסי חום | ביצוע: קבוצת אלוקל, צילום: אורן סונגו

תקציר

במסגרת ההיערכות הלאומית לשינוי האקלים מקדם המשרד להגנת הסביבה שימוש בכלים לתכנון ולתקצוב של מהלכי הסתגלות. במסגרת עבודת המטה עלה הצורך בניתוח עלות-תועלת של מהלכי הסתגלות ברמות שונות. לשם כך פותחה מתודולוגיה מקיפה לניתוח עלות-תועלת בליווי משרד האוצר, משרד ראש הממשלה ובנק ישראל. לצורך בחינת היערכות המתודולוגיה נותחו 20 צעדי הסתגלות ממגוון תחומים. מתוך כל הצעדים, שתי דוגמאות מוצגות במאמר: א. התקנת גגות ירוקים להפחתת עומס חום ונגר עירוני בתל אביב; ב. הקמת אזורי חיץ למניעת שרפות. ניתוח 20 הצעדים לדוגמה סייע בהיזון חוזר לצורך דיוק המתודולוגיה. במתודולוגיה בחרנו להשתמש במדדים כלכליים, כגון ערך נוכחי נקי וחס עלות-תועלת, ובהערכות לא-שוקיות להשפעות בריאותיות וסביבתיות. עקרון היסוד המוביל הוא שהשקעה מוקדמת בהסתגלות אינה רק כורח סביבתי, אלא מהלך כלכלי רציונלי המבטיח הקצאה יעילה של משאבים. תהליך הפיתוח והיישום מעלה כי ניתוח עלות-תועלת ישנם בפועל, חרף אתגרים של פערי נתונים ותמחור השפעות לא-שוקיות. אנו מציעים להגדיר ניתוח עלות-תועלת כשלב מחייב בבחינת פרויקטי הסתגלות ציבוריים גדולים, וכן ממליצים על הקמת תשתית נתונים לאומית ועל שילוב שיקולי צדק חלוקתי בקביעת סדר עדיפויות בהשקעות.

מילות מפתח: הסתגלות [אדפטציה] · הערכת סיכונים · חוסן עירוני · יעילות כלכלית · מדיניות סביבתית · ניתוח עלות-תועלת · שינוי האקלים

מבוא ורקע: אתגר ההסתגלות בישראל

שינוי האקלים, המונע בעיקר מפליטות אנתרופוגניות של גזי חממה, מוביל לשינוי יסודי בדפוסי מזג האוויר העולמיים והאזוריים. ישראל, כמו שאר מדינות מזרח הים התיכון, נמצאת באזור המוגדר כמוקדה (hot spot), שהשפעות שינוי האקלים חריפות בו במיוחד ביחס לממוצע העולמי. הטמפרטורה הממוצעת בישראל עלתה בכ-1.4 מעלות בין השנים 1950 ל-2017^[8], וצפויה לעלות ב-0.9 עד 1.2 מעלות נוספות עד 2050^[10]. נוסף על כך, צפויה עלייה דרמטית בתדירות גלי החום, מארבעה גלי חום בשנה כיום לשבעה עד שמונה גלים עד סוף המאה^[9]. לצד השינויים הללו חל שינוי משמעותי בפריסת המשקעים: בעוד שהכמות השנתית הכוללת צפויה לקטון בכ-10% עד אמצע המאה, בשלושת העשורים האחרונים כבר נרשמה עלייה של כ-20% בעוצמות הגשם המרביות, דבר המחריף את סכנת ההצפות העירוניות^[10]. בוצמן, מפלס הים התיכון צפוי לעלות ב-1.06 מטר עד 2100, מגמה המאיימת על תשתיות לאומיות לאורך קו החוף^[11,6].

לשינוי האקלים השלכות כלכליות; אומדנים מצביעים על כך שחוסר היערכות (inaction) עלול לעלות למדינה מיליארדי שקלים בשנה עד אמצע המאה^[7]. למשל, אומדן הנזק משינוי האקלים בתל-אביב-יפו לבדה מוערך ב-2 עד 4 מיליארד ש"ח בשנה עד שנת 2050^[12]. המאבק בשינוי האקלים נחלק למניעה או לבלימה של השינוי (mitigation) ולהסתגלות להשפעות שכבר אינן ניתנות למניעה (adaptation). בעוד שהמניעה מצריכה תיאום בין-לאומי, ההסתגלות היא עניין מקומי, שכל אזור נדרש לטפל בו באופן עצמאי, ולכן גיבוש אסטרטגיית הסתגלות לאומית הוא הכרחי.

