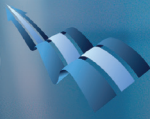




חיתונים
המכון הישראלי לסדירות-חוץ אזורית



**ניהול משאבים וטיפול
בפסולת ברצועת עזה:
מודל חדשני לשיקום סביבתי-דיפלומטי**

עדי מגר | מאי 2026

*הבהרה: הנתונים שעליהם מתבסס הניתוח נכונים לספטמבר 2025. המחקר נכתב והושלם עד דצמבר 2025, ופורסם בראשית 2026.

**פרסום זה התאפשר הודות לתמיכה כספית של מכון פרנסס ברודי לדיפלומטיה יישומית באוניברסיטת תל אביב.

*****הצהרת אחריות וזכויות:** התוכן המוצג במסמך זה, לרבות המסקנות, ההמלצות והתובנות המפורטות בו, משקף את עמדתה המקצועית של המחברת בלבד ונועד למטרות מחקר ועיון. אין לראות בכתוב ייצוג רשמי או מחייב של עמדות הארגונים, המוסדות או השותפים שלקחו חלק בתהליך הלמידה והכתיבה. אזכורם של אישים, גורמי מקצוע או ארגונים נעשה לצרכי קרדיט והוקרה על תרומתם המקצועית, ואין בו כדי להטיל עליהם אחריות לתוכן הדברים או לפרשנות הניתנת להם במסגרת זו. כל הסתמכות על המידע המופיע במסמך היא באחריות המשתמש בלבד.

כתיבה: עדי מגר

עיצוב: עדי רמות

מאי 2026

ניהול משאבים וטיפול בפסולת ברצועת עזה:

מודל חדשני לשיקום סביבתי ודיפלומטי
בתמיכת מכון מיתווים ומכון ברודי

עדי מגר^{1*}

מסמך זה הופק על ידי קבוצת המחקר הבין-תחומית בתמיכת
מכון מיתווים, בשיתוף מכון פרנסס ברודי לדיפלומטיה יישומית.

^{1*} **עדי מגר** היא דוקטורנטית בבית הספר החדש לסביבה באוניברסיטת תל אביב תחת הנחייתה של פרופ' ורד בלאס. עדי משלבת בין טכנולוגיות מיפוי אווירי, בינה מלאכותית, למתודולוגיות הערכת מחזור חיים (LCA). המחקר מתמקד בזיהוי אתרי פסולת בנייה לא חוקיים וביעול איסוף נתונים לקידום כלכלה מעגלית וניהול משאבים ברמה המקומית. עדי בעלת תואר ראשון בגיאוגרפיה וסוציולוגיה ותואר שני בהצטיינות בסביבה וחברה. בעברה כיהנה כסמנכ"לית תפעול בחברת אנרגיה מתחדשת וצברה ניסיון של שני עשורים בליווי פרויקטים תשתיתיים וסביבתיים מורכבים. כעמיתת מדיניות במכון "מיתווים", היא מובילה יוזמה אזורית לשיקום סביבתי-דיפלומטי בעזה. כיום עוסקת עדי ביעוץ אסטרטגי לגופים ממשלתיים, עמיתת הוראה בפקולטה להנדסת מכונות ומחברת הספר "על חדשנות בחומרי גלם ומוצרי בנייה".

תקציר מנהלים

רקע ומהות המחקר

מלחמת "חרבות ברזל" שפרצה לאחר טבח ה-7 באוקטובר 2023 הובילה להיקפי הרס תשתיות חסרות תקדים בקנה מידה אזורי ובינלאומי ברצועת עזה. במהלך המלחמה נפגעו כ-192,000 מבנים, וכ-3,045 קילומטר של כבישים ודרכים נהרסו. הרס זה מיתרגם להיקפי פסולת בניין נרחבים ביותר הנאמדים בין 67 ל-126 מיליון טון (בהתאם לתרחישים שונים). היקף זה חורג מיכולתן של שיטות טיפול קונבנציונליות המבוססות על פינוי והטמנה להתמודד בהצלחה עם משימת הטיפול, ומחייב חשיבה מערכתית חדשה.

מסמך זה מציג מודל רב-ממדי לשיקום סביבתי-דיפלומטי, המושתת על עקרונות הכלכלה המעגלית. הגישה המוצעת חותרת להפיכת פסולת הבניין ממטרד סביבתי למשאב לשיקום: צמצום הכרייה של חומרי גלם חדשים, הארכת מחזור החיים של חומרים קיימים ושילובם מחדש בתהליכי הבנייה והתשתית. מכיוון שכל תהליך שיקום עתידי ברצועה יתבצע בסביבה רוויה בפסולת, שאלת הטיפול בה עומדת בלב התהליכים הסביבתיים והדיפלומטיים. המסמך ממליץ על מעבר מגישת "פינוי והטמנה" לאסטרטגיה הממצה את פסולת הבניין כמשאב חיוני לשיקום הכלכלי, הסביבתי והחברתי של המרחב.

טיפול חדשני בפסולת - מהטמנה ובזבוז לכלכלה מעגלית

המודל המוצע למעבר מהטמנה לטיפול מעגלי בפסולת בניין מבוסס על אינטגרציה של שלושה תחומים מרכזיים, מיפוי, תכנון ודיפלומטיה:

1. מיפוי - נקודת המוצא במודל הוא ביצוע מיפוי מדויק ככל הניתן של כמות הפסולת, מיקומה והרכבה. המיפוי בוצע על ידי ניתוח גיאומרחבי מבוסס GIS הנשען על שילוב נתוני לוויין, שכבות נזק קיימות ומודל משושים מרחבי כיחידת ניתוח קבועה. לכל משושה חושבו היקף הבינוי שנפגע והרכב פסולת ההריסה לפי חומרים, תוך הבחנה בין תרחישי מינימום, חציון ומקסימום. גישה זו מאפשרת כימות עקבי של מסות הפסולת, זיהוי אזורי ריכוז וחומרים מסוכנים, ויצירת בסיס נתונים ומיפוי באמצעות GIS והנגשת המיפוי באמצעות יישום דינאמי דו-לשוני.

2. תכנון ולמידה השוואתית - מרכיב הכרחי נוסף במודל נשען על למידה מתכנון ושיקום באזורים אחרים לאחר קונפליקט ואסון. המחקר התמקד ברמת התכנון האזורי המעגלי, הרואה בפסולת הבניין משאב אסטרטגי לשיקום. במסגרת תהליך זה הוצע שברצועת עזה יתבצע שיקום מדורג רב-שנתי, המוערך בפריסה של כ-10 שנים עם יעד מיחזור של כ-70 אחוזים מסך פסולת ההריסה, בהיקף מצטבר של עשרות מיליוני טונות. מימוש יעד זה צפוי לאפשר ייצור מקומי של חומרי בנייה ממוחזרים, להפחית תלות בייבוא חומרי גלם, וליצור בהדרגה עשרות אלפי מקומות עבודה לאורך שלבי השיקום.

3. מנגנוני יישום ודיפלומטיה סביבתית - המודל מציע לראות בניהול פסולת הבניין פלטפורמה לדיפלומטיה סביבתית יישומית, המבוססת על שילוב בין מסגרות ממשל שקופות, שיתוף פעולה אזורי ומנגנוני פיקוח בינלאומיים. במסגרת זו, מוצע להקים גוף תיאום ייעודי לשיקום (Gaza Reconstruction Council) שיפעל בתיאום עם מרכז התיאום האזרחי-צבאי (CMCC - Civilian-Military Coordination Center) שבקריית גת. גופים אלו יפעילו, באישור ישראלי, מנגנוני בקרה בינלאומיים על תהליכי המיחזור ועל השימוש החוזר בחומרי הבנייה המופקים בשטח.

שילוב המנגנונים הללו עשוי לתת מענה לסיכונים ביטחוניים ולאפשר יישום מדורג ומפוקח של תהליכי השיקום. באמצעות ניהול נתונים ושקיפות סביבתית, המודל שואף לבנות אמון בין הגורמים השונים ולייצר תשתית יציבה לדיפלומטיה סביבתית מבוססת נתונים, המשרתת את הצרכים המבצעיים והסביבתיים כאחד.

מודל השיקום המדורג

התוכנית מציעה תהליך שיקום ארוך-טווח הפרוס על פני כעשור, ומאפשר מעבר הדרגתי מניהול משבר לפיתוח מוסדי וכלכלי בר-קיימא. התהליך מחולק לשלושה שלבים מרכזיים:

שלב א': היערכות, מיפוי ופיילוטים (שנה ראשונה)

שלב זה מתמקד בהקמת גופי הניהול והתיאום וביצוע מיפוי נזקים מפורט מבוסס GIS (מערכות מידע גיאוגרפיות). מערכת זו מאפשרת להצליב נתוני הרס פיזיים עם מיקומי תשתיות, שכבות קרקע ומגבלות סביבתיות על גבי מפה דיגיטלית חכמה, ובכך לייצר תשתית נתונים מדויקת לקבלת החלטות. במקביל, יופעלו מספר פיילוטים ממוקדים לבחינת היתכנות טכנולוגית, תפעולית ופוליטית של

הקמת מערכי המימון והמיחזור. תהליכים אלו יבוצעו תחת בקרה בינלאומית ובתוך סביבה של אי-ודאות, במטרה לגבש תשתית נתונים אמינה להמשך הדרך.

שלב ב': הרחבה ובניית יכולות (שנתיים עד ארבע שנים)

בשלב זה יוקמו ויופעלו 3-5 מתקני מיחזור מרכזיים ותפותח שרשרת לוגיסטית אזורית לטיפול בעשרות מיליוני טונות של פסולת בניין. המאמץ יתמקד בבניית יכולת מוסדית ותעסוקתית, כולל הכשרה מקצועית של אלפי עובדים מקומיים, מתוך כוונה לצמצם בהדרגה את התלות בייבוא של חומרי בנייה חדשים.

שלב ג': שיקום, הסבה ופיתוח עתידי (חמש עד עשר שנים)

עם הגעה ליעד של מיחזור כ-70 אחוזים מפסולת ההריסה, יורחב היקף שיקום התשתיות האזרחיות. בשלב זה תועבר האחריות לניהול המערכות לידי גורמים פלסטיניים הפועלים במסגרת חוקית ומפוקחת.

לצד תהליך השיקום, מומלץ לתכנן מראש את הסבת תשתיות הטיפול בפסולת ליעודים ארוכי-טווח עם סיומו. מתקנים אלו יוכלו להוות בסיס לתעשיות חומרים מתקדמות, מרכזי הכשרה לוגיסטיים או תשתית קבועה לכלכלה מעגלית אזורית. גישה זו נועדה למנף את ההשקעה הראשונית בשיקום לטובת יציבות כלכלית וחברתית מתמשכת, תוך מניעת יצירת תשתיות זמניות עודפות.

היבטים כלכליים ומימון

תהליך המיחזור מהווה מנוע צמיחה משמעותי, עם פוטנציאל הכנסה גבוה המוערך בכ-1.6 מיליארד דולר ממכירת בטון ירוק ומיצוי חומרים כגון מתכות. ההשקעה הנדרשת מוערכת ב-50 עד 100 מיליון דולר למתקן מיחזור מרכזי, כאשר המימון יכול להתבסס על קרנות נאמנות רב-שותפיות (Multi-Partner Trust Funds, MPTF) או על שותפויות ציבוריות-פרטיות (Public-Private Partnerships, PPP).

כחלופה משלימה או נוספת, מוצעת מסגרת בשם TRUST, יוזמה משותפת של מכון ערבה וארגון דאמור הפלסטיני - להקמת אי מלאכותי מול חופי עזה תוך שימוש בכ-50 מיליון טונות של פסולת ממוחזרת². אי זה מתוכנן לכלול נמל מים עמוקים, מערכות אנרגיה מתחדשת ואזור סחר חופשי. עם זאת, יוזמת האי המלאכותי

2 מקור: מסמכי מכון ערבה ומכון דאמור שהתפרסמו לציבור. לינק

מעלה סוגיות מהותיות המחייבות בחינה זהירה: בחירת המיקום, ההשלכות על קו החוף הישראלי ועל המערכת האקולוגית הימית, והשפעתה על זרמי החולות. שאלות אלו, לצד בחינת הרכב החומרים לבניית האי, מצריכות מחקר סביבתי והנדסי מעמיק וכן דיון אזורי מוסדר בטרם קידום יישומי של המהלך.

סיכום ודגשים

תובנות המחקר מלמדות כי ניהול פסולת בנייה לאחר אסון אינו אתגר הנדסי גרידא, אלא כלי אסטרטגי המשלב ממדים גיאוגרפיים, תכנוניים ודיפלומטיים. הצלחת השיקום תימדד ביכולת להניח יסודות לעצמאות כלכלית באמצעות תעשיית מיחזור מקומית, ממשל שקוף המבוסס על קבלת החלטות מבוססת נתונים, ואינטגרציה אזורית המושתתת על אמון ושותפויות סביבתיות. שיתוף פעולה סביב ניהול הפסולת מהווה נקודת מוצא ניטרלית יחסית, המאפשרת לקדם נושאים שנתפסים כפחות שנויים במחלוקת בהשוואה לסוגיות פוליטיות ישירות. בדרך זו, הטיפול במשאבי הפסולת הופך לתשתית מעשית לביסוס יחסים ארוכי טווח ולבניית אמון בין הגורמים השונים באזור.

תוכן עניינים

4	תקציר מנהלים
9	1. פרק רקע
15	2. מסגרת רעיונית
19	3. פסולת הבניין בעזה: נתונים, השלכות סביבתיות, טכנולוגיות קיימות ואימוץ מודל של כלכלה מעגלית
31	4. היבטים חברתיים
35	5. היבטים כלכליים, מימון ופיתוח שווקים
37	6. דיפלומטיה סביבתית ושיתופי פעולה אזוריים
42	7. סיכום ומסקנות - הדרך לשיקום פיזי ודיפלומטי בר-קיימא
47	נספחים

1. פרק רקע

1.1 רקע כללי והקשר המחקרי

מלחמת "חרבות ברזל" שפרצה לאחר טבח ה-7 באוקטובר 2023, הותירה אתגר סביבתי וחברתי חסר תקדים, המתבטא בהיקף הרס עצום של תשתיות ומבנים. גופים בינלאומיים שונים הציגו אומדנים מגוונים להיקף הנזק, הנעים בין כ-137,000 לכ-192,000 מבנים שנפגעו בדרגות שונות. פערים אלה משקפים הבדלים בהגדרת סוגי הנזק, בתקופות הזמן שנבחנו ובמתודולוגיות האיסוף והניתוח של הנתונים. בהתאם לכך, גם היקף פסולת הבניין וההריסה שנוצרה ברצועה מוערך בטווח רחב של עשרות מיליוני טונות. אומדנים מסוימים מצביעים על סדר גודל של כ-100 מיליון טון פסולת, אולם מספר זה אינו מייצג נתון מוסכם אחד, אלא משמש אינדיקציה כללית להיקף האתגר. מחקר זה אינו מאמץ אומדן יחיד כנקודת מוצא, אלא בנה את מסד הנתונים (ר' **נספח 1**), וכן מתייחס לאי הוודאות הכמותית כמאפיין מובנה של מצבי אסון ועימות.

הצטברות פסולת הבניין ברצועת עזה אינה מהווה בעיה מקומית בלבד, אלא יוצרת סיכון סביבתי חוצה-גבולות. זיהום קרקע, מים ואוויר, חשיפה לחומרים מסוכנים ולשאריות תחמושת, וחסימת מרחבים אורבניים מרכזיים, משפיעים על בריאות הציבור, מעכבים שיקום אזרחי ומעמיקים את המשבר החברתי והדירי. בנוסף, היקפי הפסולת מקשים על חידוש תשתיות תחבורה, מים וביוב, ומגבילים את יכולת החזרה של אוכלוסיות עקורות לאזורי מגורים בטוחים.

על רקע זה, מתחדדת ההבנה שיש הכרח לטפל בפסולת הבניין בצורה מיטבית, כחלק מהמאמץ האזורי והבינלאומי הכללי לשיקום עזה והשגת יציבות וביטחון. טיפול מיטבי בפסולת דורש אימוץ גישה מחקרית ויישומית המאפשרת מעבר מהערכות כלליות לתכנון מבוסס נתונים, תוך הכרה בפערי מידע ובמגבלות הגישה לשטח. בהמשך מוצג מודל כימות שפותח עבור המחקר הנוכחי, המבוסס על יחידות ניתוח מרחביות קבועות ותרשישים מדורגים, ונועד לצמצם אי-ודאות, לייצר תמונה מרחבית עקבית של פסולת ההריסה, ולתמוך בקבלת החלטות גמישה ומדורגת בתהליכי השיקום.

במסגרת הדיונים על עתיד האזור, הוצגה בדצמבר 2025 היוזמה האמריקנית Project Sunrise, המציעה תוכנית מקיפה לשיקום תשתיות ודיור בעלות של כ-112 מיליארד דולר.³ בעוד שהיוזמה מתמקדת במפת הדרכים הפיזית והכלכלית של רצועת עזה, מחקר זה מבקש להרחיב את נקודת המבט לעבר האייה מרחבת-אזורית כוללת. המודל המוצע נותן מענה לצורך בניהול פסולת הבנייה כמשאב בתוך מערכת של כלכלה מעגלית, מתוך הבנה כי לתהליכי הטיפול בפסולת ברצועה יש השלכות ישירות על התשתיות ועל התכנון התקציבי בישראל. בשל יחסי הגומלין במרחב המשותף, נדרשת חשיבה על מינוף הטיפול בפסולת לטובת שיקום הקהילות במרחב כולו, תוך יצירת סינרגיה תשתיתית המשרתת את האינטרסים משני צדי הגבול.

