



## חזרה לשגרה או שגרה חדשה? סימולציה של עמידות עירונית

א. יאיר גרינברגר ודניאל פלזנשטיין

### תקציר

בעוד התהליך של הערכת הנוקים הישירים מאסון עירוני הינו מאופיין לרב בפשטות יחסית, השפעות בלתי ישירות ארוכות טווח מאסון שכזה הן קשות לחיזוי והבנה. אסון דוגמת רעידת אדמה יוצר זעזוע בקנה מידה גדול המסיט את המערכת העירונית המורכבת ממצב קיים המאופיין בשיווי משקל אל דפוס התפתחות לא ידוע. בהתאם לכך, הערכת ההשפעה של מדיניות המבקשת לצמצם את הזעזוע הנ"ל ולקדם עמידות עירונית (urban resilience) גם היא מורכבת וטומנת בתוכה קשיים רבים. מאמר זה בוחן את ההשפעות ארוכות הטווח של רעידת אדמה היפותטית בירושלים באמצעות יישום של סימולציה דינמית מבוססת-סוכנים. אנו מתמקדים בהערכת היעילות של תוכניות מדיניות המבקשות להחזיר את שיווי המשקל על כנו. הממצאים שהתקבלו מעידים על כך שערים מכילות בתוכן מנגנון ארגון-עצמי המבוסס על כוחות שוק ואשר מקדם התייצבות בשיווי משקל חדש. לכן ערים לא תמיד יחזרו לשגרה, אלא יתארגנו ב'שגרה חדשה'. על מקבלי החלטות, מהנדסים, מתכננים עירוניים והעוסקים במצבי חירום להיות מודעים לנטייה זו בעת עיצוב מדיניות. שכן אם לא כך יהיה, מאמצים הנובעים מכוונות טובות בלבד יכולים להפריע להתחדשות העירונית ולגרום לעיכוב בתהליך ההתאוששות.

### הקדמה: עמידות עירונית ומשמעותה

בעשרות השנים האחרונות אסונות בקני מידה גדלים הביאו לפגיעות רבות בנפש וברכוש בערים בתדירות עולה (Wamsler, 2004). ניתן להניח שדפוס זה יתחזק ככל שהאוכלוסייה העירונית תגדל וצפיפותה תעלה (Quarantelli, 1996; UNSIDR, 2012). כיום מתקיים מאמץ בין-תחומי גדול לקידום העמידות העירונית ולצימצום הסיכונים העומדים בפני ערים, אשר נובע מפוטנציאל זה לאירועי אסון גדולים וכן מתבסס על הזמינות העולה של מידע, כלים וידע (Zolli and Healy, 2012). חלק גדול מהעיסוק בנושא מתמקד בהשבת התנאים העירוניים למצב הדומה לזה שהתקיים טרום האסון. עם זאת, היקף ההתחדשות הרצוי והמטרות שהיא אמורה לקדם נשארים לרב לא מוגדרים ומעורפלים. ההסכמה הכללית העיקרית שקיימת היא בדבר יחסי סיבה ותוצאה ישירים ולינארניים בין גודל האסון

### תודות

מחקר זה מומן במסגרת פרויקט המחקר DESURBS- Designing Safer Urban Spaces, EU FP7 חוזה 261652. מחקר מסי' תודה גם לשופט על ההערות המועילות.

גרינברגר, א.י. ופלזנשטיין, ד. (2014). חזרה לשגרה או שגרה חדשה? סימולציה של עמידות עירונית. **תכנון**, 11(2): 49-32.

לבין הן המאמץ שנדרש להשקיע בתהליך ההתאוששות והן המשך הנדרש להתאוששות (Chang and Rose, 2012).