במסגרת החלטת ממשלה מספר 4079 משנת 2018 הוטל על כלל משרדי הממשלה להכין תוכניות היערכות, ובמסגרת הצעת חוק האקלים שעברה בקריאה ראשונה בכנסת במהלך 2024, עוגן ניתוח עלות-תועלת (cost benefit analysis) כדרישה מחייבת מגופים ממשלתיים ומרשויות מקומיות בהכנת תוכניות ההיערכות שלהם^[7]. ככלי מרכזי לקביעת סדר עדיפויות בהשקעות ציבוריות, להקצאה יעילה של משאבים ולהפקת מרב הרווחה החברתית^[14].

בסקירת הספרות הבין-לאומית זוהו גישות מתודולוגיות חלקיות לניתוח עלות-תועלת של צעדי הסתגלות, אך לא נמצא מהלך לאומי מקיף המאחד אותן לכדי מסגרת עקבית ושימיה. אוסטרליה ובריטניה פיתחו מסגרות מתודולוגיות יישומיות המהוות צעד משמעותי בכיוון זה^[17,22]. במאמר זה אנו מציגים מתודולוגיה לאומית כזו שפיתחנו עבור ישראל, הנשענת על מסמכי מדיניות בין-לאומיים בסוגיות שונות, כדוגמת שילוב תועלת לא-שוקית מסוגים שונים בהתאם להמלצת הארגון לשיתוף פעולה ולפיתוח כלכליים (OECD)^[14] ובידוד התועלת המיוחסת לשינוי האקלים (CC) כפי שהציגה סוכנות הסביבה האירופית (EEA)^[18]. עם זאת, שילוב ניתוח עלות-תועלת במהלך תכנון ההיערכות הלאומית הוא חסר תקדים בעולם, והוא גם נשען על בחינת 20 צעדי הסתגלות להדגמה ועל כיוול של המתודולוגיה.

שיטות העבודה

פיתוח המתודולוגיה נעשה בהובלת המשרד להגנת הסביבה בסיוע אנשי אקדמיה ויועצים. בשלב הראשון נבנתה המתודולוגיה על בסיס סקירת ספרות מדעית ומסמכי מדיניות בין-לאומיים



אחד מצעדי ההסתגלות שנותרו לצורך בחינת היתכנות המתודולוגיה הוא מניעת הצפות בדרכי עפר בשימוש צה"ל | צילום: jdblack / unsplash



בתחזיות ברזולוציה גבוהה (כמו שינוי הסיכון לשרפה באזור ספציפי או שינוי הסבירות להצפה באגן ניקוז מצומצם). לשם ניתוח פרטני אמין יש צורך בתחזית ברזולוציה מקומית, שקשה לגזור ממודלים אקלימיים עולמיים, וטרם בוצעה עבור רוב ההשלכות של שינוי האקלים בישראל. הטיפול באי-ודאות אקלימית נעשה על-ידי התייחסות לתרחישי פליטות בתחומים שהנתונים אפשרו זאת, ובניתוחי רגישות עבור הפרמטרים המשפיעים על התוצאה, ובכלל זאת שיעור ההיוון, ערך חיים סטטיסטי (VSL), גודל הפרויקט, עלויות הקמה ותחזוקה, והסתברויות לנזק (כגון שיעורי תמותה מחום). לבסוף, בוצע תמחור השפעות לא-שוקיות, כגון שירותי מערכת אקולוגית והשפעות בריאותיות, על-ידי שימוש בערכי ייחוס מהספרות המקצועית והתאמתם למחירי השוק וליכולת הקנייה בישראל.