1.2 הנחות המוצא התיאורטיות

המחקר מבוסס על מספר הנחות מוצא מרכזיות המגדירות את המסגרת התיאורטית והמתודולוגית שלו:

- 1. הסביבה כסוגיה ביטחונית:** האתגרים הסביבתיים ברצועת עזה מהווים איום ישיר על בריאות הציבור והביטחון בישראל בשל אופיו חוצה הגבולות של הזיהום והשלכותיו הפיזיות והפוליטיות. מעורבות ישראלית פעילה בשיקום הסביבה עשויה לשפר את המצב התברואתי והביטחוני כאחד, ובכך לתרום לייצוב האזור לטווח הארוך.
- 2. היתכנות לשיקום הדרגתי:** הדיון בתהליכי השיקום מניח התייצבות ביטחונית יחסית המאפשרת מעבר מהתמודדות עם משבר מתמשך לבנייה הדרגתית. בהקשר זה קיימת זיקה הדוקה בין המענה ההומניטרי המיידי לבין הקמת תשתיות אזרחיות, כאשר ניהול פסולת הבניין אינו שלב נלווה אלא רכיב תשתיתי מרכזי המשפיע ישירות על קצב השיקום ואיכותו.
- 3. בניית שלום סביבתי:** קיימת אינטראקציה דו-כיוונית בין שיתוף פעולה מקצועי לבין פתרון אתגרים מורכבים. מחד, ניהול משאבים כמו פסולת ומים משמש פלטפורמה פונקציונלית לשיתוף פעולה גם במצבים של מתיחות פוליטית. מאידך, קיומם של מנגנונים תפעוליים משותפים הוא לעיתים התנאי ההכרחי ליישום פתרונות בני-קיימא. בראייה זו, הסביבה היא מרחב פעולה יישומי שבו אינטרסים משותפים

³ Times of Israel, US said to pitch 'Project Sunrise' – \$112B plan to rebuild Gaza as luxury destination", <https://www.timesofisrael.com/us-said-to-pitch-project-sunrise-a-plan-to-rebuild-gaza-as-luxury-destination> December 2025.

מקדימים ולעיתים אף מאפשרים תהליכים רחבים יותר של שיקום.

4. דיפלומטיה אזורית: המשבר הסביבתי הנוכחי הוא זירה פוטנציאלית לקידום מהלכים של דיפלומטיה סביבתית, המניחה כי אתגרים משותפים מחייבים תיאום גם בין צדדים המצויים במתח פוליטי מתמשך. היקף הנזק ברצועה מחייב פעולה מתואמת אשר עשויה לשמש תשתית לבניית מנגנוני אמון ולהפחתת חיכוכים ברמה התפעולית.

5. תפקיד ישראל כתומכת: לישראל אינטרסים ביטחוניים וכלכליים בהצלחת הטיפול בפסולת הבניין, אולם חיוני שתרומתה תתמקד בסיוע ובליווי מקצועי ולא בבעלות על התהליך. הידע והניסיון שנצברו בישראל בתחומי הכלכלה המעגלית עשויים לתרום לפיתוח מענים מקומיים בעזה, ובכלל זה ליצירת מקורות תעסוקה וקידום חדשנות בתחומי השיקום. שיתוף פעולה מקצועי כזה יוכל לתמוך במענה לצרכים ההומניטריים הדחופים ברצועה, תוך העצמת היכולות העצמאיות של האוכלוסייה המקומית בניהול משאביה. לצד הפוטנציאל העסקי הגלום בטכנולוגיות השיקום, על ישראל להגדיר את תפקידה כגורם תומך ומייעץ ולא כמוביל התהליך, כדי להבטיח את הלגיטימיות והיציבות של המיזם.

1.3 המסגרת התיאורטית: כלכלה מעגלית ודיפלומטיה סביבתית

המחקר מתבסס על שילוב של שתי פרדיגמות מרכזיות: כלכלה מעגלית ודיפלומטיה סביבתית. הגישה של הכלכלה המעגלית רואה בפסולת משאב בעל ערך, ולא פסולת שיש להיפטר ממנה. במקרה של פסולת בניין, עקרון זה מתבטא בהפיכת הפסולת לחומרי גלם לתהליכי בנייה חדשים, מה שמאפשר חיסכון במשאבים טבעיים והקטנת הלחץ על הסביבה, הכלכלה והחברה. בהקשר של רצועת עזה, יישום עקרונות הכלכלה המעגלית חיוני במיוחד בשל המחסור החריף בקרקעות להטמנה והצורך הדחוף בחומרי בנייה לשיקום. דיפלומטיה סביבתית, מצדה, מתמקדת בשימוש באתגרים סביבתיים כמנוף לקידום שיתוף פעולה בינלאומי ואזורי. תיאוריה זו מניחה שבעיות סביבתיות, בשל אופיין חוצה-הגבולות, מחייבות פתרונות משותפים ויכולות לשמש כבסיס לדיאלוג ושיתוף פעולה גם בתנאים של עימות פוליטי. במקרה של עזה, הגישה הדיפלומטית הסביבתית עשויה לאפשר מעורבות ישראלית בשיקום תוך מתן לגיטימציה בינלאומית ויצירת תמריצים לכל הצדדים.

תכנון השיקום ברצועת עזה צריך להשתלב בתוך מסגרות בינלאומיות מקובעות של חיזוק חוסן ובמסגרת התפיסתית של 'לבנות עתיד טוב יותר' (Build Forward)

(Better), כפי שמודגם במסגרות של הבנק העולמי, האו"ם והאיחוד האירופי, שמפתחים תכניות לשיקום בר-קיימא ולביסוס כלכלי וחברתי לצד בניית תשתיות. יוזמות רחבות היקף הבאות לאור חישובי הצרכים והנזקים, יחד עם דרישות להיערכות מערכתית, מדגישות את חשיבות הכללת ניהול פסולת הבנייה בתכנון התקציבים והאסטרטגיות, שכן השיקום הפיזי הינו מושלם רק אם הוא כולל כלכלה מקומית פעילה ועמידה מול סיכונים סביבתיים ואקלימיים.⁴

1.4 אתגרים ספציפיים וייחודיות המקרה

המקרה של רצועת עזה מציב אתגרים ייחודיים הדורשים גישה רב-ממדית וזהירה. מאז שנת 2007, חיים תושבי הרצועה תחת מגבלות תנועה וסחר אשר יצרו לחץ מתמשך על התשתיות האזרחיות, המערכות הכלכליות ומנגנוני הממשל המקומיים. מציאות זו שחקה לאורך השנים את יכולת הפיתוח והתחזוקה של תשתיות סביבתיות בסיסיות, ובהן מערכות המים, הביוב וניהול הפסולת. במקביל, סדרי העדיפויות המוסדיים של שלטון הטרור חמאס לא אפשרו פיתוח עקבי של מנגנוני ניהול אזרחיים, לרבות רגולציה סביבתית, פיקוח תשתיתי והשקעה ארוכת טווח בטיפול בזרמי פסולת.

לצד גורמים פנימיים אלה, גם ההקשר האזורי והמדיניות הביטחונית הישראלית השפיעו על מרחב הפעולה האזרחי. מגבלות על תנועת סחורות ואנשי מקצוע הקשו על הכנסת ציוד ייעודי ועל יצירת רציפות תפעולית בתחום התשתיות. השילוב בין חולשה מוסדית פנימית למגבלות חיצוניות העמיק את הפגיעות הסביבתית והגביר את היקף הנזקים המצטברים.

ייחודיות האתגר הנוכחי נגזרת גם מהיקף ההרס חסר התקדים. כמות פסולת הבנייה והריכוז המרחבי שלה בטריטוריה כה צפופה הם יוצאי דופן גם בהשוואה לאזורי אסון ועימות אחרים בעולם. היקף זה אינו רק אתגר לוגיסטי אלא ביטוי למשבר מתמשך של היעדר תשתיות ניהוליות ורגולטוריות לטיפול בזרמי חומרים בממדים חריגים.

קושי ייחודי נוסף נוגע לפסולת המצויה בתת-הקרקע, ובפרט למערך המנהרות והחללים שניזוקו או קרסו. הטיפול בפסולת זו כרוך בסיכונים הנדסיים וביטחוניים חריגים, ובהיעדר תקדימים בהיקפים דומים, הוא סובל ממחסור בידע מקצועי

4 The World Bank, European Union, and United Nations. [Gaza and West Bank Interim Damage, Losses, and Needs Assessment \(IRDNA\)](#). February 2025.

וניסיון קודם. לפיכך, מחקר זה מתמקד בפסולת העילית, ומותיר את הסוגייה התת־קרקעית למחקר ייעודי עתידי.

הבנת המורכבות הזו חיונית לגיבוש מסגרות פעולה ישימות. המחקר מציג מנגנונים לפעולה הדרגתית ומפוקחת הנשענת על שיקולים סביבתיים, תכנוניים ודיפלומטיים, במטרה לקדם יציבות אזרחית ושיקום בר-קיימא. נוכח הערכות הבנק העולמי המצביעות על תהליך שיקום שיימשך לכל הפחות עד שנת 2040 ועלויות של עשרות מיליארדי דולרים, נדרש תכנון אסטרטגי המשלב מעורבות בינלאומית ופיתוח מודלים כלכליים חדשניים להבטחת מימון וקיימות לאורך זמן.

1.5 הצדקה למחקר וחדשנות

המחקר מציג פרדיגמה חדשנית המשלבת טכנולוגיות מיפוי מתקדמות, תכנון אסטרטגי בשילוב דיפלומטיה סביבתית. זהו מודל ראשון מסוגו לניהול משאבי פסולת בנייה ברצועת עזה - סוגיה קריטית שטרם זכתה למענה מקיף בספרות המקצועית או בפרקטיקה התכנונית במזרח התיכון. האינטגרציה המקורית בין הממדים הסביבתיים, הכלכליים והמדיניים, יוצרת תשתית ידע חלוצית להבנה של ניהול משברים באזורי עימות מורכבים. המחקר מגשר על פערים בין תחומי דעת שונים ומפתח מודל אינטגרטיבי בעל פוטנציאל שכפול גלובלי, היכול לשמש מצפן תכנוני-סביבתי וכלכלי הן באזורי קונפליקט והן באזורים שחוו אסונות טבע רחבי היקף.

ייחודיותו המתודולוגית של המחקר טמונה בגישה רב-ממדית המצליחה לשלב תיאוריות אקדמיות מורכבות עם מחקר אמפירי בשטח. תהליך העבודה כלל ראיונות עומק עם מומחים בינלאומיים, ניתוח השוואתי של מקרי בוחן גלובליים וקיום מפגשי חשיבה רב-תחומיים בשיתוף מגוון אנשי מקצוע (ר' **נספח 1**). שילוב זה מחזק את היתכנותם של הפתרונות המוצעים, במטרה להופכם לכלכליים, ישימים ובעלי פוטנציאל התאמה גבוה למציאות הגיאופוליטית המשתנה.

מעבר לתרומתו המדעית, מחקר זה מהווה נכס אסטרטגי ודיפלומטי המציב סטנדרט חדש לחדשנות סביבתית במזרח התיכון. בעוד שתוכניות שיקום רבות מתמקדות בבנייה מחדש, עבודה זו מציעה להפוך את ההרס עצמו למנוע של צמיחה ותקווה, תוך שהיא משרטטת חזון שבו כלכלה מעגלית משמשת גשר לשיתוף פעולה אזורי. היכולת של המחקר להפוך אתגר סביבתי עצום להזדמנות כלכלית ותשתיתית הופכת אותו לאבן פינה בכל מאמץ עתידי ליצירת יציבות, קיימות ושיקום בר-קיימא במרחב כולו.

1.6 מתודולוגיה ותהליך המחקר

עבודה זו התבססה על תהליך מחקרי רב-תחומי שבוצע על ידי קבוצת מחקר בין-תחומית ביוזמתה של עדי מגר בשיתוף מכון מיתווים ובשיתוף מכון פרנסס ברודי לדיפלומטיה יישומית באוניברסיטת תל אביב.⁵ המתודולוגיה כללה שילוב של ניתוח נתונים כמותניים ועבודה איכותנית מעמיקה לצד סדרת מפגשי שולחן עגול והתייעצויות עם מומחים ומומחיות מתחומי התכנון, הסביבה, התעשייה והמדיניות בישראל. תהליך זה אפשר לגבש מודל חדשני הבוחן לא רק את ההיבט הפיזי של ניהול מיטבי של פסולת בנייה, אלא גם את הפוטנציאל המדיני והכלכלי הטמון בו, תוך הסתמכות על הערכות הנזק והצרכים העדכניות ביותר (נספח 1 מפרט אודות הצוות, המתודולוגיה ותיאור המפגשים שנערכו).

5 תודה מיוחדת לבר רפפורט, מנהלת פרויקט קיימות מדינית-אקלימית במכון "מיתווים" על הליווי והתרומה המקצועית למחקר, וכן לפרופ' אמיר לופוביץ ראש מכון ברודי לדיפלומטיה יישומית באוניברסיטת תל אביב, על התמיכה המקצועית.

2. מסגרת רעיונית

2.1 מבוא: ההקשר הגיאופוליטי והסביבתי של רצועת עזה

המשבר הסביבתי הנוכחי ברצועת עזה אינו תוצר של אירוע בודד, אלא תוצאה מצטברת של תהליכים גיאופוליטיים, אזרחיים וסביבתיים מתמשכים. מאז שנת 2007 מתקיימת ברצועה מציאות של מגבלות תנועה, סחר ונגישות, אשר השפיעו לאורך זמן על תפקוד המערכות האזרחיות, הכלכלה המקומית ופיתוח תשתיות בסיסיות. מציאות זו לצד סבבי הלחימה החוזרים, הותירו אחריהם כמויות משמעותיות של פסולת בנייה ותשתיות פגועות, אשר בחלקן לא טופלו באופן מלא לאורך השנים. הצטברות זו החריפה את הפגיעות המבנית והסביבתית של הרצועה, והגבירה את מורכבות האתגר הנוכחי של פינוי, מיחזור ושיקום בקנה מידה חסר תקדים. מציאות זו יצרה לחץ מתמשך על מערכות ניהול הסביבה, ובהן טיפול בפסולת, מים, ביוב וחשמל, והגבילה את היכולת לפתח מנגנוני תכנון, רגולציה ותחזוקה ארוכי טווח.

במקביל, שלטון הטרור של ארגון חמאס ברצועה עיצב סדרי עדיפויות מוסדיים ותפעוליים אשר לא אפשרו פיתוח עקבי של מנגנוני ממשל אזרחיים, לרבות מערכות ניהול סביבתי, פיקוח תשתיתי והשקעה מתמשכת בתשתיות ציבוריות. הפער בין צרכים אזרחיים הולכים וגדלים לבין יכולת מוסדית מוגבלת תרם להצטברות כשלים מבניים בניהול המרחב האורבני והסביבתי, ובכלל זה בטיפול מיטבי בפסולת בנייה מבנייה חדשה של מבנים ותשתיות, שיפוצים והריסות.

לצד גורמים פנימיים אלה, גם ההקשר האזורי והמדיניות הביטחונית של ישראל כלפי הרצועה השפיעו על היכולת לנהל מערכות אזרחיות. מגבלות על תנועת חומרים, ציוד ואנשי מקצוע, לצד מנגנוני פיקוח ביטחוניים, צמצמו את מרחב הפעולה לפיתוח תשתיות סביבתיות וליישום פתרונות טכנולוגיים מתקדמים. השילוב בין מגבלות חיצוניות לבין חולשה מוסדית פנימית יצר מערכת הדדית של השפעות, שהעמיקה את הפגיעות הסביבתית והגבירה את היקף הנזקים המצטברים לאורך השנים.

בתוך הקשר זה פרצה המלחמה באוקטובר 2023, והובילה להרס נרחב בהיקף חסר תקדים. על פי אומדנים שונים, למעלה מ-150,000 מבנים נפגעו בדרגות שונות, שכונות שלמות ניזוקו, ותשתיות אזרחיות מרכזיות קרסו או חדלו לפעול.

היקף ההרס יצר כמויות חריגות של פסולת בניין והריסה, לצד זיהום קרקע, מים ואוויר, חשיפה לחומרים מסוכנים ושאריות תחמושת, פגיעה חמורה בתפקוד מערכות ניהול הפסולת, הביוב והמים. השלכות סביבתיות אלה אינן תחומות לגבולות הרצועה. זיהום ימי, פגיעה באקוויפר החופי, סחיפה של מזהמים והתפשטות מפגעים סביבתיים נושאים אופי חוצה-גבולות, ומשפיעים על המרחב האזורי כולו. במובן זה, המשבר הסביבתי בעזה מהווה לא רק אתגר הומניטרי מקומי, אלא גם סוגיה אזורית ובינלאומית בעלת השלכות ארוכות טווח על בריאות הציבור, יציבות אזרחית וביטחון סביבתי.

על רקע זה, הפרויקט הנוכחי מתמקד בפסולת בניין ברצועת עזה ומשלב באופן אינטגרטיבי פרספקטיבות סביבתיות, תכנוניות ודיפלומטיות. המחקר אינו מסתפק בניתוח המשבר, אלא מבקש למסגרו כנקודת מפנה: מעבר מתפיסה של הרס ונזק לתפיסה של תשתית לשיתוף פעולה אזורי, לבניית מנגנוני אמון ולשיקום ברי-קיימא המבוסס על ידע, נתונים ותכנון ארוך טווח.

2.2 האתגר הכפול: פסולת הבניין מהווה אתגר אקולוגי ולוגיסטי בהיעדר תשתיות תומכות לטיפול מיטבי

היקף פסולת הבניין וההריסה ברצועת עזה הוא חסר תקדים ביחס לשטח הרצועה, לצפיפות הבינוי וליכולת התשתית הקיימת. נתונים אלו מציבים אתגר כפול בעל מאפיינים ייחודיים לזרם פסולת זה. ראשית, האתגר האקולוגי והלוגיסטי: פסולת הבניין מורכבת מנפחים וממסות חריגים של חומרים מעורבים הכוללים רכיבים מינרליים, מתכות, עץ ופולימרים, לצד חומרים מסוכנים כגון אסבסט ושאריות תחמושת. במקרים מסוימים כלואות בהריסות גם גופות, עובדה המעצימה את המורכבות האנושית והתברואתית. מאפיינים אלו הופכים את הפינוי, המיון והטיפול בפסולת לפעולות המלוות בסיכון סביבתי ובריאותי גבוה, ומחייבים יישום של פרוטוקולים ייעודיים ויכולות תפעול מתקדמות.

שנית, המחסור הקריטי בתשתיות תומכות: ההרס הנרחב של מערכות המים, הביוב, האנרגיה והתחבורה מצמצם משמעותית את היכולת ליישם שיטות טיפול מסורתיות, כגון שינוע לאתרים מרוחקים או הקמת מרכזי מיחזור מרוכזים. בהיעדר תשתית מתפקדת, פסולת הבניין עצמה הופכת לחסם פיזי לשיקום הכללי שכן היא חוסמת צירי תנועה, מעכבת עבודות תשתית ומגבירה סיכונים סביבתיים מתמשכים.