מאמר זה מדגים שיחסים לינאריים אלו הנם קשים להצדקה בהקשר של השפעות ארוכות טווח של רעידת אדמה על המערכת העירונית. מעבר לכך, אנו טוענים כי מאמצים לקידום עמידות עירונית אינם יעילים כאשר מטרתם היא ייצור קשרים ישירים שכאלה, שבהם הטיפול בפגיעה נגזר אך ורק ממקום ומידת הפגיעה הראשונית. ההגדרה של עמידות אשר עליה אנו מתבססים במאמר זה נובעת מזו המקובלת במחקר בתחומי האקולוגיה וההנדסה (Holling, 1996; Adger, 2000) ואשר רואה בעמידות יכולת של מערכת להתאושש מהפרעה. בעוד עבודה זו מתמקדת בכוונה תחילה ברעיון של העיר כמערכת אשר התפתחותה נמצאת במצב של שיווי משקל, אנו מכירים בכך שהתוצאה של אירוע בלתי צפוי אינה נתונה מראש, בשל האפשרות לקיום מצבי שיווי משקל רבים ולא יציבים עבור המערכת. לפיכך, זעזוע קטן, ולעיתים כמעט בלתי מורגש, עלול להניע את המערכת ממצב שיווי משקל אחד לשני. החיזוי של היכולת של זעזוע כלשהו, כגון אלו הנובעים מאסון טבע, להטות את המערכת למסלול התפתחות חדש אינה אפשרית בשל היות האסון גורם חיצוני למערכת.

כמו כן, אנו מצביעים על ההבדלים העדינים, אך חשובים, הקיימים בין נקודת המבט העוסקת בניסיון לחזרה למצב קודם, המניחה שיווי משקל יחיד ויציב ('חזרה לשגרה'), לבין זו הבוחנת את ההתכנות של מסלולי התאוששות שונים ומצבי שיווי משקל פוטנציאליים שונים לאחר הזעזוע (מצב אותו אנחנו מכנים 'שגרה חדשה'). נקודת המבט של 'חזרה לשגרה' מתייחסת לעיסוק המסורתי בהתייצבות בתנאים אשר היו קיימים בטרם האסון (Chang, 2010). אסון עירוני מסיט את ההתפתחות העירונית לכיוון מסלול התפתחות חדש. במקרה זה, מסלול ההתפתחות שהיה מתקיים ללא האסון אינו נצפה ואינו ידוע. מעבר לכך, אין לדעת האם כיוון ההתפתחות אשר מתקיים בפועל מהווה תיקון זמני או דפוס יציב וארוך טווח. עיסוק באפשרות של 'שגרה חדשה', מאידך, מתמקד בבחינה של מידת הפרעה שהמערכת העירונית יכולה לסבול בטרם היא משנה את המבנה הבסיסי שלה.

מאפיין חשוב שמזוהה עם התאוששות לאחר אסון, בהקשר של כיווני ההתפתחות, הוא 'כיווץ הזמן' (Olshansky, Time Compression; Hopkins and Johnson, 2012), המבטא את התגובה האינסטנקטיבית בעקבות אירוע לא צפוי. תגובה זו מאופיינת בנסיונות לדחיסת פעילויות שיקום לתנאים קודמים כגון חידוש מלאי ההון, בניה מחדש של מוסדות, חידוש שימושי קרקע ופעילות מסחרית, לתקופת זמן קצרה בתחום מרחבי מצומצם. אלא שתהליכים עירוניים שונים מתחדשים בקצבים שונים: בעוד שיתכן שפעילות מסחרית תתאושש בצורה מהירה, בנייה מחדש של מסגרות חברתיות וממשיות יכולה לדרוש משך זמן נרחב יותר בצורה משמעותית. מכך משתמעת האפשרות לקיום מספר רב של מצבי שיווי משקל לא יציבים ושל העדר הקשר הישיר בין עוצמת הפרעה וקצב ההתאוששות. מעבר לכך, מצב זה מצביע על כך שאין הכרח שתהיה התאמה בין נקודת הפגיעה לבין מקום ההתאוששות. משמעות מעניינת נוספת היא שבתוך האסון טמונות הזדמנויות לשינוי וצמיחה מחדשת. דוגמאות לכך ניתן לראות בצורה שבה ניצלו ערים ביפן וגרמניה את ההרס שנוצר בעקבות הפצצות במהלך

מלחמת העולם השנייה בכדי לקדם את המערכת הכלכלית שלהן (Brakman, Garretsen and Schramm, 2004; Davis and Weinstein, 2002).