ממצאים מהעולם ומישראל

מחקרים רבים שבחנו צעדי הסתגלות ספציפיים זיהו יעילות כלכלית גבוהה במיוחד של פתרונות מבוססי טבע ומערכות התרעה מוקדמת, עם יחסי עלות-תועלת (Benefit-Cost Ratio – BCR) העולים על 1:2 ברוב המקרים ^[18]. דוגמה מובהקת לכך היא מערכת התרעה לגלי חום בעיר מלבורן שבאוסטרליה, שהפחיתה את שיעורי התמותה

ומקומיים. במסגרת זו הותאמו פרמטרים בין-לאומיים, כגון ערך חיים סטטיסטי (Value of Statistical life – VSL) ושיעור היוון (3% לפרויקטים ארוכי-טווח), למאפיינים הכלכליים-חברתיים של המשק המקומי. בשלב זה נערכו התייעצויות מקצועיות עם מומחים ממשד האוצר (אגפי תקציבים, החשב הכללי והכלכלן הראשי), בנק ישראל, המועצה הלאומית לכלכלה, המטה לביטחון לאומי (מל"ל) וחוקרים מובילים בתחום.

לאחר מכן, לצורך בחינת היתכנות המתודולוגיה, נבחרו 20 דוגמאות לצעדי הסתגלות על בסיס קריטריונים של רלוונטיות לסיכוני המפתח בישראל (חום, הצפות ועליית מפלס ושרפות), זמינות נתונים כמותיים, וגיוון מגזרי הכולל בריאות, תשתיות, מים וחקלאות, אנרגיה, תחבורה וטבע. עבור כל דוגמה נבנה מודל חישובי על תבניות אקסל במסגרת מתודולוגית אחידה, שהותאמה לכל מקרה בהתאם למבנה העלות והתועלת הייחודי לו. לכל דוגמה שנותחה צורף הסבר בקובץ טקסט המפרט את נוסחאות החישוב ומסביר למשתמשים העתידיים בניתוח כיצד ניתן לעדכן פרמטרים והנחות בהתאם למידע חדש שיתקבל בעתיד.

בתהליך הפיתוח והניתוח של המתודולוגיה התברר שהאתגרים המרכזיים בניתוח עלות-תועלת של הסתגלות הם פערי נתונים והצורך

על קצה המזלג

- * הסתגלות לאומית לשינוי האקלים אינה כורח סביבתי בלבד, אלא מהלך כלכלי רציונלי המבטא הקצאה יעילה של משאבים מוגבלים, שיצמצמו נזקים שעלולים להאמיר למיליארדי שקלים בשנה.
- * המאמר מתאר מתודולוגיה המבוססת על ניתוחי עלות-תועלת שפותחה כדי לסייע לקובעי המדיניות הלאומית להשוות בין חלופות ולקבוע סדר עדיפויות על בסיס הכדאיות החברתית והכלכלית.
- * כ-75% מצעדי ההיערכות הפוטנציאליים שנבחנו שבאמצעות מתודולוגיה זו, הציגו כדאיות כלכלית מובהקת. התועלת הבריאותית היא הדומיננטית ביותר, ומהווה 60–85% מסך התועלת.
- * אתגר מרכזי ביישום המודל הוא הפער בנתונים מקומיים ברזולוציה גבוהה, מה שמחייב הקמת תשתית ידע לאומית ופורטל סיכוני אקלים אחיד לכלל המשק.
- * שימוש בניתוחי עלות-תועלת צריך לשמש תנאי סף לתקצוב פרויקטים ציבוריים גדולים, תוך שילוב שיקולי צדק חלוקתי והגנה על אוכלוסיות

מערכת אקולוגיה וסביבה

קבלת ההחלטות, ומשפיעים על תקציב העיר^[12]. ידע זה מצטרף לעבודת המנהלת להיערכות לשינוי האקלים, הפועלת לריכוז נתונים אמפיריים ומדעיים כבסיס למדיניות לאומית^[5]. במגזר החקלאי ובמשק המים נבחנה הכדאיות של הגדלת היקפי ההתפלה וייעול מערכות ההשקיה כאמצעי הסתגלות מרכזיים^[16]. כמו כן, נבחנו השפעות שינוי האקלים על הסתגלות של גידולים חקלאיים בתרחישי מדיניות שונים^[21]. אחד האתגרים המרכזיים שזוהו בשני המקרים הוא הקושי להפריד באופן מתודולוגי בין הסתגלות אוטונומית (התאמות המתרחשות מעצמן דרך מנגנוני השוק, ללא תכנון או התערבות ממשלתית), לבין הסתגלות מתוכננת הנובעת ישירות מהתגובה לשינוי האקלים.