לנוכח זאת, יש להדגיש כי הקמה והפעלה של מתקני מיחזור אינן יכולות להתבצע במנותק מתהליכי שיקום התשתיות הבסיסיות. זמינות של מים, אנרגיה ודרכי גישה היא תנאי מוקדם להפעלה סדירה של מערכי מיחזור בהיקפים הנדרשים. ללא תנאים אלו, ההיתכנות התפעולית, הכלכלית והבטיחותית של המהלך נפגעת מהיסוד. מכאן שניהול פסולת הבניין אינו שלב משני או נלווה לשיקום, אלא רכיב יסודי בתכנון האסטרטגי עצמו, המחייב גישה משולבת ומדורגת המותאמת למגבלות השטח.

2.3 שיקום תשתיתי כמנוף לדיפלומטיה סביבתית וצמיחה כלכלית

מחקר זה נשען על אסטרטגיית "לבנות קדימה וטוב יותר" (Build Forward Better - BFB), הרואה בפסולת הבניין משאב אסטרטגי ולא (רק) נטל סביבתי. באמצעות ניהול חכם ומיחזור מתקדם, ניתן לייצר חומרי גלם מקומיים, להניע כלכלה ירוקה ולייצר עשרות אלפי מקומות עבודה. תהליך זה הופך את אתגר השיקום למנוף ליציבות, לעצמאות ארוכת טווח ולביסוס ערוצי תקשורת הכרחיים בין הצדדים.

מעבר להיבט התעשייתי, הטיפול המשותף בזרמי הפסולת מהווה פלטפורמה לדיפלומטיה סביבתית יישומית. הצורך בתיאום לוגיסטי ותפעולי חוצה-גבולות מחייב בניית מנגנוני אמון ותקשורת ישירה בין שותפים בינלאומיים, גורמי מקצוע בישראל וברצועת עזה. שיתוף פעולה זה, המבוסס על אינטרסים סביבתיים וכלכליים מובהקים, עשוי לשמש תשתית ליציבות אזורית ולכינון יחסים מקצועיים ארוכי טווח, אשר ישרתו את האינטרס הביטחוני והאזרחי של הצדדים השונים באזור.

על פי הערכות המבוססות על שיחות עם נציגי תעשיית המיחזור בישראל, היקף פסולת הבנייה שנוצרה בעזה עד לסוף שנת 2025 נאמד בכ-75 מיליון טונות. כמות זו משקפת הריסה של כ-190 אלף מבנים המשתרעים על פני כ-50 מיליון מ"ר. לנוכח היקף זה, מוצע מודל תעשייתי משולב הכולל הריסה, מיון וייצור מוצרי בטון מהפסולת עצמה. מודל זה מהווה חלופה להטמנה מסורתית המלווה בנזק סביבתי, ומפחית את התלות באספקת אגרגטים חיצונית. כן קיימת היתכנות טכנולוגית למיחזור מלא של הפסולת לצורך ייצור בטון תקני. הפוטנציאל הכלכלי של המהלך מוערך בכ-7.5 מיליארד דולר, מתוכם כ-2.5 מיליארד דולר לפעולות הריסה וטיפול, וכ-5 מיליארד דולר למיחזור וייצור מוצרים.

מודל פיילוט עבור רפיח, שבה מצויים כ-12 מיליון טונות של פסולת בניין, מציג תוכנית אופרטיבית להקמת מפעל מיחזור בהשקעה של כ-15 מיליון דולר. למפעל כושר טיפול של כ-4.5 מיליון טונות בשנה ויכולת ייצור של כ-500 אלף מ"ק בטון ירוק. שילוב מנגנון של מכרז המחייב שימוש בחומר ממוחזר עשוי למצב את ניהול ההריסות לא רק כמענה לצורך סביבתי, אלא כמנוע תשתיתי וכלכלי מרכזי בשיקום האזור.⁶

6 מבוסס על סדרת ראיונות עומק ותכתובות אישיות עם מנהלים וגורמי מקצוע בכירים בתעשיית מיחזור פסולת הבנייה בישראל, שהתקיימו במהלך שנת 2025. פרטי המרואיינים שמורים במערכת.

3. פסולת הבניין בעזה: נתונים, השלכות סביבתיות, טכנולוגיות קיימות ואימוץ מודל של כלכלה מעגלית

3.1 מתודולוגיית המיפוי הסביבתי של הריסות ופסולת הבניין ברצועת עזה

כל טיפול מיטבי בפסולת בניין צריך להתחיל עם איסוף הנתונים והכרת המציאות. פרק זה מציג את מערך הנתונים, שיטת החישוב והתוצרים המסכמים של אומדן פסולת ההריסה לפי אזורים וזרמי חומרים שונים כחלק מפסולת הבנייה קרי, בטון, מתכות וכדומה. החישוב נשען על שילוב בין הגדרות הרכב חומרים לכל טיפוס מבנה, נתוני השטח הבנוי בכל משושה, ומקדמי המרה מחומר בנוי לנפח/מסה של פסולת הריסה.

החישובים בוצעו בשני רבדים משלימים: ברובד הראשון חושב עבור כל משושה הרכב פסולת ההריסה לפי חומר, וברובד השני נעשה כימות לפי חומרים, כך שניתן לקבל גם תמונה מקומית (מרחבית) וגם סיכום לאומי. שיטת החישוב נוסחה כך שניתן בקלות להחליף בין תרחישים שונים - מינימום, חציון ומקסימום - עבור הגדרות הרכב החומרים. המשוואות הקיימות הוגדרו עבור ערכי מינימום, אך נבנו באופן מודולרי: שינוי עמודת הקלט (למשל, מעבר מעמודת מינימום לעמודת חציון) ועדכון באופן אוטומטי של תוצאות פסולת ההריסה בכל רמת פירוט. גישה זו מאפשרת לבחון רגישות לסטיות בהרכב החומרים ולהדגיש את אי-הוודאות הטבעית בנתונים.

מבחינה מרחבית, כל משושה מייצג יחידת ניתוח קבועה בשטח של 0.25 קמ"ר. עבור כל משושה, נאסף המידע על שטח המבנים שזוהו כהרוסים וחושבו ממוצעי הגובה של המבנים ההרוסים בתוכו וזה תורגם למספר קומות, סוג הבינוי והיקפו, קרי מגורים חד-קומתיים ורב-קומתיים, מבני תעשייה ומבני חקלאות. לאחר מכן חושב עבור כל משושה הרכב פסולת ההריסה לפי חומרים. כך מתקבלת מפה רציפה של פסולת פוטנציאלית, שניתן להציג בשלושה מצבי תרחיש: מינימום, חציון ומקסימום. מפות אלו מדגישות מוקדי עומס עיקריים ומאפשרות לזהות אזורים שבהם צפוי להיווצר ריכוז גבוה של בטון, פלדה ושאר חומרים.

הניתוח התמקד באזורי מגורים, חקלאות ותעשייה. עבור חממות לא בוצע חישוב פסולת הריסה, מאחר שהנתונים הזמינים לגביהן אינם מספקים מידע מהימן ועקבי על הרכב החומרים. החלטה זו שומרת על עקביות מתודולוגית: למודל נכללו רק קטגוריות שבהן קיימים נתוני הרכב חומרים תקפים ובני-השוואה. בהתאם לכך, אומדן הפסולת מתמקד בבנייה קונבנציונלית ובטיפוסי מבנים האחראים לרוב המסה הכוללת.

מן הניתוח עולה כי מספר מצומצם של חומרים, ובראשם בטון ומתכות, מהווים את עיקר מסת פסולת ההריסה המחושבת. הפער בין תרחיש המינימום לבין החציון והמקסימום אינו נובע משינוי בשטח הבנוי, אלא מהבדלים בהנחות לגבי צפיפות והרכב החומרים לכל מטר בנוי. ממצא זה מדגיש את הרגישות הגבוהה של האומדן להנחות בדבר שיעורי בטון, פלדה וחומרים נוספים, ואת השפעתן הישירה על היקף הפסולת ועל תכנון מערך האיסוף, המיון והטיפול.

נספח 2 מפרט את התחשיבים הסופיים שעליהם נשען המחקר, ומציג באופן שיטתי את מבנה הנתונים, את מערך המיפוי ואת המתודולוגיה ששימשה למעבר בין תרחישי השיקום השונים. הנספח כולל ניתוח אנליטי של המפות והגרפים הנגזרים מעיבוד הנתונים המרחביים (לסקירה נרחבת וחזותית של ממצאי המחקר הכוללת ניתוח מרחבי אינטראקטיבי ומיפוי נתונים מתקדם בשיטת "GIS סיפורי" (StoryMaps) - ראו אתר המחקר הייעודי:

[לאתר בעברית - לחצו כאן](#) | [לאתר באנגלית - לחצו כאן](#)

3.2 תוצאות הניתוח

סעיף זה מציג את המסגרת המתודולוגית לחישוב אומדני פסולת הבניין, תוך שילוב מיפוי מרחבי, ניתוח נתונים והנחות הרכב חומרים. המודל מתחיל במיפוי GIS מקיף, המשתמש בלויינים ובבינה מלאכותית (AI) לכימות, מיון וניתוח ההריסות, המוצג באמצעות GIS סיפורי (GIS Story Map). שיטת המיפוי מבוססת על:

א. מודל הקסגונים (Hexagon): שימוש במודל משושיים להערכת נזקים ומסות ברזולוציה מרחבית.

ב. בסיס נתונים: נתוני לוויין, שכבות UNOSAT ו-OpenStreetMap.

ג. חישוב אומדן: עבור כל משושה חושב אומדן השטח הבנוי שזוהה כהרוס וכן גובה ממוצע של המבנים.

3.3 אומדן מרחבי של פסולת ההריסות בעזה בשלושה תרחישים

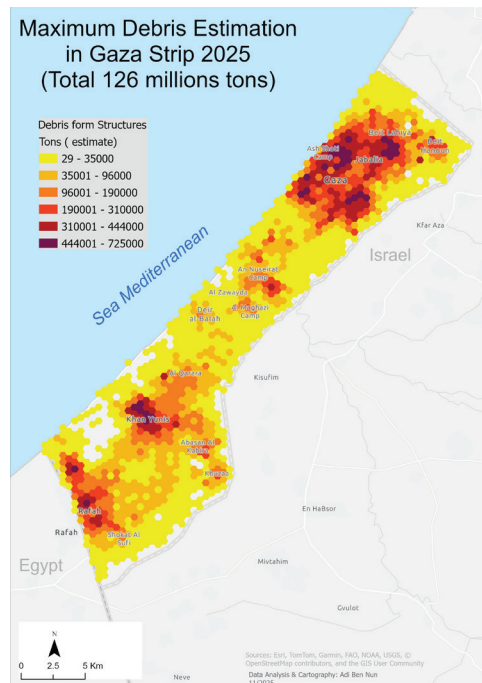
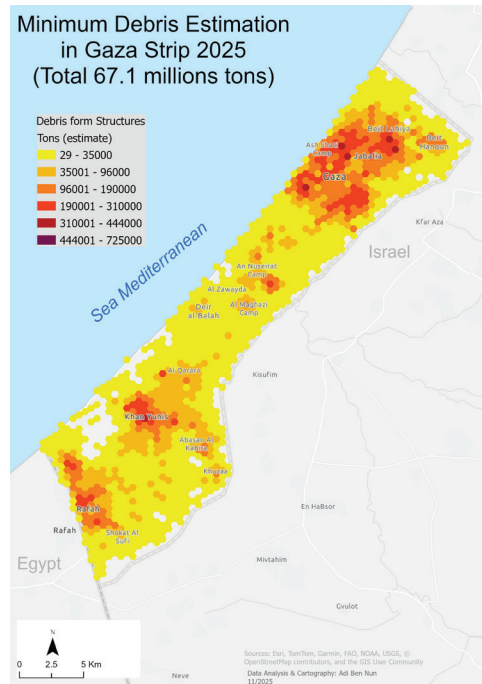
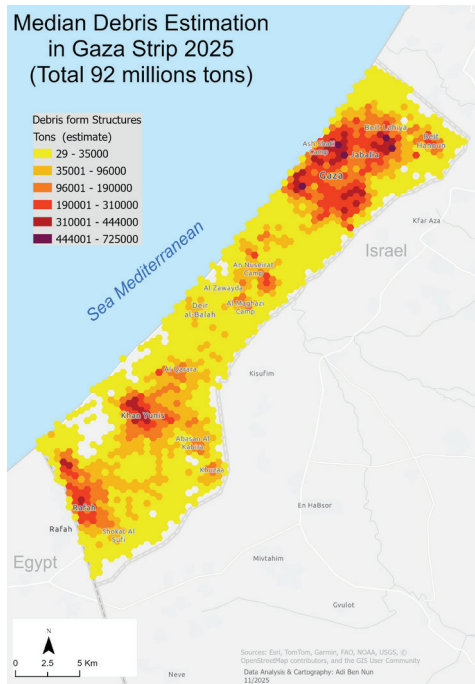
שלוש המפות הבאות מציגות אומדן שיטתי של פסולת ההריסות ברצועת עזה לשנת 2025, בשלושה תרחישים כמותיים: מינימום, חציון ומקסימום. בכל המפות נעשה שימוש בחלוקה למשושים מרחביים המייצגים את מסת הפסולת המוערכת שמקורה במבנים שקרסו. החלוקה מאפשרת להבחין בין אזורים בעלי עומס הרס נמוך לבין אזורים בעלי עומס גבוה, בעיקר סביב עזה, ג'באליה, חאן-יונס ורפיח. מפות המינימום והחציון מציגות דפוס מרחבי דומה בהיקפים שונים, בעוד שמפת המקסימום מדגישה אזורים שבהם האומדן מצביע על ריכוזי הרס גבוהים יותר, עד מאות אלפי טונות במשושה בודד.

במפת המינימום (67.1 מיליון טון) ניכרת התפלגות הרס רחבה בעומסים נמוכים יחסית, עם מוקדים ברורים בצפון הרצועה סביב ג'באליה, עזה ובית לאהיא, ובדרום סביב חאן יונס ורפיח. במפת החציון (92 מיליון טון) אותם אזורים נעשים צפופים יותר, והיקפי הפסולת במשושים עולים בהתאם למדרגות הצבע, המעידות על גידול במסת החומר לניהול. במפת המקסימום (126 מיליון טון) מתחדד דפוס של ריכוזי הרס בצפון ובדרום, עם צפיפות גבוהה סביב מרכז עזה, ג'באליה וחאן יונס, וערכים גבוהים במיוחד ברפיח. בנוסף, מצורפת מפת התמצאות המציגה את החלוקה המנהלית למחוזות ברצועת עזה ואת מיקומם היחסי במרחב.

המיפוי המוצג בעבודה זו נסמך על תשתית הנתונים של משרד האו"ם לתיאום עניינים הומניטריים (UN-OCHA) המהווה את המקור המוסמך והניטרלי המקובל על הקהילה הבינלאומית למיפוי אזורי זה. המפה משמרת במדויק את החלוקה המנהלית לחמשת המחוזות הרשמיים (Governorates) כפי שהוגדרו על ידי הלשכה הפלסטינית המרכזית לסטטיסטיקה (PCBS): צפון עזה (North Gaza), עזה (Gaza), דיר אל-בלח (Deir al-Balah), ח'אן יונס (Khan Yunis), ורפיח (Rafah). יודגש כי כל חלוקה פנימית נוספת המוצגת במפה נועדה לצרכים מתודולוגיים של מחקר זה בלבד קרי, לצורך ניתוח ריכוזי פסולת והרס ואין בה כדי להציג גבולות מוניציפאליים חדשים או חלוקה שונה מהסטטוס קוו הבינלאומי.⁷ השוואת שלושת התרחישים מדגישה את אִי־הוודאות הכמותית בין האומדנים, לצד יציבות מרחבית של מוקדי ההרס: האזורים הצפוניים והדרומיים נותרים

⁷ תודה מיוחדת לד"ר עדי בן-נון מהאוניברסיטה העברית על הייעוץ והמומחיות בתחום ה-GIS, ולאדריכלית הדסה לב, מנכ"לית WALK, על פיתוח היישומים הדינמיים והטמעת הנתונים בשיטת "מפות סיפור" (StoryMaps); ולד"ר תומר פישמן, יועץ חיצוני המתמחה בכלכלה מעגלית על תרומתו לניתוח הנתונים.

העמוסים ביותר בכל תרחיש, דבר המצביע על צורך בהיערכות דיפרנציאלית מבחינת לוגיסטיקה, טיפול, שיקום ותיעודף תשתיות.



הטבלה הבאה מציגה את נתוני הבסיס שעליהם נשען המודל לצורך חישוב אומדני הפסולת:

טבלה מס' 1: נתוני הנזק המרכזיים (נכון לאוגוסט 2025)

פרמטר	ערך
מבנים הרוסים	כ-160,000 מבנים
פסולת בניין	67-126 מיליון טון
כבישים שניזוקו	כ-3,045 ק"מ

* מקור: פותח ועובד על ידי צוות המחקר במסגרת דוח זה.

מבחינת התפלגות גיאוגרפית של הפסולת, האומדנים מצביעים על כ-53.4 מיליון טון פסולת, המרוכזת בהתפלגות הבאה: צפון הרצועה - 35 אחוזים; מרכז הרצועה - 39 אחוזים; ודרום הרצועה - 26 אחוזים. המיפוי מזהה את הצורך הקריטי בשיקום תשתיות תחבורה ראשיות כתנאי מוקדם לפינוי אפקטיבי.

הטבלה הבאה מציגה את אומדן מספר המבנים הרוסים והיקפי פסולת הבניין לפי מחוז, בשלושה תרחישים חישוביים: מינימום, חציון ומקסימום:

טבלה מס' 2: אומדן מבנים הרוסים והיקפי פסולת לפי מחוז ותרחיש (מינימום, חציון, מקסימום)

מחוז	מספר מבנים הרוסים	מינימום פסולת (מיליוני טון)	חציון פסולת (מיליוני טון)	מקסימום פסולת (מיליוני טון)
Deir Al-Balah דיר אל-בלח	15641	5	7	10
Gaza עזה	41424	25	35	47
Khan Younis ח'אן יונס	44828	15	20	28
North Gaza צפון עזה	27576	12	16	22
Rafah רפיח	29663	10	14	19
Grand Total סה"כ	159132	67	92	126

* מקור: פותח ועובד על ידי צוות המחקר במסגרת דוח זה.