למול עושר הניתוחים המקומיים והמגזריים נותר פער בניתוח משולב ברמה הלאומית המאפשר קביעת סדר עדיפויות מושכל לחלוקת משאבים בין המגזרים השונים. המתודולוגיה המוצגת במאמר זה נועדה למלא את החוסר ולספק בסיס כלכלי אחיד להקצאה יעילה של השקעות ציבוריות, תוך התבססות על תרחישי שינוי האקלים המוסכמים ועל מודלים של ניהול סיכונים^[7].

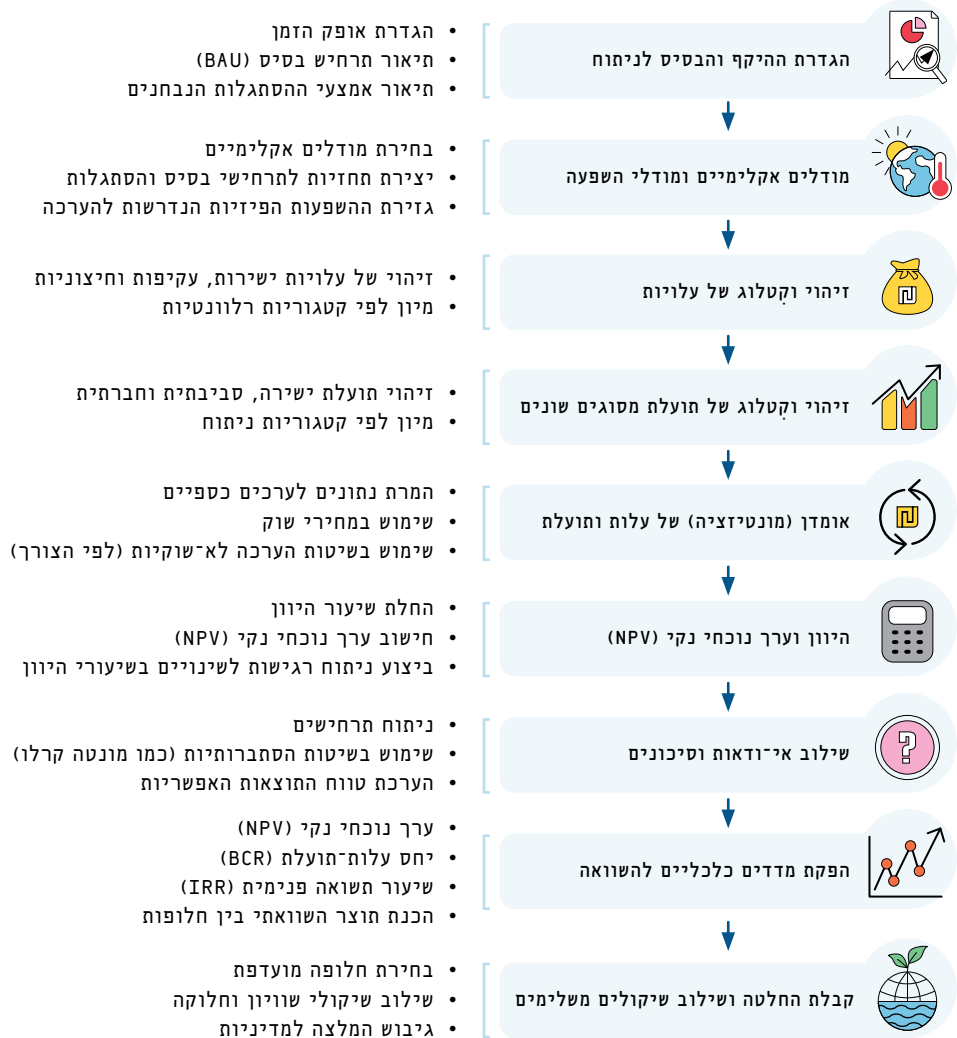
המתודולוגיה המוצעת

המתודולוגיה מתבססת על יעילות קלדור-היקס^[20], עיקרון שלפיו צעד נחשב כדאי מבחינה חברתית אם התועלת הכוללת לחברה עולה על העלות הכוללת, ללא קשר לחלוקת הרווחים בין הפרטים. לכן מיפוי העלות והתועלת כולל הן את השחקנים מהמגזר הפרטי וכן היבטים ציבוריים, מבלי להיכנס לסוגיה של זכויות קניין, מימון או צדק חלוקתי. תוצאות הניתוח מספקות אינדיקציה לכדאיות החברתית של הצעד: יחס עלות-תועלת גבוה מעיד על כדאיות גבוהה, יחס נמוך מ-1 מעיד על חוסר כדאיות, ויחס הקרוב ל-1 מאפשר השוואה בין חלופות וקביעת סדר עדיפויות בין צעדי הסתגלות שונים. ההבחנה בין תועלת פרטית וציבורית חשובה לטובת המלצות המדיניות וקבלת החלטות על קידום צעדי הסתגלות.

תהליך הניתוח המובנה, כפי שמוצג ב**איור 1**, כולל מספר שלבים עוקבים המתחילים בהגדרת הסיכון האקלימי ובזיהוי הנזקים הצפויים מהצפות, מעליית מפלס הים, מחום או משרפות. לאחר מכן מתבצע מיפוי של צעדי הסתגלות, הבוחן חלופות הנדסיות, פתרונות מבוססי טבע או שינויי מדיניות, ונערך אומדן עלויות שכולל השקעה, תחזוקה ועלויות עקיפות. אומדן התועלת מתבצע דרך כימות הנזקים שנמנעו והתועלת המשנית על בסיס ממצאים מהספרות ונתונים מקומיים (ראו **נספחים 1, 2** באתר כתב העת) ולאחריו מתבצעים היוון וחישוב של מדדי הערך הנוכחי הנקי (NPV), סך רכיבי התועלת בניכוי העלויות מהווות לערך הנוכחי ויחס עלות-תועלת (BCR) לאורך חיי הפרויקט. התהליך מסתיים בניתוח רגישות לבדיקת עמידות התוצאות בתרחישים שונים ובמתן המלצות לקביעת סדר עדיפויות בין החלופות^[13].

ב-40% בעלות נמוכה יחסית, שנאמדה במיליוני דולרים בודדים^[22]. מחקר שנערך במינכן מצא כי צעדי הפחתת עומסי חום, כגון גגות ירוקים ונטיעת עצים עירוניים, מניבים תועלת כלכלית בעיקר בשל הפחתת תמותה (28–40%) ולא דווקא מחיסכון באנרגיה^[19]. בהקשר של הגנה על חופים, מחקר במערב אפריקה העלה כי אסטרטגיות של נסיגה מתוכננת והתאמת מבנים קיימים זולות פי 8 עד 50 מהקמת חומות ים הנדסיות, ומספקות רמת דומה של תועלת^[15]. בישראל הצטבר ידע משמעותי במגזר האקדמי והציבורי. עיריית תל-אביב-יפו הובילה מחקר מקיף שהעריך את נזקי האקלים הצפויים בעיר במיליארדי שקלים בשנה, כולל עלויות ישירות שהעירייה תידרש לשאת בהן. הממצאים הללו שולבו בתהליכי

איור 1. תרשים סכמטי של תהליך ניתוח עלות-תועלת של צעדי הסתגלות לשינוי האקלים



כפי שמוצג ב**טבלה 1**, יצירת אזור חיץ מסביב ליישוב מהווה השקעה כדאית בעלת ערך נוכחי נקי חיובי יחס עלות-תועלת של 1.44. עיקר הערך הכלכלי מתקבל מן התועלת הציבורית. פירוט כל מרכיבי העלות והתועלת לדוגמה זו מופיע ב**נספח 2**.

ממצאים והמלצות למדיניות

ממצאים עיקריים: יעילות כלכלית ובריאות הציבור

20 הניתוחים שבוצעו מדגימים כי ניתוח עלות-תועלת הוא כלי ישים להערכת צעדי הסתגלות לשינוי אקלים, חרף האי-ודאות המובנית, ומספק אינדיקציה אמיתית לכדאיות: כ-75% מצעדי ההסתגלות שנבחנו הציגו כדאיות כלכלית מובהקת (יחס עלות-תועלת הגבוה מ-1). הניתוח חושף כי התועלת הבריאותית היא הדומיננטית ביותר, ומהווה בין 60% ל-85% מסך התועלת, נתון המדגיש כי השקעה בהסתגלות היא הלכה למעשה השקעה בבריאות הציבור. כמו כן, בולטת היעילות הגבוהה של צעדי "ללא חרטה" (כגון פתרונות מבוססי טבע ויעול השימוש באנרגיה) ושל מערכות התרעה מוקדמת, המציגות תשואות גבוהות במיוחד בהשוואה לפתרונות הנדסיים כבדים.