הטבלה הבאה מפרטת את הרכב פסולת הבניין לפי סוג חומר ובחלוקה לשלושת התרחישים, ומדגישה את תרומת כל חומר למסה הכולל:

טבלה מס' 3: פירוט הרכב פסולת בניין לפי סוג חומר ותרחיש (במיליוני טון)

תרחיש	בטון	פלדה	זכוכית	פולימרים	נחושת	אלומיניום	סה"כ (מיליון טון)
מינימום	63.82	3.10	0.16	0.04	0.01	0.01	67.13
חציון	86.96	4.58	0.22	0.11	0.02	0.04	91.92
מקסימום	116.86	8.47	0.36	0.27	0.02	0.10	126.09

* מקור: פותח ועובד על ידי צוות המחקר במסגרת דוח זה.

לצורך הנגשת הממצאים המורכבים והפיכתם לכלי עבודה יישומי, פותחה במסגרת המחקר פלטפורמת GIS אינטראקטיבית (Story Map). פלטפורמה זו- לשונית זו מאפשרת לקובעי מדיניות ולגורמי מקצוע לבחון באופן דינמי את שכבות המידע, את היקפי ההרס ואת תרחישי השיקום הפוטנציאליים. המפה משלבת מודלים תלת-ממדיים וניתוחים מרחביים מתקדמים המהווים נדבך מרכזי בתהליך קבלת ההחלטות. פירוט מלא של מאפייני המפה, המתודולוגיה החזותית והפניות ליישומים האינטראקטיביים מופיעים בנספח 2.

3.5 הערכת סיכונים הסביבתיים ובריאותיים בהעדר טיפול מוסדר

היקפי הפסולת החריגים ברצועת עזה יוצרים סיכונים סביבתיים ובריאותיים מתמשכים, המחייבים התערבות דחופה בשני צירים מרכזיים:

הראשון, חשיפה לחומרים מסוכנים (חומ"ס) ולשאריות תחמושת: בהריסות המבנים מצויים שאריות אסבסט, מתכות כבדות ותחמושת שלא התפוצצה (Unexploded Ordnance - UXO), נוכחותם של חומרים אלו מחייבת יישום קפדני של פרוטוקולים בינלאומיים לפינוי, הסרה ואחסון בטוח. המחקר הנוכחי מאמץ לקחים ממדינות שחו הרס דומה, דוגמת המודל שיושם בסרי-לנקה, המדגיש את הצורך במיון ראשוני קפדני למניעת חשיפה של צוותי העבודה והאוכלוסייה למזהמים ולנפלים.⁸

8 United Nations Secretary-General. (2011). [Report of the Secretary-General's Panel of Experts on Accountability in Sri Lanka](#). United Nations. Available via UN Digital. (n.d).

השני, השלכת פסולת לים וזיהום מים: קריסת תשתיות המים והביוב מובילה להזרמה מאסיבית של שפכים לא מטופלים לים התיכון ולחלחול מזהמים מאזורי ההריסות אל מי התהום. תהליכים אלו מסבים נזק בלתי הפיך לאקולוגיה הימית, לענף הדיג ולבריאות הציבור באזור כולו.⁹ לא ניתן לנתק את הטיפול בפסולת הבניין משיקום תשתיות המים; כל עוד המערכות הבסיסיות אינן מתפקדות, עבודות הפינוי והמיחזור מתבצעות בסביבה מזהמת המציבה רף סיכון גבוה. לפיכך, נדרש תכנון אינטגרטיבי הרואה בטיפול בהריסות ובשיקום התשתיות תנאים משלימים והכרחיים להפחתת הזיהום הסביבתי. במסגרת זו, המחקר בוחן את השימות של מודל השיקום הכווייתי (KERP - Kuwait Environmental Remediation Program). תוכנית רחבת היקף זו, שהוקמה לטיפול בנזקי מלחמת המפרץ, הוכיחה כי שיקום סביבתי מחייב שיתוף פעולה אזורי ומנגנונים תפעוליים מורכבים. באופן דומה, המחקר הנוכחי ממליץ לאמץ תפיסה אזורית רחבה שתאפשר את צמיחתה של תעשיית מיחזור מקומית, תבטיח טיפול מיטבי במפגעים ותהווה בסיס לשיקום בר-קיימא של המרחב.¹⁰

3.6 הפיכת הריסות למשאבים: אסטרטגיית כלכלה מעגלית בשיקום המרחב

המציאות הגיאופוליטית והסביבתית המשתנה ברצועת עזה בעקבות העימות הממושך, שהחל באוקטובר 2023 ונמשך למעלה משנתיים, מציבה אתגרים חסרי תקדים בתולדות השיקום המודרני של אזורי סכסוך. היקף ההרס הפיזי אינו מהווה רק קטסטרופה הומניטרית, אלא הוא מייצר הזדמנות קריטית ליישום מודלים חדשניים של כלכלה מעגלית. המעבר ממודל ליניארי של 'לקחת- לייצר- להשליך' לגישה מעגלית המבוססת על תכנון מקדים, הפרדה של זרמי פסולת, מיחזור ושימוש חוזר בהריסות, אינו רק יעד סביבתי אלא הכרח אסטרטגי הנובע מהמחסור החמור במשאבי קרקע ובחומרי גלם מיובאים.

היקף ההרס ברצועת עזה הוא מאירועי ההריסה הצפופים והנרחבים ביותר במאה

9 EcoPeace Middle East. (2025). [Pre-feasibility study: The humanitarian and trade corridor Jordan-West Bank-Israel-Gaza. Policy report](#), EcoPeace Middle East. Published September 30, 2025.

10 United Nations, "Iraq Makes Final Reparation Payment to Kuwait for 1990 Invasion," UN News, 9 February 2022; Al-Barood, A., Al-Kandari, H., & Vedhapuri, S. Kuwait Environmental Remediation Program (KERP): [Criteria for Site Selection and Expected Benefits of The Revegetation Projects](#).

ה-21. ריכוז זה יוצר עומס לוגיסטי ובטיחותי חסר תקדים, אך טומן בחובו גם פוטנציאל משמעותי לעיבוד מקומי של פסולת והפקת חומרי גלם משניים. שיקום הרצועה מחייב שילוב בין חדשנות טכנולוגית, רגולציה מותאמת ושיתוף פעולה בינלאומי. כלים מתקדמים כגון מיפוי מבוסס GIS, צילומי רחפנים ובינה מלאכותית מאפשרים לסווג חומרים ולתכנן אתרי טיפול בצורה מיטבית, בעוד שפרוטוקולים ייעודיים נותנים מענה לסוגיות קריטיות של יציבות קרקע, מגבלות תנועה ונטרול תחמושת שלא התפוצצה.

אסטרטגיית הכלכלה המעגלית (Circular Economy) מציעה מעבר ממודל ליניארי של ייצור והשלכה למודל מבוסס השבת ערך. ברצועת עזה, שבה היקפי ההריסות נאמדים בעשרות מיליוני טונות, ניתן למחזר חלק ניכר מהפסולת ולהשיב חומרים למעגל הבנייה. תהליך זה כולל מיון במקור והפרדת חומרים, גריסת בטון לאגרגט ממוחזר, וחילוץ מתכות - פעולות שעשויות להביא לצמצום התלות בייבוא חומרי גלם חדשים.

האגרגט הממוחזר, למשל, מהווה משאב מרכזי שניתן לשלב מחדש בסלילת כבישים, כבסיס למדרכות וכרכיב בייצור בטון חדש. באופן דומה, פלדת הזיון הנחלצת מההריסות ניתנת להתכה ולשימוש מחדש בתעשייה, בעוד שחומרי מילוי ושיקום משמשים ליישור שטחים ולהקמת סוללות עפר. רכיבי בניין שלמים שניתן לשקם, כגון דלתות וחלונות, עשויים להשתלב מחדש בבנייה קהילתית ולייעל את תהליכי השיקום.

המעבר לאסטרטגיה מעגלית מגלם ערך כלכלי של מאות מיליוני דולרים, לצד חיסכון בעלויות פינוי והפחתת פליטות גזי חממה. עם זאת, מימוש פוטנציאל זה מותנה בתשתית רגולטורית מותאמת, במנגנוני בקרה ובתיאום לוגיסטי המתחשב בסיכוני השטח. שילוב בין חדשנות טכנולוגית, תמריצים כלכליים ומדיניות תומכת הוא התנאי לביסוסו של שיקום בר-קיימא במרחב כולו.

3.7 אסטרטגיית ניהול משאבים וחדשנות טכנולוגית

הפיכת פסולת הבניין למשאב אסטרטגי מחייבת הטמעה של טכנולוגיות כלכלה מעגלית (Circular Economy) מתקדמות. על מנת להשיג יעד מיחזור שאפתני של 70 עד 90 אחוזים, מוצע להקים ברצועת עזה בין שלושה עד חמישה אתרי מיחזור מרכזיים המצוידים בתשתית מודרנית, לרבות מגרסות ניידות, מפרידים מגנטיים ומערכות מיון אופטיות. תוצרי המיחזור ובהם אגרגטים ובלוקים ממוחזרים עשויים להוות חלופות איכותיות לחצץ טבעי, ובכך יתרמו לצמצום עלויות הייבוא

ולקידום עצמאות חומרית בתהליך הבנייה.

ניהול יעיל של פסולת בנייה והריסה בהיקפים חריגים ובתנאים מורכבים מחייב בראש ובראשונה מיפוי מדויק של תמונת המצב בשטח. לצורך כך, המחקר נשען על מודל שפותח ומבוסס בינה מלאכותית (AI), הנשען על פענוח צילומי רחפנים ולווין באמצעות אלגוריתמים מתקדמים לניתוח תמונה. המערכת מאפשרת לזהות, לסווג ולכמת את מרכיבי הפסולת השונים כגון מתכות, עץ, רכיבים מינרליים ופולימרים ולתרגם מידע חזותי גולמי למפת משאבים דינמית ועדכנית.

עבור קובעי המדיניות והדרגים המקצועיים, כלי זה מייצג שינוי פרדיגמה: מעבר מטיפול בפסולת מבוזרת ובלתי מזוהה לניהול נתונים סדור המאפשר תכנון מושכל, תיעודף משימות וקבלת החלטות מבוססת נתונים. המודל מדגים כיצד טכנולוגיות בינה מלאכותית הופכות מחקר אקדמי לפלטפורמה יישומית, התומכת בניהול סביבתי חכם ובקידום כלכלה מעגלית גם בהקשרים המתגרים ביותר של שיקום ופיתוח אזורי.¹¹

Mager, A., Gorun, A., Tsur, Y., Shahar, M., & Blass, V. (2025). Identifying materials in spatially unauthorized waste sites for local circular economy enhancement. *Resources, Conservation and Recycling*, 215, 108163. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.108163>
עדי מגר, "הבינה המלאכותית שתנקה את השטחים הפתוחים" מגזין שפת רחוב. (מאי 2025)

3.8 פיתוח מודלים אינטגרטיביים לכלכלה מעגלית בתחום פסולת בנייה

הניסיון הבינלאומי בשיקום אזורי הרס מלמד כי פסולת בניין אינה רק זרם למחזור תעשייתי, אלא משאב ישיר לבנייה מחדש. לאחר רעידת האדמה בהאיטי נעשה שימוש בהריסות בטון לייצור אגרגטים עבור תשתיות ודיור זמני. בִּיפֶן, לאחר הצונאמי ב-2011, פסולת בניין עובדה ושולבה בפרויקטי תשתית, בסוללות מגן ובחילוץ קווי חוף. באירופה, מדינות כדוגמת הולנד וגרמניה משלבות אגרגטים ממוחזרים בבטון מבני ובסלילה כחלק מתקני בנייה מחייבים. דוגמאות אלו מצביעות על כך שבכפוף לרגולציה מתאימה ולבקרת איכות, ניתן לשלב חומרים ממוחזרים גם בבנייה קבועה ולא רק ביישומים זמניים.

במסגרת מחקר זה, נעשה שימוש בשתי מסגרות תיאורטיות משלימות המנחות את תהליך השיקום. הראשון, המושג (BFB) Build Forward Better, שמקורו בסטנדרטים בינלאומיים להתאוששות ממשברים ואסונות של האיחוד האירופי, משמש כמעטפת חזון השואפת לבנייה מחדש בצורה עמידה ושוויונית יותר מהמצב שקדם לעימות.¹² השני, לצורך הטיפול הספציפי בפסולת בניין והריסה (CDW - Construction and Demolition Waste), המחקר מאמץ ומדגיש את גישת ה-(BBC) Build Back Circular.¹³ גישה זו ממוקדת ביישומי כלכלה מעגלית (CE) ומעמידה במרכז את עקרונות הפחתת הפסולת, סגירת לולאות חומרים ושימוש חוזר בהריסות כמשאב אסטרטגי. בעוד ש-BFB מגדיר את היעד הרחב של יציבות אזרית, BBC מהווה את הכלי התפעולי והמתודולוגי המאפשר את מימושו של שיקום בר-קיימא הלכה למעשה.

שיקום לאחר הרס נרחב מתרחש כיום לצד אתגרי משבר האקלים. בנייה המבוססת על חומרים ממוחזרים מפחיתה פליטות הקשורות בכרייה, בייצור מלט ובשינוע. עקרונות Build Forward Better, שפותחו במסגרת מדיניות להפחתת סיכוני אסונות של האו"ם והבנק העולמי, מדגישים כי השיקום אינו מסתכם בהקמה

12 European Parliament, [The use of Cohesion Policy Funds in natural disaster response and recovery](#), Policy Department for Regional Development, Agriculture and Fisheries, PE 776.002, January 2026; Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). Building Forward Better: Strengthening local human capital in fragile countries. <https://www.fao.org/land-water/news-archive/news-detail/en/c/1321723>

13 Çetin, S., & Kirchherr, J. (2025). [The Build Back Circular framework](#): Circular economy strategies for post-disaster reconstruction and recovery. *Circular Economy and Sustainability*, 5(3), 1689-1726.

מחדש של מבנים, אלא מחייב התאמה לעתיד: שיפור בידוד תרמי, ניהול נגר למניעת הצפות ותכנון מרחבי המפחית צריכת אנרגיה. שילוב בין כלכלה מעגלית לתכנון מותאם אקלים מאפשר להפוך תהליך שיקום להזדמנות לשדרוג מערכת. המודל הכלכלי המוצע נשען על עקרונות הכלכלה המעגלית, המבקשת לשמר את ערך החומרים לאורך זמן ולצמצם תלות בחומרי גלם בתוליים. בניגוד למודל הליניארי של ייצור והשלכה, הגישה המעגלית רואה בפסולת משאב בעל ערך כלכלי וסביבתי. המודל מונחה על ידי היררכיית R6 המורחבת, הקובעת סדר עדיפויות לפעולה:

1. Reduce (צמצום) - הפחתת היווצרות פסולת כבר בשלב התכנון והביצוע.
2. Reuse (שימוש חוזר) - ניצול רכיבים שלמים ללא עיבוד מהותי נוסף.
3. Recycle (מיחזור) - עיבוד פסולת לחומרי גלם חדשים.
4. Recover (השבה) - הפקת אנרגיה או משאבים מחומרים שאינם ניתנים למיחזור ישיר.
5. Redesign (עיצוב מחדש) - תכנון מבנים ומוצרים כך שיאפשרו פירוק, הפרדה ומיחזור עתידי.
6. Remanufacture (ייצור מחדש) - ייצור מוצרים חדשים תוך שימוש ברכיבים מפורקים או ממוחזרים.

האגרגט הממוחזר למשל הוא חומר גרגרי המופק מריסוק, ניפוי ומיון של בטון, לבנים ואספלט. תוצרי העיבוד משמשים תחליף לחומרי מחצבה טבעיים, כגון חצץ וחול, ביישומים רחבי היקף: מייצור בטון חדש ועד לשכבות מצע לכבישים, מילוי תשתיות ועבודות עפר. סקירות שיטתיות מצביעות על כך שהתכונות המכניות של בטון המבוסס על אגרגט ממוחזר לרבות חוזק לחיצה ועמידות, עומדות בדרישות התקן המחמירות, בתנאי שמתבצע תכנון תערובת מותאם. מחקרים הראו כי שימוש בשיעורי תחלופה גבוהים של אגרגט ממוחזר הוא יישום בר-השגה מבחינה הנדסית וכלכלית כאחד.

בנוסף, קיימת היתכנות גבוהה למיחזור רכיבים נוספים מההריסות: מתכות - מוטות פלדה וגרוטאות נאספים ומותכים מחדש, תוך חיסכון אנרגטי משמעותי בהשוואה לייצור פלדה ראשונית; עץ - פסולת עץ ניתנת לגריסה ועיבוד למגוון שימושים כגון ייצור לוחות עץ מתועשים, חומר גלם לתעשיית הנייר, או כמקור אנרגיה מתחדשת לייצור אנרגיה תרמית; זכוכית וקרמיקה - חומרים אלו ניתנים לעיבוד ללוחות דקורטיביים, חיפויים ופסיפסים, ובכך תורמים להעלאת ערך המשאבים המושבים (Upcycling).

לסיכום, ניהול יעיל של פסולת בנייה והריסה לאחר אסון אינו מתמצה בפינוי ובהטמנה, אלא חותר להשבת החומרים למעגל הייצור והפיכתם למשאב אסטרטגי. הספרות המקצועית מדגישה כי ניהול מושכל של זרמי הפסולת נועד לא רק לצמצם סיכונים סביבתיים ובריאותיים, אלא גם לאפשר ניצול של הריסות כמקור לאגרגטים, למתכות ולחומרים משניים. גישה זו מפחיתה את התלות במשאבים טבעיים, מצמצמת עלויות הובלה ומאיצה את קצב השיקום המרחבי.