עם זאת, ניתוחי הרגישות מלמדים כי התוצאות רגישות למאפיינים המקומיים של כל פרויקט. למשל, גגות ירוקים בתל אביב מציגים כדאיות כלכלית רק כאשר שווי הנדל"ן עולה על כ-30,000 ₪ למ"ר, ובאזורים בעלי מחירי דיור נמוכים יותר יחס העלות-תועלת יורד מתחת ל-1. באופן דומה, אזורי חיץ מפני שרפות מאבדים את כדאיותם בשיעור היוון של 4% ומעלה. הממצאים האלה מדגישים כי הכלי אינו מוסיף "חותמת כשרות" אוטומטית לפרויקטים, אלא מחייב כיול מדוקדק לתנאים המקומיים וביצוע מבחני רגישות לפרמטרים המשפיעים על התוצאה.

המלצות למדיניות: אסדרה, מידע ומתודולוגיה

הטמעת הכלי במגזר הציבורי מחייבת פעולה משולבת במישור המוסדי ובמישור המידע. ברמה המוסדית מומלץ לקבוע רף מחייב, שלפיו כל פרויקט הסתגלות ממשלתי או עירוני בהיקף העולה על 50 מיליון ש"ח, סף המתאים למדרגת הפרויקטים הגדולים בתוכנית ההיערכות הלאומית^[7], יחויב בביצוע ניתוח עלות-תועלת כתנאי לתקצוב. לשם כך יש להכשיר כלכלנים במשרות ציבוריות ולהנגיש כלים לרשויות ולמשרדי הממשלה. ב־בזמן, יש לבסס תשתית ידע לאומית, שתפורט בדו"ח שיפורסם בהמשך, ושתכלול שלושה עוגנים: פורטל סיכוני אקלים למיפוי ברזולוציה גבוהה, מרכז נתונים שיספק תרחישים סטנדרטיים אחידים לכלל המשק, ומאגר נתונים אמפירי לעלויות ולנזקים.

על הניתוחים העתידיים להתבצע בשקיפות מלאה ולכלול מבחני רגישות קפדניים לבחינת עמידות התוצאות (רשימת 20 הניתוחים לדוגמה שבוצעו במסגרת הפרויקט מפורסמת ב**נספח 3**).

פרמטרים מרכזיים לניתוח נקבעו לטובת אחידות בין משרדי הממשלה השונים. ריבית ההיוון נקבעה על 3%, שהוא הסטנדרט הבין-משרדי לפרויקטים ציבוריים ארוכי-טווח בעלי השלכות בין-דוריות^[3]. בתחומים שפורסמו בהם תחזיות אקלימיות מפורטות, השתמשנו בתרחיש SSP2-4.5 (הנחשב לתרחיש ביניים, שבו המגמות הנוכחיות ממשיכות ללא שינויים דרמטיים לטובה או לרעה) ובתרחיש SSP5-8.5 (הנחשב לתרחיש קצה של המקרה הגרוע ביותר) כדי להראות טווח של השפעות אקלימיות. עבור השפעות בריאותיות השתמשנו בערך חיים סטטיסטי (VSL) מותאם לישראל, הנאמד בכ-15 מיליון ש"ח, ובערכי שירותי מערכת אקולוגית משולבים על בסיס מסמכי מדיניות ממשלתיים עם השלמות מהספרות המקצועית^[4].

דוגמאות לניתוח צעדי הסתגלות

להלן שתי דוגמאות לתוצאות ניתוח עלות-תועלת של צעדי הסתגלות שנוחתו במסגרת הפרויקט. אחת ברמת הבניין, והשנייה ברמה המרחבית או היישובית. רשימה של כל הניתוחים מופיעה ב**נספח 3** (באתר כתב העת).