בשנה החולפת, אלפי עזתים מועסקים בכרייה ידנית של ברזל ובטון מתוך גלי ההריסות, תחום שהפך לאחד ממנועי התעסוקה המרכזיים ברצועה ומתנהל תחת שלושה וקטורים עיקריים: קבלני הריסות פרטיים המנצלים את עתודות ההריסות כחומר גלם זמין ומשלמים שכר יומי נמוך (כ-30 ש"ח) עבור חילוץ ברזל המיועד לתיקוני בנייה; תוכניות תעסוקה מטעם האו"ם; ויוזמות עצמאיות של תושבים הכורים ברזל מחורבות בתיהם לצרכי פרנסה. לצד פעילות זו, ועל אף אובדן השליטה על כמחצית משטח הרצועה, חמאס מוסיף להוות שחקן כלכלי משמעותי הפועל ב"כלכלת צללים" טפילית; הארגון מנצל את מרותו על האוכלוסייה ואת היעדר הנוכחות הצבאית של צה"ל באזורים מסוימים כדי לגבות "דמי אבטחה" ממשאיות סיוע באמצעות חמושים, ולהשתלט על סחורות המופנות למכירה בשוק השחור או לחלוקה למקורביו.¹⁴ לצד אתגרים אלו, נבחנים כיום מודלים להקמת מתחמי מגורים זמניים בדרום הרצועה, ובפרט באזור רפיח, במסגרת תפיסת "מודל עזה החדשה". מודל זה כולל בחינת קרקעות, תיאום עם קבלנים מקומיים שאושרו מראש וניהול המערך באמצעות גורם שלישי. מהלכים אלו מדגישים כי מלאכת השיקום אינה מתמצת בפינוי הריסות בלבד, אלא כרוכה בארגון מחדש של המרחב, בהסדרת תשתיות ובהכרעות מדיניות-ביטחוניות בעלות השלכות אסטרטגיות ארוכות טווח.¹⁵

14 דרון פסקין, כלכליסט, "כלכלת עזה: השווקים פתוחים, המסעדות במתכונת 'אינסטנט' והקבלנים משגשגים". פברואר 2026.

15 ניצן שפירא, חדשות N12, "עזה החדשה": בישראל פועלים בתיאום עם קבלנים עזתים להכשיר קרקע לשלב הבא בהסכם. דצמבר 2025.

4. היבטים חברתיים

4.1 השפעת הצטברות פסולת בניין על בריאות הציבור והסביבה האורבנית

הצטברות הפסולת ברצועה גורמת לזיהום סביבתי, מגבירה סיכונים בריאותיים כגון מחלות נשימה וזיהומים, ומעמיקה את המשבר ההומניטרי. הטיפול בסיכונים אלה מחייב תכנון סביבתי ובריאותי כולל, שאינו מסתכם בפינוי פיזי של ההריסות בלבד.¹⁶ הטבלה הבאה מציגה את אומדן הנזקים הכלכליים והבריאותיים המרכזיים הנובעים ממשבר ההריסות, בהתאם להערכת הבנק העולמי:

טבלה מס' 4: נתוני נזק כלכלי ובריאותי, לפי הערכות הבנק העולמי (IRDNA, פברואר 2025):

מגזר	נזק (מיליארד \$)
תשתיות WASH	4.9
בריאות	1.53
סה"כ נזק לתמ"ג	80% מהתמ"ג של 2023

הנזק המצטבר לתשתיות הליבה הוא בעל השלכות חברתיות וכלכליות רחבות. הצטברות הפסולת, בהיקף של כ-330 אלף טון אשפה מוצקה, יוצרת זיהום סביבתי נרחב ומגבירה באופן משמעותי סיכונים בריאותיים, לרבות מחלות נשימה וזיהומים, על רקע תנאי תברואה ותשתית ירודים. הפגיעה ניכרת במיוחד בשני מגזרים קריטיים: תשתיות WASH (מים, תברואה והיגיינה) בהיקף של 4.9 מיליארד דולר, ומערכת הבריאות בהיקף של 1.53 מיליארד דולר.

ההשפעה הכלכלית הכוללת של הצטברות הפסולת בעזה מוערכת בפגיעה השווה לכ-80 אחוזים מהתוצר המקומי הגולמי (תמ"ג) של שנת 2023. בנוסף לנזק הפיזי, ההריסות והפסולת פוגעות במרקם החברתי והכלכלי, מעכבות חזרה לשגרה ומאריכות את המשבר ההומניטרי. מחסור בתשתיות בסיסיות מחליש את

16 הבנק העולמי, האיחוד האירופי, והא"ם. (פברואר, 2025). הערכת נזקים, הפסדים וצרכים לגזה ולגדה המערבית (IRDNA)-הערכה ביניים.

הגישה לשירותים חיוניים ומחייב התייחסות מערכתית המשלבת שיקום תשתיות, מענה בריאותי ותכנון סביבתי ארוך טווח.

4.2 עקרונות השיקום המונחה-קהילה ושילוב האוכלוסייה

“עקרונות השיקום” בהקשר זה אינם מתמצים בפינוי הריסות ובהקמה פיזית של מבנים, אלא מגדירים תהליך רב-מערכתי הכולל שיקום מוסדי, חברתי וכלכלי. מטרת העל היא בניית חוסן ארוך טווח ויצירת תנאים ליציבות מתמשכת. בהתאם לכך, על תהליך השיקום להתבסס על מודל מונחה-קהילה (The ODHA - Owner-Driven Housing Assistance).¹⁷ מודל זה חיוני להצלחת המערכה שכן הוא מעביר את האחריות והבעלות על קבלת ההחלטות לאוכלוסייה המקומית. העצמה זו מייצרת לגיטימציה רחבה, ובפרט כאשר היא משלבת את הקהילה בפרויקטים של פינוי ומיחזור הריסות, המייצרים תעסוקה זמנית והמשכיות כלכלית. הצורך במודל גמיש וקהילתי מודגש לנוכח ממדי ההרס חסרי התקדים. נכון לינואר 2025, היקף הנזק הפיזי הישיר לבדו מוערך בכ-29.9 מיליארד דולר. מגזר הדיור ספג את הפגיעה הקשה ביותר עם נזקים בהיקף של כ-15.8 מיליארד דולר, המהווים כ-53 אחוזים מכלל הנזק. אחריו ניצבים המגזר הכלכלי-יצרני, שניזוק בכ-6.8 מיליארד דולר, ומגזר התשתיות שבו נרשמו נזקים בסך של למעלה מ-4.9 מיליארד דולר. בתוך כך, תשתיות המים, התברואה והסביבה (WASH) לבדן ספגו נזק המוערך ב-1.53 מיליארד דולר, המהווים כ-5 אחוזים מכלל ההרס. לשם המחשה, שווי הנזקים הפיזיים לבדו גבוה בכ-80 אחוזים מהתוצר המקומי הגולמי (GDP) השנתי המשולב של הגדה המערבית ורצועת עזה בשנת 2023, שעמד על כ-17.4 מיליארד דולר. לצד ממדי ההרס, תהליך השיקום עצמו מחייב התמודדות מורכבת עם פסולת בניין מזהמת, כאשר עלות מחזור ופנייה בלבד מוערכת בכ-1.9 מיליארד דולר.¹⁸

בנוסף, גישה מוכרת של UN-Habitat לשיקום עירוני ויישובי לאחר קונפליקט או אסון היא ה-“People’s Process”, הממקמת את האוכלוסייה שנפגעה במרכז תהליך ההתאוששות והבנייה מחדש. גישה זו משלבת את קולם, צורכיהם ועמדותיהם של התושבים בתכנון וביישום, באמצעות מיפוי צרכים ברמת הקהילה,

17 Gunasekara, V., Philips, M., Romeshun, K., & Munas, M. (2016). *Life and Debt: Assessing the Impacts of Participatory Housing Reconstruction in Post-Conflict Sri Lanka*. *Stability: International Journal of Security and Development*, 5(1), 10.

18 מגן, ל'. (יולי 2025), *שיקום בר-קיימא: שיעורים מהעולם למרחב עזה*. היחידה המדינית-ביטחונית של קרן ברל כצנלסון ומכון מיתוים.

ניתוח פתרונות יחד עם התושבים ופיתוח תוכניות הנובעות משיח משתף. בהקשר זה מודגש כי הבנת סדרי העדיפויות המקומיים והתרומה של הקהילה לתהליך השיקום מהווה תנאי להגעה לתוצאות בנות-קיימא. בהתאם לכך, עזה יכולה לעצב פעולות שיקום שאינן מסתכמות בפתרונות טכניים בלבד, אלא משקפות את העדיפויות החברתיות, הכלכליות והסביבתיות של הקהילות המקומיות, ולייצר בכך רכיב מרכזי בבניית חוסן ארוך טווח של יישובים ומגורים.¹⁹

בבוסניה הודגם היבט משלים באמצעות תוכנית PLIP (Property Law Implementation Programme), תוכנית יישום דיני הקניין, יוזמה משפטית-מנהלתית שנועדה לאפשר למיעוטים ולעקורים לשוב לבתיהם ולקבל השבה או פיצוי על רכושם שנלקח במהלך הסכסוך. התוכנית הפעילה מנגנון שיטתי לבחינת זכויות קניין, איסוף נתונים ולחץ עקבי על הרשויות המקומיות ליישום ההחלטות, ובכך אפשרה לכ-470 אלף איש לשוב לבתיהם. ניסיון זה מלמד כי שיקום פוסט-קונפליקט אינו מסתכם בבנייה פיזית מחדש, אלא מחייב גם השבת מערכות משפטיות, מוסדיות וחברתיות, כתנאי ליציבות ארוכת טווח ולהשתלבות קהילתית מתמשכת.²⁰

לקחים אלו מחזקים את הצורך בהקמת מנגנונים פיננסיים ייעודיים לשיקום סביבתי, המשלבים מסגרת תקציבית סגורה, תכנון רב-שנתי ומנגנוני בקרה ומדידה ארוכי טווח. דוגמה בולטת לכך היא תוכנית השיקום הסביבתית של כווייט (Kuwait Environmental Restoration Program - KERF), שהוקמה לאחר מלחמת המפרץ הראשונה במטרה לטפל בנזקי זיהום נרחבים, לרבות שריפות בארות נפט וזיהום קרקע. התוכנית התבססה על קרן ייעודית במימון בינלאומי במסגרת מנגנון הפיצויים של האו"ם - United Nations Compensation Commission, כללה תכנון שלבי שיקום רב-שנתיים, מכרזים מפוקחים, ניטור סביבתי מתמשך ודיווח שקוף על התקדמות. המקרה הכווייתי מדגים כי שיקום סביבתי בהיקף רחב דורש מסגרת מוסדית יציבה, מימון מובטח ומנגנוני פיקוח ארוכי טווח, על מנת להבטיח לא רק טיפול פיזי בנזק אלא גם חיזוק חוסן מוסדי וכלכלי. באוקראינה, מאז 2022, נעשה שימוש בפלטפורמות דיגיטליות ממשלתיות כגון Diia לצורך שקיפות, דיווח ומעורבות ציבורית בתהליכי שיקום והקצאת משאבים.²¹ מקרים אלו מלמדים כי

19 UN-HABITAT, [The People's Process in Post-Disaster Reconstruction](#), United Nations Human Settlements Programme, 2007.

20 United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR). (2004). [Returns to Bosnia and Herzegovina reach 1 million](#).

21 World Bank, [Ukraine Third Rapid Damage and Needs Assessment](#). August 2022.

החלטות הנוגעות להחזרת קהילות, לשיקום אתרים היסטוריים ולתכנון מרחבי מחודש מחייבות מנגנוני השתתפות רחבים.

שיקום המבוסס על ניהול מיטבי של פסולת בנייה ברצועת עזה עשוי לשמש מנוף לשיקום אנושי וקהילתי רחב. החלטות הנוגעות לשחזור מגורים, להשבת קהילות ולשימור אתרים היסטוריים הן אלו המחדשות את הזיקה בין אדם למקום. לפיכך, התמקדות במיחזור הריסות אינה רק צעד סביבתי אלא תשתית להחייאת מרחבי חיים, ליצירת מקורות תעסוקה ולחיזוק רווחת התושבים. כדי לתרגם חזון זה למציאות בשטח, יש לבחון כעת את היתכנותו הכלכלית של המודל ואת התנאים להקמת שווקים יציבים ומתמשכים עבור חומרי גלם ממוחזרים, נושאים שיידונו בפרק הבא.

5. היבטים כלכליים, מימון ופיתוח שווקים

5.1 המודל הכלכלי כמענה למשבר האקלים וצמיחה מקומית

מיחזור פסולת בניין והריסה (CDW) אינו מתמצה במענה לצורך סביבתי נקודתי, אלא מהווה מנוע לצמיחה מקומית ולחיזוק העצמאות הכלכלית. מעבר לכלכלה מעגלית מייצר הזדמנויות תעסוקה בענפי המיזם, העיבוד והייצור, ומפחית משמעותית את התלות בייבוא חומרי גלם. דוחות בינלאומיים מדגישים כי פיתוח שרשראות ערך מקומיות סביב מיחזור תורם לחיזוק הכלכלה העירונית ומהווה כלי מרכזי במאבק במשבר האקלים. שימוש בחומרים ממוחזרים עשוי להביא לצמצום טביעת הרגל הפחמנית של ענף הבנייה, להורדת את היקף הפליטות הגלומות (Embodied Carbon) הכרוכות בייצור ושינוע של חומרים חדשים, ולהפחתת הצורך בכרייה מזהמת.

5.2 שיקום מבוסס פסולת בנייה כמנוף קהילתי

שיקום המבוסס על ניהול פסולת בנייה ברצועת עזה עשוי לשמש מנוף לשיקום אנושי וקהילתי רחב. החלטות הנוגעות לשחזור מגורים, להשבת קהילות ולשימור אתרים היסטוריים הן אלו המחדשות את הזיקה בין אדם למקום. לפיכך, התמקדות במיחזור הריסות אינה רק צעד סביבתי אלא תשתית להחייאת מרחבי חיים, ליצירת מקורות תעסוקה ולחיזוק רווחת התושבים. שוק עבודה זה מונע על ידי שלושה גורמים: (א) קבלני הריסות פרטיים, המנצלים את עתודות הריסות כחומר גלם זמין ומשלמים שכר יומי נמוך לתיקוני בנייה קלים. (ב) תוכניות האו"ם, הפועלות ברוח "תהליך האנשים" (People's Process),²² ומספקות מסגרות תעסוקה מוסדרות. (ג) יוזמות עצמאיות, של תושבים הכורים ברזל מחורבות בתיים לצרכי פרנסה ומכירה לסוחרים.

22 UN-HABITAT, [The People's Process in Post-Disaster Reconstruction](#), United Nations Human Settlements Programme, 2007

5.3 פיתוח שווקים למוצרי בנייה ממוחזרים ותמריצים אזוריים

הבטחת הצלחתו של מודל ה-Build Back Circular לטווח הארוך, מחייבת מעבר מייצור חומרים ממוחזרים בלבד ליצירת ביקוש יציב ומוסדר. בראש ובראשונה נדרשת הבטחת איכות קפדנית של חומרי הגלם הממוחזרים, ובהם אגרגטים, בלוקים ותערובות בטון ירוק, כך שיעמדו בתקנים בינלאומיים מחמירים. עמידה בתקינה זו חיונית להסרת חסמי אמון בקרב מתכננים, אדריכלים וקבלנים, ולהבטחת התאמתם של החומרים לשימוש רחב בבנייה למגורים, בתעשייה ובתשתיות.

במקביל, כדי לבסס את הכדאיות הכלכלית של המיחזור, יש ליישם תמריצים רגולטוריים שיעצבו שוק מקומי איתן. על הרשויות והגופים הציבוריים להוביל מהלך חקיקתי שיחייב שילוב של אחוז מוגדר של חומרים ממוחזרים בפרויקטי תשתית לאומיים, כגון סלילת כבישים והקמת מבני ציבור. לצד זאת, יש לפתח מנגנוני תמרוץ למגזר הפרטי, לרבות הקלות מס וסובסידיות, במטרה לעודד את השימוש בחומרים מושבים.

יתרה מכך, קביעת דרישות רגולטוריות שיבטיחו כי זרמי החומרים הממוחזרים יישמרו בתוך הרצועה, תייצר ביקוש קבוע לתעשייה המקומית ותתמוך ביצירתם של כעשרים אלף מקומות עבודה חדשים. יישום עקבי של תקנים מחייבים לצד תמריצים כלכליים יבסס את המיחזור כנורמה תעשייתית, ויהפוך את נטל הפסולת למשאב כלכלי יציב ומתמשך.

6. דיפלומטיה סביבתית ושיתופי פעולה אזוריים

מקרי הבוחן הבאים מדגישים כי ניהול פסולת בנייה באזורי אסון אינו סוגיה תפעולית בלבד, אלא אתגר מערכתי המחייב תיאום בין-מוסדי ובין-מדינתי. התמודדות עם כמויות חריגות של פסולת, סיכונים סביבתיים ומגבלות תשתיות חורגת מיכולות מקומיות, ונשענת על שיתופי פעולה אזוריים, העברת ידע ותיאום רגולטורי. בהקשר זה, ניהול פסולת בנייה משמש זירה יישומית של דיפלומטיה סביבתית, שבה פעולה משותפת אינה רק תוצר נלווה של האתגר הסביבתי, אלא תנאי מרכזי ליכולת להתמודד עמו באופן אפקטיבי ובר-קיימא.

6.1 שיתוף פעולה סביבתי כבסיס לבניית שלום והגבולות של גישה זו

הספרות בנושא בניית שיתוף פעולה סביבתי חוצה גבולות מתמקדת במניעת סכסוכים או התגברות עליהם באמצעות עיסוק בסוגיות סביבתיות משותפות. גישה אקולוגית לניתוח סכסוכים מדגישה את הפוטנציאל של נושאים אלו לשמש פלטפורמה לבניית אמון וסולידריות הדרגתית, גם בהיעדר פתרון פוליטי כולל.

יתרון מרכזי טמון ביכולת לייצר קשרים אופרטיביים בין קהילות מקומיות. תהליכים אלו מאפשרים העצמה מעשית של אוכלוסיות מוחלשות דרך תעסוקה והשפעה על פתרונות מקומיים. בנוסף, הם מאפשרים יישום של ידע מקומי, הבנה מרחבית ותפעולית של השטח שאינה עוברת דרך מנגנונים בירוקרטיים רשמיים, מה שמשפר את איכות קבלת ההחלטות ומחזק את הלגיטימציה של תהליכי השיקום.

היסטוריית זרימת חומרי הבנייה ממצרים ומירדן לעזה יצרה תשתית של ידע מקצועי וניסיון תעשייתי. על בסיס זה, השקעות בטכנולוגיות הפרדה ומיחזור עשויות להפוך למנוף לשיקום כלכלי. עם זאת, ניתוח של "הסכמי אברהם" מלמד כי דיפלומטיה סביבתית היא כלי משלים ולא מנגנון עצמאי; ההסכמים תרמו לחוסן אקלימי, אך נותרו מוגבלים בעומקם המוסדי ורגישים לזעזועים פוליטיים.²³

קיים מודל של נאמנות (Neotrusteeship), שבו מדינות חזקות או ארגונים

23 מגן, ל'. (יולי 2025), שיקום בר-קיימא: שיעורים מהעולם למרחב עזה. היחידה המדינית-ביטחונית של קרן ברל כצנלסון ומכון מיתוים.

בינלאומיים (כמו האו"ם) לוקחים על עצמם את הסמכויות השלטוניות בטרטוריה זרה באופן זמני, במטרה לשקם אותה לאחר קריסה או סכסוך אלים. אולם, מקרה הבוחן של קוסובו, מעלה כי ממשל בינלאומי עשוי לייצב שירותים בטווח הקצר, אך עלול לייצר תלות מוסדית.²⁴

המסקנה היא כי מעורבות בינלאומית חייבת להיות מוגבלת בזמן ושקופה. במציאות של 2026, הכוללת העמקת שליטה טריטוריאלית ברצועה, ניהול הפסולת תלוי לחלוטין במנגנוני השליטה במעברים. בסופו של דבר, כדי להימנע משיכפול כשלי מודל הנאמנות, על המעורבות החיצונית בשיקום עזה לתפקד כ'פיגום' זמני בלבד, המכוון לבניית יכולות שיאפשרו לקהילה המקומית לנהל את משאביה וסביבתה באופן עצמאי, בשיתוף פעולה אזורי, ביום שאחרי סיום המנדט הבינלאומי.

6.2 המקרה הישראלי-אמירתי: מאפייני שיתוף הפעולה

הרלוונטיות של יחסי ישראל-איחוד האמירויות נעוצה בפוטנציאל הכלכלי-יישומי שלהם. ניסיונה של האמירויות בתשתיות ימיות ובניית איים מלאכותיים עשוי להוות נכס מקצועי לשילובם בטיפול בפסולת הבנייה בעזה.²⁵ שיתוף הפעולה מתחלק לארבעה סוגים: מסחרי, אקדמי, רב-צדדי, וכנסים מקצועיים. בולטת כאן נוכחות המגזר הפרטי - חברות קלינטק ומים ישראליות מול חברות בבעלות ממשלתית אמירתית. הצלחת מודל זה נמדדת ביצירת זרמי הכנסה מתמשכים וגיוון כלכלי. עם זאת, בחברה הפלסטינית נתפסו הסכמי אברהם כמודל המונע משיקולי הון ומסחר שאינו מציע תובנות לבניית אמון בין ישראל לפלסטינים. שיקום הרצועה מחייב שילוב בין גישת "מלמעלה-למטה" לבין צורכי התושבים "מלמטה-למעלה".

6.3 הפוטנציאל של מסגרות רב-צדדיות ואזוריות

מומחים מדגישים את החשיבות של שיתוף פעולה סביבתי מוסדי ככלי לבניית שלום אזורי. בעקבות "הסכמי אברהם", התפתחו פלטפורמות חדשות המבקשות לתרגם את היחסים הדיפלומטיים לשיתוף פעולה יישומי. בין הבולטות שבהן ניתן לציין את פורום הנגב - מסגרת אזורית הכוללת את ישראל, ארה"ב, איחוד

24 Ford, J., & Oppenheim, B. (2008). *Neotrusteeship in Post-Conflict States: Lessons from Kosovo and East Timor*. UNU-WIDER Working Paper.

25 Donderer, E. & Lehrer, D. (2025). *Shared Environments, Shared Futures: A perspective on nature-based and decentralized solutions for Gaza's Recovery*. The Arava Institute for Environmental Studies.

האמירויות, בחריין, מצרים ומרוקו, הפועלת באמצעות קבוצות עבודה מקצועיות בנושאי ביטחון מזון, מים ואנרגיה נקייה; וקבוצת I2U2 הכוללת את הודו, ישראל, איחוד האמירויות וארה"ב, שממקדת מאמצים בשיתופי פעולה טכנו-כלכליים בתחומי התשתית והקיימות.²⁶

למרות הפוטנציאל הטמון בהן, מסגרות אלו סובלות מחסרון מבני בולט: הדרתם של בעלי עניין קריטיים, ובראשם ירדן והרשות הפלסטינית. לקחי העבר, ובפרט המודל התקדימי של "חשמל תמורת מים" בין ישראל לירדן בתיווך האמירויות, מלמדים כי הצלחת יוזמות סביבתיות תלויה ביצירת אינטרס משותף מובהק ובתיווך של צד שלישי חזק המשמש כערב לתהליך.

כדי לצמצם את הפער בין המדיניות המוכתבת "מלמעלה" לבין המציאות בשטח, מוצעת הקמת רשת ארגונים היברידית. רשת זו תשלב יוזמות קהילתיות המבוססות על ידע מקומי עם גופים מוסדיים ורגולטוריים. שילוב כזה יאפשר תרגום של צרכים תפעוליים כגון ניהול מערך פסולת הבנייה וההריסה למסגרות מדיניות רשמיות, ובכך יחזק את הלגיטימציה של תהליכי השיקום ויגן עליהם מפני זעזועים פוליטיים עתידיים.

6.4 לקחים מן הניסיון הבינלאומי והאזורי

ניהול פסולת הריסות נחשב לאחד האתגרים הלוגיסטיים והסביבתיים המורכבים ביותר בעתות חירום, שכן הוא משלב דחיפות תפעולית עם סיכונים בריאותיים משמעותיים. הניסיון שנצבר באיטליה לאחר רעידות האדמה בלאקוויליה (2009) ובאמיליה (2012) ממחיש כי כמויות הפסולת והרכבן אינם קבועים, אלא משתנים דרמטית בהתאם לאופי האזור שנפגע.²⁷ כך למשל, מרכזים היסטוריים צפופים מייצרים כמויות אדירות של פסולת בניין מסורתית כמו לבנים ואבן, בעוד שאזורי תעשייה מודרניים מאופיינים בפסולת של פלדה ובטון מזוין. אתגר בריאותי מרכזי שעולה במצבים אלו הוא נוכחותו של האסבסט במבנים ישנים; חומר זה דורש פרוטוקולים מחמירים של מיגון ופינוי, שכן חשיפה לאבק אסבסט במהלך ההריסה עלולה לייצר משבר בריאותי ארוך טווח בקרב התושבים והעובדים. בהמשך לכך, המקרה של טורקיה בשנת 2023 ממחיש את סדרי הגודל הבלתי נתפסים של

26 Guzansky, Y. (2025). *The Abraham Accords at Five: Resilience in the Face of Regional Turmoil*. INSS Special Publication.

27 Gabrielli, F., Amato, A., Balducci, S., Galluzzi, L. M., & Beolchini, F. (2018). *Disaster waste management in Italy: Analysis of recent case studies*. *Waste Management*, 71, 542-555.

האתגר, כאשר היקף הפסולת נאמד במאות מיליוני טונות. מציאות זו חייבה אימוץ אסטרטגיות מיחזור רחבות שאינן מסתפקות רק בבטון, אלא כוללות הפרדה שיטתית של עץ, פלדה ופלסטיק.²⁸

בתהליך קבלת ההחלטות על אופן הטיפול, מקבלי ההחלטות נדרשים לבחור בין שתי גישות מרכזיות: טיפול באתר המלחמה או האסון, המבוסס על מגרסות ניידות וחוסך אלפי נסיעות של משאיות בכבישים פגועים, לבין שינוע הפסולת לאתרי טיפול מרוכזים המאפשרים שימוש בטכנולוגיות מיון מתקדמות יותר. בחירה זו מושפעת גם מהעובדה שבניגוד להריסה יזומה ומתוכננת, פסולת אסון כוללת בתוכה את תכולת הבית לרבות תנורים, מזגנים, שטיחים וארונות ומזהמים מסוכנים כמו מכלי גז וכימיקלים, המחייבים תהליכי ניקוי רב-שלביים והכשרה מקצועית ייעודית.²⁹ בסופו של דבר, מהירות הפינוי והניקוי היא קריטית לשיקום החוסן הקהילתי. פינוי איטי אינו רק חסם פיזי המונע גישה לתשתיות חיוניות ותיקון של קווי מים וחשמל, אלא הוא מהווה תזכורת מתמדת להרס ופוגע ביכולתה של האוכלוסייה להתחיל בתהליך השיקום המנטלי והכלכלי. לכן, אסטרטגיה מוצלחת חייבת לאזן בין איכות המיחזור לבין הצורך בפינוי מהיר ויעיל המאפשר תנועה חופשית והתחלת בנייה מחדש.

6.5 מסגרת TRUST: האי המלאכותי כפתרון אסטרטגי

יזמת TRUST, שפותחה על ידי מכון ערבה ועמותת "דאמור", מציעה הקמת אי מלאכותי מול חופי עזה תוך שימוש בכ-50 מיליון טונות של פסולת בנייה ממוחזרת. ³⁰ האי יכלול נמל מים עמוקים, מתקני אנרגיה מתחדשת ואזור סחר חופשי. הפרויקט מתוכנן בגישה מדורגת, החל ממחקרי היתכנות ועד הקמת תשתיות ימיות. המודל מגלם את חזון ה"לבנות קדימה טוב יותר" (Build Forward Better), אך מותנה בבחינה אקולוגית אזורית של המערכת הימית במזרח הים התיכון. קידום הפרויקט עשוי להניח תשתית למוסד אזורי קבוע לשיתופי פעולה סביבתיים.³¹

28 World Bank. (2023, February 27). *Global Rapid Post-Disaster Damage Estimation (GRADE) Report: February 6, 2023, Kahramanmaraş Earthquakes*. World Bank Group.

29 United Nations Environment Programme (UNEP). (2011). *Disaster Waste Management Guidelines*. Joint UNEP/OCHA Environment Unit.

30 מקור: מסמכי מכון ערבה ומכון דאמור שהתפרסמו לציבור. לינק.

31 Donderer, E. & Lehrer, D. (2025). *Shared Environments, Shared Futures: A perspective on nature-based and decentralized solutions for Gaza's Recovery*. The Arava Institute for Environmental Studies.

לסיכום, הצלחת המהלך השיקומי מותנית ביצירת מעטפת דיפלומטית שתבטיח שקיפות פיננסית ארוכת טווח וניהול סיכונים סביבתיים, ובכך תהפוך את שיקום התשתיות לגשר יציב לשלום וליציבות אזורית.

7. סיכום ומסקנות - הדרך לשיקום פיזי ודיפלומטי בר-קיימא

האתגר של שיקום רצועת עזה הוא אדיר בהיקפו ובמורכבותו, אך הוא מגלם בתוכו הזדמנות מכוננת לעיצוב מציאות, יציבה ומקיימת יותר לאזור כולו. המחקר הנוכחי ביקש לבחון את ההיבטים ההנדסיים, התכנוניים והדיפלומטיים של ניהול פסולת בנייה בהקשרי אסון וסכסוך, תוך הפקת לקחים ממודלים בינלאומיים והתאמתם להקשר הייחודי של עזה.

הספרות והניסיון הבינלאומי מלמדים כי ניהול פסולת בנייה לאחר אסונות אינו תהליך טכני בלבד, אלא כלי אסטרטגי שבו משתלבים באופן בלתי ניתן להפרדה ממדים גיאומרחביים, תכנוניים, מוסדיים ודיפלומטיים. הניתוח האיטלקי מדגים כיצד העדר פרוטוקול לאומי מוביל להתמודדות המבוססת על החלטות נקודתיות המשתנות בין אזורים, ונושאות השלכות לא עקביות לאורך זמן. בתורכיה, ההתמודדות לאחר רעידת האדמה המחישה את האתגר הכמותי יוצא הדופן: פסולת בהיקפים של מאות מיליוני טונות, המחייבת שרשרת ניהול מבוססת תכנון, לוגיסטיקה ובקרת איכות. במדינות ערב במזרח התיכון בולטים קשיי יסוד אחרים - בעיקר זיהום אוויר, קרקע ומים, מחסור בתשתיות מימון ייעודי, היעדר תיאום מוסדי, ופערים בין סמכויות הממשלה והיכולת של המגזר הפרטי והבינלאומי להשתלב בתהליכי השיקום.

הניסיון של ועדת הפיצויים של האומות המאוחדות בשיקום סביבתי בעקבות מלחמת המפרץ מהווה אחת הדוגמאות הבולטות בעולם למנגנון מימון ייעודי ורב-שנתי. במסגרתה הוקם תוכנית השיקום הסביבתי של כוית הכוללת יוזמה שנשענת על פיצויים בינלאומיים בהיקף של כשלושה מיליארד דולר, שהועברו לכווית לשם תיקון נזקי סביבה חסרי תקדים: זיהום קרקע ומי תהום בעקבות שריפת מאות בארות נפט ויצירת "אגמי נפט" שהשחירו את המדבר בשנת 1991. התוכנית התמקדה בטיפול בכעשרים ושישה מיליון מטרים מעוקבים של קרקע מזוהמת ובשיקום שטחים הנמדדים במאות קילומטרים רבועים, תוך שימוש בטכנולוגיות מתקדמות ביניהם: שטיפת קרקע ופינוי תחמושת שלא התפוצצה. אך מעבר לממד הטכנולוגי, ייחודו של המודל הוא בארכיטקטורת הממשל שנבנתה סביבו: גוף לאומי ייעודי, הנושא באחריות לניהול, בקרה ודיווח שוטף לגורמים בינלאומיים, כשתקציבי השיקום הסביבתי מנוהלים בנפרד ממנגנוני

הסיוע ההומניטרי הכלליים. הפרדה זו אפשרה יציבות תכנונית לאורך שנים, פיקוח בינלאומי הדוק ויכולת לקדם פרויקטים מורכבים בטווח הארוך. כיום נחשב המודל הכוונתי לאחד ממיזמי השיקום הסביבתי הגדולים שידע העולם, ולנקודת ייחוס עבור מדינות המתמודדות עם מורשת הרס סביבתי של לחימה רחבת היקף. על אף הרלבנטיות של שיעורים אלו מהעולם, חשוב להדגיש כי איטליה, תורכיה וכוונת הן מדינות מתפקדות בעלות ריבונות מלאה על גבולותיהן, על זרימת הסחורות ועל תנועת האנשים. הן אינן כפופות למגבלות חיצוניות בנוגע לאישור כניסה ויציאה של ציוד, טכנולוגיות או צוותי שיקום.

בהקשר של רצועת עזה, המצב שונה מהותית. כל תהליך שיקום תלוי במנגנונים בין-מדינתיים, ברמות שונות של פיקוח ביטחוני, ובהסכמות שאינן מצויות בשליטה מקומית. מכאן עולה שהשוואה בינלאומית מספקת תובנות חשובות, אך יש להתאים אותן למציאות פוליטית, מוסדית וביטחונית מורכבת בהרבה.

המחקר חושף את הפוטנציאל הגלום במיחזור פסולת בנייה כמשאב כלכלי וחומרי. אגרגטים ממוחזרים יכולים לשמש בפרויקטי בנייה ותשתית חדשים, ומחקרים מראים כי ייצור בטון אגרגטים ממוחזר הינו כלכלי יותר מייצור בטון אגרגט טבעי. חזון האי המלאכותי, אשר עלה בדיונים בין מומחים ישראלים ופלסטינים, מדגים כיצד ניתן להפוך אסון לתקווה באמצעות שימוש יצירתי בפסולת לבניית תשתיות חדשות, לרבות מתקני אנרגיה סולארית, אזורי סחר ולוגיסטיקה ואזורי תיירות. ואולם, יש לנקוט זהירות בהצגת הרעיון כתוכנית בשלה. נכון למועד כתיבת שורות אלה, מדובר בהצעה תיאורטית שטרם עברה הערכת היתכנות הנדסית, כלכלית, סביבתית ומשפטית מקיפה, ויישומה מותנה בפתרון שאלות סבוכות של ריבונות, מימון ואחריות ניהולית.

הבחינה ההשוואתית של גישות הטיפול בפסולת מלחמה מעלה כי השילוב בין טיפול באתר לבין טיפול במתקן מרוכז מהווה את הפתרון המאוזן ביותר ברוב המקרים. טיפול באתר כלומר עיבוד הפסולת במקום היווצרותה, מאפשר מיון יעיל של חומרים בסמוך למקור ומצמצם עלויות ומורכבות לוגיסטית. לעומת זאת, טיפול במתקן מרוכז מאפשר שימוש בטכנולוגיות מתקדמות יותר ומניב חומרים באיכות גבוהה. הבחירה בין שתי הגישות או בשילוב שלהן צריכה להתבסס על ניתוח מעמיק של מאפייני הפסולת, התנאים המקומיים, היכולות הלוגיסטיות הזמינות ולוחות הזמנים של השיקום. חשוב לציין כי קיים גורם מורכב נוסף, והוא נוכחות של תחמושת שלא התפוצצה ושאריות אסבסט בשטח שמחייבות עבודה אל מול נהלי בטיחות מחמירים, אתגרים טכנולוגיים ומגבילה את היכולת לפעול בשיטות מהירות.

ניתוח המודל של שיתוף פעולה סביבתי בין ישראל לאיחוד האמירויות מציע תובנות מהותיות לגבי התנאים המאפשרים שיתוף פעולה מוצלח. שיתוף פעולה הנשען על אינטרסים משותפים, יכולות משלימות ויחסי כוח סימטריים יחסית נהנה מסיכויי הצלחה גבוהים יותר. עם זאת, לקחי העבר מלמדים גם כי שיתופי פעולה סביבתיים הקשורים לסכסוכים אזוריים עלולים להיפגע מהתפתחויות פוליטיות, ולכן נדרשת תמיכה בינלאומית מתמשכת ומנגנונים שיבטיחו את המשכיות השיתוף גם בתקופות של מתח. יחד עם זאת, ברור כי ללא מימוש של תנאי פתיחה מאפשרים לתהליך שיקום (בפרט בכל הקשור לבניית כוח שלטוני וצבאי חליפי לחמאס ברצועת עזה), יהיה קושי יסודי במימוש כל תכנית שיקום ואף קידום יסודות לה בדמות תחילת טיפול אפקטיבי במשבר פסולת הבנייה ברצועה.