דוגמה 1. התקנת גגות ירוקים להפחתת עומס חום ונגר עירוני בתל-אביב

במסגרת הניתוח נבחנה התקנת גג ירוק בשטח של 1,000 מ"ר בפרויקט שאמור להימשך 50 שנה ובריבית היוון של 3%. מעבר לתועלת הבריאותית הנובעת מהפחתת תחלואה ותמותה, שנלקחה מדו"ח המשרד להגנת הסביבה^[1] ומשקפת שיעורי תמותה ותחלואה מחום הנמוכים מאירופה בשל שיעור גבוה של חדירת מזגנים בישראל, נבחנו תועלת ציבורית, כגון ניהול נגר עירוני, לכידת פחמן, שיפור איכות האוויר ויצירת בתי גידול עירוניים, וכן תועלת פרטית, כגון חיסכון באנרגיה, הארכת חיי הגג ועלייה בערך הנדל"ן. כפי שמוצג ב**טבלה 1**, התקנת גגות ירוקים מהווה השקעה כדאית בעלת ערך נוכחי נקי חיובי יחס עלות-תועלת של 1.95, המשקף תועלת מוניטרית כמעט כפולה מהעלות. עיקר הערך הכלכלי מתקבל מן התועלת הפרטית, והוא עובר את מבחן היעילות כאשר ערך הנדל"ן למ"ר גבוה. פירוט כל מרכיבי העלות והתועלת לדוגמה זו מופיע ב**נספח 1**.

דוגמה 2. אזורי חיץ למניעת שרפות

מבין הכלים לצמצום נזקי שרפות בחרנו לנתח יצירת אזורי חיץ למניעת שרפות סביב יישובים. הניתוח בחן יצירת אזור חיץ בשטח של 400 דונם מסביב ליישוב בהרי ירושלים^[2]. מקור התועלת המרכזי הוא במניעת נזקי השרפות ששכיחותן צפויה לעלות עם שינוי האקלים. העלויות מתחלקות בין עלות ישירה של הקמה ותחזוקה של אזור החיץ, ועלות עקיפה של פגיעה בשירותי המערכת האקולוגית של שטחי חורש סביב היישוב.



תוצאות השרפה בחיפה, 2016. שינוי האקלים טומן בחובו סיכון מוגבר לשרפות יער וחורש, ולפיכך חשוב ליצור אזורי חיץ סביב יישובים למניעת התפשטות שרפות | צילום: זאב שטיין / פיקיוויקי. רישיון: CC BY 2.5

כמו כן, מדיניות ההשקעות צריכה לשלב שיקולי צדק חלוקתי, תוך מתן עדיפות לצעדים המגינים על אוכלוסיות מוחלשות, ולאמץ גישת "זהירות מונעת" במקרים של סיכונים קיצוניים, גם כאשר האי-ודאות גבוהה.

טבלה 1. סיכום ניתוח עלות-תועלת לדוגמאות המייצגות

גגות ירוקים בתל-אביב	ערך (ש)	% מהתועלת	אזורי חיץ מפני שרפות	ערך (ש)	% מהתועלת
ערך נוכחי של השקעה ראשונית ועלויות שנחיות	754,379		5,363,929		
סך כל התועלת הפרטית	1,080,000	74%	1,539,092	20%	
סך כל התועלת הציבורית	389,077	26%	6,179,158	80%	
סך כל התועלת	1,469,077	100%	7,718,250	100%	
ערך נוכחי נקי (NPV)	714,698		2,354,321		
יחס עלות-תועלת	1.95		1.44		

סיכום ומבט לעתיד

יישום המתודולוגיה נותקל אומנם בחסמים של פערי מידע ותקצוב קצר-טווח, אך טומן בחובו הזדמנויות משמעותיות, כגון שילוב בתכנון המרחבי וגיוס מימון בין-לאומי הדורש הוכחת כדאיות. ניתוח עלות-תועלת אינו תרגיל אקדמי אלא מצפן הכרחי לניהול סיכונים במציאות של משאבים מוגבלים. המעבר מקבלת החלטות אינטואיטיבית למדיניות מבוססת-ראיות יאפשר למדינת ישראל לקבוע סדר עדיפויות להשקעות בחוכמה, ויחסוך נזקים כלכליים וחברתיים כבדים בעתיד.

המלצות לקריאה נוספת

דו"ח המפרט את עלויות נזקי האקלים צפויים בתל-אביב-יפו, שתומחרו באמצעות שיטות שחלק מהן יושמו בעבודה המתוארת במאמר זה.

שפירא, נ, גבאי, ד, נתן א ואילון א. 2023. אומדן הנזק הכלכלי מהתחממות המרחב הציבורי בעיר תל אביב-יפו. מוסד שמואל נאמן.