הצלחת השיקום תימדד לא רק בקצב הבנייה, אלא ביכולת להניח יסודות לעתיד אחר. הממד הראשון הוא עצמאות כלכלית, אשר תושג באמצעות מיחזור ופיתוח תעשייה מקומית. כפי שעולה מהניסיון הבינלאומי, פסולת בנייה יכולה להפוך ממטרד למשאב המייצר זרמי הכנסה, יוצר מקומות תעסוקה ותורם לגיוון הכלכלי. הממד השני הוא ממשל שקוף, הכולל יצירת מנגנון ממשל שקוף ומכיל המאפשר קבלת החלטות מבוססת נתונים ושיתוף בעלי עניין מגוונים. הממד השלישי הוא אינטגרציה אזורית, אשר תתאפשר באמצעות שותפויות סביבתיות ובניית אמון. הפרויקט צריך להיתפס כפרויקט אזורי ולא רק כפרויקט ישראלי-פלסטיני, שכן זיהום הסביבה ישפיע על כל האזור, כולל מצרים והים התיכון כולו.

אימוץ הגישה מלמטה-למעלה מהווה עקרון מפתח בתכנון השיקום. כפי שהודגש, ניסיונות בניית שלום מ"למעלה-למטה" אינם מתקדמים רחוק אם האנשים אינם מאמינים בהם. שיתוף פעולה סביבתי סביב פסולת בנייה מציע נקודת מוצא פחות שנויה במחלוקת מסוגיות פוליטיות או ביטחוניות, ובו בזמן יוצר תשתית ליחסים מתמשכים. הסרת הפסולת במהירות וביעילות תשדר סימן של תקווה לתושבים, בעוד עיכובים והערכות של שלושים שנה לפינוי הפסולת משדרים חוסר תקווה.

לצד הפוטנציאל הגלום במודלים ובכלי הפעולה המוצגים במחקר, חשוב להכיר במציאות הפוליטית והמוסדית המורכבת שבתוכה עתידים תהליכי השיקום להתקיים. המשך שליטת חמאס ברצועה, תפקודה המוגבל של הרשות הפלסטינית בהקשר העזתי, והמתחים העמוקים והמתמשכים מול ישראל, יוצרים סביבה רוויית אי-ודאות המגבילה את היכולת ליישם פתרונות באופן מלא, רציף ומהיר. מציאות זו מחייבת זהירות תכנונית, גמישות מוסדית והבנה כי תהליכי שיקום סביבתיים ותשתיתיים אינם מתקיימים בוואקום, אלא שזורים במערכות של כוח, שלטון וביטחון. התייחסות מפורשת למורכבות זו אינה מפחיתה מתוקף המודל המוצע,

אלא מדגישה את הצורך במסגרות פעולה מדורגות, מפוקחות ומרובות שחקנים, היכולות לפעול גם בתנאים של מגבלות פוליטיות ומוסדיות מתמשכות.

בהקשר רחב יותר חשוב להדגיש כי בעת קבלת החלטות באירועי הרס רחבי היקף, ובפרט בהקשר של שיקום רצועת עזה, יש להביא בחשבון כי מדובר בתהליכים הנפרסים על פני פרקי זמן ארוכים ודורשים הקצאת משאבים מתמשכת. אף שהנטייה הראשונית היא לקדם פתרונות מהירים ובעלי עלות נמוכה, גישה זו עלולה להחמיץ הזדמנות אסטרטגית לעיצוב מרחב עמיד יותר לאיומים עתידיים. השקעה מושכלת בבנייה מחדש, בתשתיות ובניהול משאבים מאפשרת לא רק מענה לצרכים מיידיים, אלא גם חיזוק החוסן האקלימי של הרצועה לנוכח סיכונים צפויים, ובהם גלי חום קיצוניים, עליית מפלס הים וסערות חזקות המאיימות על יישובים לאורך החוף. במובן זה, ככל שתהליכי השיקום יתוכננו ויושמו מתוך ראייה ארוכת טווח, כך יגבר הסיכוי לבניית עזה יציבה ועצמאית יותר, המסוגלת להתמודד עם אתגרי אקלים עתידיים ולא להישען מחדש על פתרונות חירום זמניים.

מן הניתוח עולה כי ההתמודדות עם פסולת הבנייה והריסה אינה סוגיית משנה של השיקום, אלא אתגר מערכתי העומד בליבת תהליך ההתאוששות של רצועת עזה. היקפי הפסולת, מורכבותה והשלכותיה הסביבתיות, הכלכליות והחברתיות מחייבים מאמץ ייעודי, מתואם ומוכוון מטרה, שאינו יכול להישען על מנגנוני שיקום כלליים בלבד. על כן, **המלצה מרכזית היא הקמת קרן ייעודית לניהול פסולת הבנייה והשיקום הסביבתי, שתאפשר ריכוז משאבים, תכנון רב-שנתי, פיקוח מקצועי ויישום פתרונות בקנה מידה רחב. קרן מסוג זה יכולה לשמש עוגן מוסדי להתמודדות שיטתית עם הפסולת, ולתרום לחיבור בין שיקום פיזי, חוסן סביבתי ופיתוח כלכלי ארוך טווח.**

מסגרת המימון הבינלאומית לשיקום עזה מתבססת על שני מנגנונים מרכזיים המנוהלים על ידי הבנק העולמי. הראשון הוא הקרן הפלסטינית לשיקום ופיתוח (PFRD), שהוקמה לבקשת הרשות הפלסטינית כפלטפורמה לתיאום כספי תורמים ומאמצי שיקום. השני הוא קרן השיקום והפיתוח של עזה (GRAD Fund), שהוקמה בעקבות החלטת מועצת הביטחון של האו"ם מנובמבר 2025, ובה משמש הבנק העולמי כ"נאמן מוגבל". כלומר מנהל את תזרים כספי התורמים ומעבירם לפרויקטים לפי הנחיות גוף הממשל. היקף הנזק מוערך על ידי הבנק העולמי, האו"ם והאיחוד האירופי בכ-70 מיליארד דולר, כאשר נזקים פיזיים למבנים בלבד מוערכים בכ-30 מיליארד דולר, כאשר המגזר הביתי נפגע קשות ביותר ומהווה כ-53 אחוזים מסך הנזקים. יצוין כי נכון לסוף 2025, יישום מלא של תוכניות השיקום מותנה בהסדרת שאלות ממשל, ביטחון וגישה לשטח.

במסגרת מגוון מאמצי השיקום, יש לתעדף טיפול מערכתי בפסולת הבנייה במקום להזניחה. שיקום הרצועה, המושתת על שיתוף פעולה אזורי ובינלאומי, יכול לשמש כמקרה בוחן לניצול משאבים מפסולת והתמרת הריסות לצמיחה סביבתית באזורי סכסוך בעולם.

לבסוף, **יש לבחון הקמת פלטפורמה ישראלית-פלסטינית משותפת לניהול ומחזור פסולת בנייה והריסה כחלק מתהליכי שיקום לאחר מלחמה.** שילוב ידיים שיכלול שיתוף פעולה בין אקדמיה, תעשייה, רגולציה וארגוני חברה אזרחית בישראל וברשות הפלסטינית, שתתמקד בניהול, טיפול ומחזור פסולת בנייה והריסה כתשתית מרכזית לשיקום פיזי וחברתי לאחר מלחמה. ההרס רחב ההיקף מייצר כמויות עצומות של פסולת בנייה, המשפיעות ישירות על המרחב הפלסטיני-ישראלי בהיבטים של בריאות הציבור, איכות הסביבה, עלויות השיקום, זמינות חומרי גלם ועל קצב ההתאוששות הכלכלית. הפלטפורמה המשותפת תוכל לפעול ראשית, לפיתוח מתודולוגיות משותפות למיפוי וכימות פסולת בנייה, תוך שימוש בכלים מתקדמים כגון חישה מרחוק (GIS) וניתוח זרמי חומרים. ובהמשך, לקדם מודלים של כלכלה מעגלית המאפשרים הפיכת פסולת לחומרי גלם משניים מאושרים, תוך גיבוש תקנים מקצועיים ותיאום רגולטורי. הפלטפורמה תייצר ותקדם שיתופי פעולה עם חברות מיחזור, יצרני בטון ואגרגטים, מהנדסים ויזמי טכנולוגיה, לצורך פיתוח פתרונות יישומיים בקנה מידה רחב. המלצה נוספת היא לבחון לשלב כלים דינמיים בדומה למה שפותח בעבודה זו, קרי ה-GIS הסיפורי משמש ככלי מחקרי ודיפלומטי-תקשורתי המנגיש את הממצאים למגוון קהלים - ממקבלי החלטות וגופי סיוע, דרך אנשי מקצוע בתחומי התכנון והפסולת, ועד לציבור הרחב בארץ ובעולם. ולבסוף, תרכז את בחינת ההיבטים החברתיים והבריאותיים של ניהול הפסולת, לרבות תנאי עבודה, חשיפה לחומרים מסוכנים והשפעה על קהילות מוחלשות, וזאת תוך הבנה כי תחום פסולת הבנייה מהווה זירה מקצועית שבה ניתן לייצר שיתוף פעולה פרקטי, מבוסס פתרונות ותוצאות מדידות, התורם הן לשיקום פיזי בר-קיימא והן לבניית אמון ותשתית לשיתופי פעולה אזוריים ארוכי טווח.

הנספחים המצורפים לדוח זה נועדו להציג בשקיפות מלאה את התשתית המחקרית, התפעולית והכמותית שעליה נשענות מסקנותיו. הם מאורגנים בשני מוקדים משלימים: נספח 1 - הממד האנושי והמתודולוגי של המחקר, לרבות הצוות, כלי העבודה והמפגשים שנערכו; ונספח 2 - הממד הכמותי-אנליטי, הכולל את התחשיבים, מערך הנתונים ומפתח המעבר בין תרחישי השיקום.

נספח 1 - הממד האנושי והמתודולוגי של המחקר

צוות המחקר ושותפים

עדי מגר משמשת כראש המחקר ויוזמת הפרויקט. היא עמיתת מדיניות במכון מיתווים - המכון הישראלי למדיניות חוץ אזורית, ומומחית בינלאומית לניהול פסולת בנייה והריסה, עם למעלה מעשרים שנות ניסיון מקצועי בתחומי קיימות, כלכלה מעגלית וניהול משאבים. עדי היא דוקטורנטית בבית הספר החדש לסביבה באוניברסיטת תל אביב, בהנחייתה של פרופ' ורד בלאס. שם מחקרה מתמקד בפסולת בנייה ובפיתוח כלים מבוססי נתונים לתכנון וניהול מושכל של זרמי חומר. במהלך הקריירה שלה שילבה עדי מחקר אקדמי, ייעוץ מקצועי והובלת תהליכי מדיניות ויישום בשטח. עבודתה מתמקדת בחיבור בין מדע, רגולציה, תכנון וביצוע אופרטיבי, ובהנגשת ידע מחקרי עדכני למקבלי החלטות, רשויות ויזמים. הרצאותיה ופרסומיה עוסקים בפסולת בנייה, פירוק והריסה סלקטיבית, התחדשות עירונית, היבטים כלכליים ורגולטוריים, וביישום עקרונות כלכלה מעגלית בפרויקטים ותכניות מדיניות. בנוסף, חיברה ספר מקצועי בתחום חדשנות חומרי גלם לתשתיות ולבנייה, ומובילה שיתופי פעולה בין חוקרים, רשויות וגורמי תעשייה בישראל ובעולם.

צוות המחקר התחלק לשלוש קבוצות:

1. קבוצת מיפוי וטכנולוגיה. קבוצה זו ריכזה את עבודת המיפוי והטכנולוגיות לטיפול בפסולת הבנייה: עדי מגר ניהלה את הקבוצה בה לקחו חלק דנה גבאי, יועצת חיצונית ומומחית לכלכלת סביבה; סא"ל (מיל.) תומר ברק, מומחה לגיאופוליטיקה אזורית; ד"ר תומר פישמן, יועץ חיצוני, מתמחה בכלכלה מעגלית; עדי בן נון מהאוניברסיטה העברית מומחה ל-GIS, והדסה לב מנכ"לית

של WALK, אדריכלית המתמחה בבניית יישומים דינאמיים ואינטראקטיביים כמו מפות סיפור ב-GIS.

2. קבוצת תכנון ושיקום. קבוצה זו התמקדה בתכנון מרחבי ובשיקום קהילתי, ונוהלה על ידי האדריכלית שרון חפץ המתמחה ביעוץ, מחקר ותכנון מרחב בדגש על קהילה; ד"ר אליז מכלין, ראש המחלקה במרכז למדיניות ומחקר שינוי אקלים, מכון ערבה; מאיה יעקבס, מייסדת ומנכ"לית ClimateNet (בתחום חדשנות אקלימית); ד"ר טל מילנר הוברמן, אדריכלית שימור; ד"ר גליה לימור-שגיב, חוקרת סביבה, היסטוריונית של נוף ומתמחה בשיקום אתרים פגועים ומזהמים, מרצה בכירה במחלקה לאדריכלות, המכללה להנדסה ע"ש סמי שמעון; וד"ר מיכל לינדר-זרנקין, מאוניברסיטת תל אביב.

3. קבוצת מדיניות ודיפלומטיה סביבתית. קבוצה זו הובילה את תחום המדיניות והדיפלומטיה הסביבתית, נוהלה על ידי יסמין קלשטיין, עוזרת מחקר זה ומתמחה במדיניות ודיפלומטיה, ליאל מגן, עמית מדיניות בכיר במיתווים; בר רפפורט מנהלת תחום קיימות מדינית-אקלימית במיתווים; פרופ' אמיר לופוביץ, ראש מכון ברודי לדיפלומטיה, אוניברסיטת תל אביב; פלג גוטדינר, מאקופיס מזרח תיכון - EcoPeace Middle East; וכן ד"ר דוד לרר וד"ר שמוליק ברנר מהמרכז לדיפלומטיה סביבתית, מכון ערבה.

4. שותפים אקדמיים ומוסדיים. המחקר נתמך על ידי מספר מוסדות אקדמיים ומוסדיים מרכזיים: מיתווים - המכון הישראלי למדיניות-חוץ אזורית ששימש כמוסד המוביל והתומך העיקרי, וכן מכון פרנסס ברודי לדיפלומטיה יישומית (FBIAD) באוניברסיטת תל אביב שתמך מקצועית ומימונית. במסגרת המחקר נוצרו חיבורים עם תעשיית מיחזור פסולת הבנייה, גורמי צבא וביטחון, וכן חברות סטארטאפ שעוסקות בחדשנות הרלבנטית לטיפול מיטבי בפסולת בנייה. ביניהם ניתן להזכיר את החברות: ARBEL.AI, ECOBRICK, EVA, WAYSTA, Desertech, CRIATERA, TAFTIRIUM, CivicLabs, Hamitbah.

5. שותפים אזוריים ובינלאומיים. (1) ארגון DAMOUR - ארגון פלסטיני ללא מטרות רווח, הפועל בתחום הפיתוח הקהילתי, הקמת מחנות עקורים ומתן פתרונות מים, תברואה ודיור זמני לאוכלוסיות שנעקרו מבתיהן. במסגרת המחקר, הארגון תרם ידע מקומי וניסיון יישומי בעבודה עם קהילות עקורות ובהקשרים הומניטריים. (2) מכון ערבה ללימודי סביבה - מרכז אקדמי-יישומי המתמחה במחקר סביבתי חוצה-גבולות. תרומתו למחקר מתמקדת בפיתוח מסגרות לדיפלומטיה סביבתית, שילוב היבטים אקלימיים ותשתיתיים, וקידום שיח אזורי סביב ניהול משאבים משותפים. (3) EcoPeace Middle East - ארגון אזרחי

חוצה-גבולות הפועל לקידום שיתוף פעולה סביבתי כאמצעי לבניית אמון אזורי. במסגרת המחקר הצוות תרם בחשיבה על פיתוח מנגנוני שיתוף פעולה סביב נושאים סביבתיים רגישים, ובהטמעת גישות של דיפלומטיה סביבתית בהקשרים פוליטיים מורכבים.

מפגשי שולחנות עגולים לחוקרים ומומחים

חלק א' - שולחן עגול 1 - המפגש התקיים ב- 17.7.2025, באוניברסיטת תל אביב ובאופן מקוון. תובנות מרכזיות: דנו ברצועת עזה דרך פריזמת פסולת בנייה עבר-הווה-עתיד: היקף ההרס והפסולת מחייב מעבר מגישת פינוי בלבד לגישת ניהול משאבים מערכתית, הכוללת מיפוי, מדידה ותיעדוף. כרייה עירונית וניתוח מלאי חומרים מהווים בסיס אסטרטגי להערכת זרמי פסולת ולשילוב עקרונות כלכלה מעגלית בשיקום. שיקום סביבתי אינו נפרד מההקשר המדיני והביטחוני; נדרשת מסגרת פעולה המשלבת אינטרסים אזרחיים, בריאותיים וביטחוניים. כמו כן, קיימת חשיבות לשותפות פלסטינית ואזורית, לשקיפות נתונים ולבניית אמון כתנאי למימון בינלאומי ולהיתכנות יישומית. הוצע שיש לשלב מענה הומניטרי מיידי עם תכנון ארוך טווח, לרבות בחינת חומרים חלופיים ומודלים של בנייה מופחתת פליטות. בשולחן העגול הציגו: ד"ר דותן הלוי, היסטוריון של המזרח התיכון המודרני ומרצה בכיר במחלקה להיסטוריה של המזרח התיכון ואפריקה באוניברסיטת תל אביב. מר עדי בן נון, ראש מרכז ה-GIS באוניברסיטה העברית בירושלים וד"ר תומר פישמן, יועץ בינלאומי המתמחה בכלכלה מעגלית של תשתיות.

חלק ב' - שולחן עגול 2 - המפגש התקיים ב- 29.10.2025 באופן מקוון. תובנות מרכזיות: הוצגה פלטפורמת GIS אינטראקטיבית סיפורית שמאפשרת אינטגרציה של שכבות מידע מרחביות, כלי מדידה והצגת אחוזי הרס כתשתית למסמך מדיניות יישומי. דובר על ניהול נתוני חומרים מסוכנים ותשתיות תת-קרקעיות כתנאי בטיחותי, הנדסי וכלכלי לתכנון שיקום. הוצגו מודלים של BBC ו-BFB משלימים זה את זה; נדרש שילוב בין עמידות תשתיתית לבין טרנספורמציה חברתית-כלכלית. הוסכם כי גבולות מדיניים אינם גבולות סביבתיים, ולכן נדרש שיתוף פעולה אזורי והסרת חסמים רגולטוריים לשימוש בחומרים ממוחזרים.