נייר מדיניות של המשרד הבריטי לענייני סביבה, המתווה את צעדי

ההסתגלות הנדרשים בבריטניה לשינוי האקלים, כולל שימוש
בניתוח עלות-תועלת.

DEFRA. 2025. Government response to the Climate Change Committee
2025 adaptation progress report.

דו"ח של הסוכנות האירופית לסביבה הבוחן את היעילות הכלכלית
של ההסתגלות אל מול החלופה של אי-עשייה, וזאת באמצעות
ניתוח עלות-תועלת.

EEA (European Environment Agency). 2007. Climate change: The
cost of inaction and the cost of adaptation. EEA Technical Report No.
13/2007. Luxembourg: Office for Official Publications of the European
Communities.



עומסי חום גורמים לירידה בתנובת השעורה. במסגרת המחקר, בשיתוף
המרכז הישראלי לשימור המגוון הביולוגי, בוצע ניתוח עלות-תועלת של מיפוי
המגוון הגנטי בשעורת הבר | צילום: יולי ביילין / פיקיוויקי. רישיון: CC BY 2.5

מקורות

ראו באתר כתב העת.

הלכה למעשה

משמעותיים ברמה הציבורית והלאומית (בראות
הציבור והמשרתים, נזקים למרחב הציבורי והעירוני
ועוד רבים) שאינם מובאים בחשבון בניתוח החזר
השקעה שבוחן רק את מערכת הביטחון. במקרים
שלצבא יש צורך ייחודי, מערכת הביטחון פיתחה
ותפתח מתודולוגיות לאמידת הכדאיות הכלכלית
של המרכיבים הביטחוניים, אולם ההסתכלות לאומית
רחבה על התועלת תאפשר קבלת החלטות נכונות
יותר ברמה הלאומית. לסיכום, כבר כיום צה"ל ומשרד
הביטחון בודקים ומטמיעים פתרונות טכנולוגיים
ומבוססי טבע כמענה לאיומי האקלים על הצבא ועל
המשרתים בו תוך בחינה של הכדאיות הכלכלית
והוכחת החזר ההשקעה. הטמעת הערכת העלות-
תועלת במנגנוני קבלת ההחלטות על פרויקטים
צבאיים תחייב העמקה וגיבוש בסיס נתונים
ומתודולוגיה ייעודית עבור מערכת הביטחון, ולמרות
זאת תהיה מרכיב קריטי בתהליכי קבלת ההחלטות.

תא"ל (במיל') דורון לוין

יועץ חוסן אקלימי. מתכלל היערכות
מערכת הביטחון לשינוי האקלים

שינוי האקלים מציב אתגרים הולכים וגדלים לתשתיות
הפיזיות, הכלכליות והאנושיות ברמה הלאומית וברמה
הארגונית. הדבר נכון שבעתים במערכות צבאיות,
מאחר שבהן ריבוי יכולות טכנולוגיות, אנושיות
ותשתיות ומגוון רחב של אמצעי לחימה ומערכות
פוגשים תנאי סביבה שהולכים ומקצינים, ומציבים
אתגרים תפקודיים ומבצעיים. גם עבור מערכת
הביטחון סוגיית הכדאיות הכלכלית חשובה בהקצאת
המשאבים, אולם מחירם של כשל מבצעי, ירידה
באפקטיביות של יכולות אסטרטגיות ומבצעיות כמו
גם בזבוז ימי מילואים עקב פעילות שמתבטלת הוא
מרכיב שיש להביאו בחשבון בחישוב הכדאיות, הגם
שקשה לאמוד את עלותם הישירה. מערכת הביטחון
בוחנת מענים לאתגרים האקלימיים הצפויים לתשתיות
הקיימות וליכולות הקיימות והעתידיות, ועוסקת
בהטמעתם. עד כה הקריטריונים המובילים לניתוח
כדאיות עבור פרויקטים של חוסן אקלימי במערכת
הביטחון היו שיקולי החזר ההשקעה, מהמתודולוגיה
המוצגת במאמר עולה שניתוח עלות-תועלת מאפשר
הרחבה משמעותית של מרחב הכדאיות הכלכלית
לפרויקטים, מאחר שהמתודולוגיה מגלמת מרכיבים