סיכום ובינר טכנולוגיות ל"יום שאחרי" ברצועת עזה - Innovation and Construction Waste Management in Gaza | 26.10.2025

האירוע התקיים כוובינר מקוון ועסק באתגרים ובהזדמנויות הכרוכים בשיקום רצועת עזה, בדגש על ניהול ומיחזור פסולת בנייה והריסה. מטרתו המרכזית הייתה לחבר בין עולמות החדשנות, המחקר, המדיניות והתעשייה, ולהציג פתרונות יישומיים הניתנים להטמעה בזירות פוסט-קונפליקט.

בין המשתתפים נמנו נציגי CivicLabs, DCIC DeserTech Climate and Innovation Center, קבוצת ברן, מטב"ח - המרכז לחוסן וביטחון בנגב המערבי, וכן חוקרים ומומחים מאוניברסיטת תל אביב וממכון מיתווים. בנוסף, הוצגו פתרונות של שישה סטארטאפים ישראליים הפועלים בתחומי מיפוי, מיחזור חומרים, בטון ירוק, אכיפה סביבתית וחומרי בנייה חדשניים.

הוצג ניתוח המצב בעזה כאחד מאירועי ההרס הצפופים והנרחבים ביותר במאה ה-21, עם ריכוז גבוה של הריסות בשטח מצומצם. מאפיין זה מייצר אתגר לוגיסטי ובטיחותי משמעותי, אך גם הזדמנות ייחודית לעיבוד מקומי של פסולת בנייה, לצמצום עלויות הובלה ולהפקת חומרי גלם משניים. הוצגו סיכונים מרכזיים, ובהם היעדר תשתיות, מגבלות תנועה לציוד כבד, נוכחות חומרים מסוכנים, תחמושת שלא התפוצצה ומערכות תת-קרקעיות נרחבות.

הודגש תפקידה של תשתית מחקרית מבוססת GIS, רחפנים ובינה מלאכותית לצורך מיפוי היקף ההרס, סיווג חומרים ותמיכה בקבלת החלטות. גישה זו מאפשרת תכנון מדורג של אתרי טיפול, בקרה על תהליכי פינוי ומיחזור, ושקיפות מול גורמי מימון ורגולציה.

חברות הסטארט-אפ הציגו מגוון פתרונות, כולל ניהול דיגיטלי של אתרי הריסה עתירי סיכון, מיחזור מלא של פסולת בנייה לאגרנטים וחומרי בנייה, הפחתת פליטות פחמן בייצור תחליפי צמנט, מנגנוני אכיפה למניעת השלכה בלתי חוקית, ופיתוח חומרי בנייה דלי אנרגיה וברי-מחזור.

הדיון העלה סוגיות רגולטוריות וביטחוניות מהותיות, בהן טיפול בתחמושת שלא התפוצצה, יציבות קרקע, מגבלות על מעבר פסולת מחוץ לרצועה, פסולת בתת הקרקע והשלכות סביבתיות של פתרונות תשתיתיים בקנה מידה אזורי. הוסכם כי הצלחת תהליכי השיקום תלויה בשילוב בין חדשנות טכנולוגית, רגולציה מותאמת, שיתופי פעולה בינלאומיים ומודלים כלכליים בני-קיימא.

מפגש במרכז התיאום האזרחי-צבאי (CMCC) בקרית גת - 19.11.2025.

המפגש עסק בהיקף ההריסות בעזה. הניתוח המרחבי שהוצג מציע תיעדוף פינוי בהתאם לאזורי הנזק החמור ולאזורי התעשייה והמסחר. האסטרטגיה המבצעית ממליצה על הקמת מרכזי מיון ומיחזור אזוריים מבוזרים, ועל תחילת אימות שטח באזור רפיח. כמו כן הוצג בקצרה מודל ה-TRUST, הרואה פוטנציאל בשימוש בכ-50 מיליון טונות של פסולת בנייה ממוחזרת להקמת אי מלאכותי מול חופי עזה, שישימש כנמל מים עמוקים ואזור סחר חופשי. מודל זה הוצג לגורמים בבנק העולמי ובממשל האמריקאי, אולם לא נבחן לעומק במסגרת מחקר זה, בשל הצורך בבחינות סביבתיות ואקולוגיות מקיפות טרם כל הערכה מעשית.

נספח 2 - הממד הכמותי-אנליטי

שיטת חישוב פסולת הבניין בעזה

החישוב מבוסס על שילוב בין אומדן השטח הבנוי שזוהה כהרוס (בוצע זיהוי של מידת שינוי המבנה לעומת מצבו בשנת 2023 (גובה ממוצע חושב ע"י ממוצע הגבהים של המבנים במשושה), ומקדמי עוצמת חומר (Material Intensity - MI) לצורך הפקת אומדן מרחבי של מסות חומרים ופסולת. עבור כל משושה חושב סך השטח הבנוי שנהרס, וממנו נגזר נפח הבינוי באמצעות מכפלה בגובה ממוצע מייצג. נפח זה הומר למסת חומרים על בסיס מקדמי MI בטבלת המקדמים המצורפת, אשר הוכנה על בסיס נתונים המייצגים את סוגי המבנים במזרח התיכון לפי המתודולוגיה RASMI המתוארת במאמר בכתב העת - ר' מטה.

מקדמים אלו מייצגים טווחי מסה ליחידת שטח, ומאפשרים חישוב פשוט באמצעות הכפלת כמות שטחים הבנויים שנהרסו בפולגון במספר הקומות ובמקדם המתאים. טבלת המקדמים כוללת שישה חומרי בניין עיקריים: בטון, פלדה, זכוכית, פלסטיק, אלומיניום ונחושת. לכל חומר הוגדרו מקדמים בקילוגרם למ"ר של שטח רצפה (Floor area) עבור שלוש קטגוריות מבנה פונקציונליות: מגורים רב-משפחתיים, מגורים צמודי קרקע ומבנים שאינם למגורים. לצורך התאמה לשטח רצועת עזה, נבחנה אפשרות להצליב בין סוגי מבנים לבין מקדמים בהתאם למאפיינים כגון גובה ומספר קומות. בהיעדר סיווג מלא לכל המבנים, הוחלט להשתמש במקדמי מגורים רב-משפחתיים כבסיס אחיד ומצייג לסוגי המבנים ברצועת עזה, תוך ציון כי הפערים בין הקטגוריות אינם גדולים באופן מהותי.

עבור כל קטגוריה הוגדרו שלושה ערכי הערכה - מינימום, חציון ומקסימום מהנתונים במאמר הנ"ל, המשמשים כתרחישים לשקף שונות מבנית ואי-ודאות. תוצאות החישוב הניבו טווח כולל של כ-67 עד 126 מיליון טון פסולת (נכון לספטמבר 2025).

הטבלה מבוססת על מסד הנתונים RASMI - Regional Assessment of buildings' Material Intensities - שפותח במטרה לספק טווחים גלובליים עקביים של מקדמי עוצמת חומר (Material Intensity, MI) לבניינים, המובחנים לפי אזור גאוגרפי, סוג שלד ותפקוד מבני. מקדמי MI מבטאים את מסת חומרי הבנייה ליחידת שטח רצפה בקילוגרם למ"ר, ומהווים כלי מרכזי לאמידת מלאי חומרים, פסולת הריסה פוטנציאלית וזרמי חומרים עתידיים. מסד הנתונים המלא כולל 3,072 טווחי ערכים עבור שמונה חומרי בנייה עיקריים, בארבעה סוגי שלד

מבני ובשלושה סוגי שימוש, ב-32 אזורים גלובליים.

המתודולוגיה נשענת על איסוף שיטתי של נתוני ספרות קיימים, הרחבה מבוקרת באמצעות קריטריוני דמיון אזוריים ומבניים, וחישוב אחוזונים (0, 5, 25, 50, 75, 95, 100) ללא הנחת התפלגות הסתברותית. גישה זו מאפשרת לייצג הן שונות מבנית אמיתית והן אי-ודאות אפיסטמית הנובעת מהבדלים בין מקורות נתונים, ובכך לספק מסגרת אמינה להערכת מסות חומרים ותרחישי פסולת בקנה מידה עירוני ואזורי.

מקור מידע:

Fishman, T., Mastrucci, A., Peled, Y., Saxe, S., & van Ruijven, B. (2024). RASMI: Global ranges of building material intensities differentiated by region, structure, and function. *Scientific Data*, 11, Article 418. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03190-7>

על בסיס המאמר הוכנו מקדמי עוצמת חומר (Material Intensity) לפי סוג מבנה ותפקוד - על בסיס מסד הנתונים RASMI. להלן הטבלה המציגה את הנתונים:

material	building_function	min kg per m2	med kg per m2	max kg per m2
concrete	nonresidential	709	1078.61	1443.14
	residential_multi	708.38	965.15	1297.09
	residential_single	470.13	787.89	1125
steel	nonresidential	34.66	54.68	92.48
	residential_multi	34.38	50.8	94.05
	residential_single	15.2	21.2	37.13
glass	nonresidential	1.01	2	3.2
	residential_multi	1.79	2.47	4
	residential_single	1.52	2	2.53
plastics	nonresidential	0.39	1.2	3
	residential_multi	0.39	1.2	3
	residential_single	0.39	1.2	3
copper	nonresidential	0.08	0.18	0.27
	residential_multi	0.08	0.18	0.27
	residential_single	0.08	0.18	0.27
aluminum	nonresidential	0.13	0.49	1.07
	residential_multi	0.13	0.49	1.07
	residential_single	0.14	0.5	1.07

החישוב בוצע בשילוב מומחיותו של ד"ר תומר פישמן כיועץ חיצוני ומומחה לכלכלה מעגלית, וכן בשיתוף מר עדי בן נון, ראש מרכז ה-GIS באוניברסיטה העברית בירושלים, אשר ליווה את ההיבטים המרחביים והאנליטיים של המודל.

החישוב מבוסס על שילוב בין:

אומדן השטח הבנוי שזוהה כהרוס בכל משושה - בוצע זיהוי של מידת שינוי המבנה לעומת מצבו ב-2023.

גובה מבנה ממוצע - חושב על ידי ממוצע הגבהים של המבנים במשושה.

מקדמי עוצמת חומר (Material Intensity – MI) לצורך הפקת אומדן מרחבי של מסות חומרים ופסולת.

עבור כל משושה חושב סך השטח הבנוי שנהרס, וממנו נגזר נפח הבינוי באמצעות מכפלת השטח בגובה מבנה ממוצע (מתורגם למס' קומות).

פירוט שלבי העבודה:

המרת כל שכבות הנתונים להיטל אחד - רשת ישראל החדשה
טיוב נתוני המבנים ושילוב מקורות - OSM & Microsoft
יצירת שיכבת מבנים מלאה עם תיאור סוג המבנה וגובהו
יצירת שיכבת משושים אחידים
שיוך כל משושה לתחום האדמיניסטרטיבי בו הוא נמצא
שילוב בן שכבת זיהוי הנזק למבנים (נקודתית) לשכבת המבנים (פוליגונית) וטיובה.
שיוך כל מבנה למשושה בו הוא נמצא
חישוב שטח המבנים שזוהו כהרוסים עבור כל משושה
חישוב גובה מבנה ממוצע בכל משושה
סיכום ערכים עבור כל משושה: חישוב נפח הבינוי וחישוב מסות חומרים ופסולת המצטברות בכל משושה, כולל הפקת מפות וטבלאות סיכום.

מקורות הנתונים:

שכבת מבנים ווקטורית של רצועת עזה - OSM

שכבת מבנים ווקטורית של רצועת עזה - Microsoft

שכבת דרכים ווקטורית של רצועת עזה - OSM

שכבה ווקטורית, זיהוי נזק למבנים - UNOSAT

גבולות אדמיניסטרטיבים - הרשות בפלסטינית

תובנות עיקריות

הניתוח מצביע על היקף פסולת בטווח של 67 עד 126 מיליון טון, כאשר מרבית המסה מורכבת מבטון. הפלדה מהווה חלק קטן יחסית מהמסה הכוללת אך בעלת חשיבות סביבתית וכלכלית גבוהה ולכן מיחזרה חיוני. שילוב המודל ההקסגוני עם טווחי MI לפי סוג שימוש מצביע על שונות ברורה בין אזורים. מבנים שאינם מיועדים

למגורים, המאופיינים בצפיפות חומר גבוהה יותר, תורמים מסות משמעותיות של בטון ופלדה בעת הריסה ומייצרים ריכוזי פסולת נקודתיים. בנוסף, נמצאה עקביות בין מקורות ה-MI השונים, דבר המחזק את אמינות התרחישים. בנוסף, פסולת כבישים ותשתיות מוסיפה מיליוני טונות שלא נכללו בהערכות הראשוניות. המתאם בין רמות הנזק לבין מסת החומרים מאפשר זיהוי מוקדי עומס עתידיים ולפיכך קביעת סדרי עדיפויות לפינוי, טיפול ושיקום. בהיקפים אלה, המסקנה התפעולית היא כי נדרשת פריסה של מספר מרכזי קליטה ומיחזור אזוריים ולא הסתמכות על אתר מרכזי יחיד.

לסיכום, מערך הנתונים והחישובים הנדון מאפשר: תיאור כמותי של פסולת הריסה לפי חומרים ברמת המשושה. יצירת סיכומים לפי חומר, עבור כמה תרחישים (מינימום, חציון, מקסימום). ניתוח מרחבי באמצעות ממ"ג (מערכת מידע גאוגרפי) כולל מפות, המדגישות אזורי ריכוז והבדלים גאוגרפיים בהרכב החומרים.

הצגת המיפוי והחישובים בתוכנת מערכות מידע גיאוגרפיות סיפוריות

מפת ה-GIS הסיפורית (Story Map) שפותחה במסגרת המחקר היא פלטפורמה אינטראקטיבית דו-לשונית (עברית ואנגלית), המאפשרת להציג ולהנגיש את סיפור ההרס והשיקום הפוטנציאלי בעזה באמצעות שילוב של מפות ומודולים דינאמיים, שכבות מידע, טקסטים, תמונות ומודלים דינמיים. זוהי מפת סיפור ראשונה מסוגה בישראל בנושא פסולת בנייה בעזה, והיא נועדה להנגיש לקובעי מדיניות, חוקרים והציבור הרחב מידע מורכב בשפה חזותי, אינטראקטיבית ונהירה.

מפת הסיפור כוללת מפות ומודלים עם שכבות מידע המבוססות על מודל משושים (Hexagon), שבו מחולקת רצועת עזה למשושים אחידים המשמשים כיחידות ניתוח עצמאיות. כל משושה משלב בתוכו מספר קטגוריות של מידע: נתוני אוכלוסייה לשנת 2023; נתוני מבנים (כולל רמות נזק) המבוססים על Microsoft UNOSAT; נתוני כבישים ותשתיות; ונתוני חממות ושטחים חקלאיים המבוססים על Sentinel-2, NDVI ו-OpenStreetMap. שילוב זה מאפשר הערכה מרחבית של נפחי פסולת, זיהוי מוקדי נזק ומיפוי אזורי רגישים מבחינת תשתיות, ביטחון מזון וכלכלה. מפת הסיפור כוללת גם שכבות מידע נוספות, כגון שכבות בינוי תלת-ממדי ותצלומי לוויין של ESRI, וכן שכבות חלוקת הרצועה לאזורים: מחוזות, עיריות, שכונות, רצועות ביטחון ואזורי פינוי.

במפת הסיפור מוצגות מספר מפות עיקריות: ריכוז בנייני מגורים בעזה ערב המלחמה; אחוז ההרס למבנים ביולי 2025; נזק לתשתיות כבישים (כ-3,045 ק"מ שנפגעו, מתוכם כ-68 אחוזים מרשת הכבישים); נזק לשטחים חקלאיים לאורך שש-שבע שנים; ופיזור אזורי תעשייה וחממות. כל מפה מלווה בהסבר קצר על שיטת הניתוח ויצירת שכבות המידע. תמונות להמחשה של היישום כולל שימוש בתמונות לוויין ברזולוציה גבוהה, מודל תלת-ממדי עם שכבת מבנים לצורך המחשת הנזק. המידע במפת הסיפור מפרט את הממצאים הרלוונטיים במצב הקיים לצורך תכנון שיקום ותיעודף התערבויות בשטח.

מפת הסיפור כוללת אפליקציות אינטראקטיביות עצמאיות: מפה דינמית דו-ממדית המאפשרת זום, הדלקה וכיבוי שכבות, הצגת מקרא והחלפת מפות בסיס; מודל תלת-ממדי המאפשר שיטוט חופשי, מדידות, הצללה וצפייה בתצוגות מוכנות מראש של אזורים כמו רפיח, חאן יונס ושכונת זייתון בעיר עזה. מרכיב זה של הפרויקט הוא כלי עזר עבור קובעי מדיניות, מקבלי החלטות והצוותים המקצועיים להבנת המצב הקיים בעזה מבחינת ממדי ההרס, ומאפשר לבחון תרחישי שיקום שונים ולזהות אזורי עדיפות לטיפול בפסולת ובשיקום תשתיות.

המפות והמודלים הוכנו בשיתוף פעולה הדוק בין צוות המחקר לבין מומחי GIS, בהם: מר עדי בן נון מהאוניברסיטה העברית ואדריכלית הדסה לב, מנכ"לית של WALK. וכן, בשילוב שיחות עם גורמים ממשלתיים, אקדמיים ובינלאומיים. **ה-GIS הסיפורי מהווה תוצר מרכזי של הפרויקט: הוא מתפקד הן ככלי מחקרי והן ככלי דיפלומטי - תקשורתי, שמאפשר להנגיש את הממצאים לקהלי יעד שונים - ממקבלי החלטות וגופי סיוע, דרך אנשי מקצוע בתחום הפסולת והתכנון, ועד לציבור הרחב בארץ ובעולם.**

להלן הקישור למפת הסיפור בעברית: [לחצו כאן](#).

להלן הקישור למת הסיפור באנגלית: [לחצו כאן](#).

הסבר על המתודולוגיה והדגמה ויזואלית מופיע גם בעמוד הייעודי באתר של עדי מגר. קישור: www.adimager.com.



mitvim.org.il