יש המערערים על נקודת המבט המתייחסת לשיווי משקל בהקשר של תהליך ההתאוששות העירוני (Martin, 2012; Davoudi, 2012). שלושת הטענות העיקריות הן שהעיר אינה מכניסית וצפויה כפי שנקודת מבט זו מציעה, שההתאוששות למצב בטרם האסון אינה בהכרח המטרה הרצויה עבור אזורים שהיו לא אטרקטיביים לפניו, ושהדטרמיניסטיות שנקודת מבט זו מציעה מתעלמת מיכולת ההשפעה של האדם על המצב באמצעות רגולציה, תכנון ומדיניות. אנו מתייחסים לטענה זו ובוחנים את משמעויותיה בהקשר של מדיניות ויכולתה להשפיע על עמידות. קווי מדיניות מסויימים יכולים להתמקד בכינון מחדש של שירותים ותשתיות שנפגעו, בשליטה ובהכוונה של תשומות וזרימות, או בעידוד שינויים לסביבה. אסון, לכן, יכול להוות הזדמנות במסווה לשיפור המצב העירוני. עם זאת, ערים הן מערכות מורכבות, שאת התנהגותן קשה להבין ולחזות, בעיקר כאשר שיווי המשקל בו הן נמצאות מופר. לאור כך, אין זה מפתיע שצעדי מדיניות רבים מתקשים להשיג את היעדים המבוקשים והצפויים בעת יישום, ולעיתים אף מחריפים את האסון (Chanlee-Wright and Rothschild, 2007; Williams, 2008). במאמר זה אנחנו מתייחסים באופן ישיר לנושא זה. אנו מציגים את התוצאות של סימולציה דינמית מבוססת-סוכנים אשר מדמה רעידת אדמה באזור עירוני ותגובות אפשריות אליה בהתאם לצעדי מדיניות שונים. אנו מצביעים על ההשפעות הישירות והעקיפות של התערבויות אנושיות אלו ומעריכים את משמעותן בקידום העמידות של העיר.

המשך המאמר מורכב משלושה חלקים. ראשית, אנו סוקרים את העקרונות עליה מושתת הסימולציה וכן היישום שלה בהקשר של רעידת אדמה בירושלים. בחלק השני אנו מציגים אינדיקטורים המשמשים להערכת עמידות עירונית (משך ההתאוששות, התחדשות שימושי קרקע, תזוזת המע"ר) ואת השינוי בערכיהם לאחר הדמיה של התערבות מדיניות בשלושה קווים, ביחס לתרחיש הבסיס בו קווים אלו אינם מיושמים. קווי מדיניות אלה הנם רגולציה מחמירה של שימושי קרקע, אספקת מקלטים ציבוריים עבור תושבים שנעקרו מביתם, ושיקום של שירותים ציבוריים שנפגעו. בחלקו האחרון של המאמר אנו דנים בתוצאות יישום צעדי מדיניות אלה ובמשמעותן עבור עמידות עירונית.

### מתודולוגיה

סימולציה מבוססת-סוכנים מייצגת את המורכבות של המערכת העירונית באמצעות הפעילויות של 'סוכנים' בודדים, אשר יכולים להיות הן ישויות פרטניות בדמות תושבים או מוסדות כוללניים כגון שווקים. ככזו, היא מתאימה לתחום של ניהול אסונות, בזכות יכולתה לדמות בצורה פשוטה תהליכים רבים בו-זמנית (Friedrich and Burdardt, 2007). הדבר בא לידי ביטוי במספר מחקרים, אשר יישמו את הכלי הזה בהקשרים של אסונות שונים: הצפות (Peppe and Wang, 2011), שריפות (Chen and Zhan, 2008), הוריקנים (Chen, Meaker and Zhan, 2006), רעידות אדמה (Crooks and Wise, 2013) ועוד. עבודות אלו מתייחסות בבסיסן להתנהגות הקולקטיבית של סוכנים המייצגים פרטים אנושיים, ועוסקות בהתערבות של אנשי

כוחות חירום, בחיזוי דפוסי התנהגות אנושית במצבי קיצון ולחץ, בהשפעה על רשת הכבישים ועומסי תנועה בשל שינוי בדפוסי התנועה, ואף בדימוי מאמצי סיוע לאחר אירוע. בהקשר זה, הסוכנים העיקריים הנם משקי הבית, העובדים, פירמות ומקבלי החלטות המקומיים. כל אחד מאלו פועל לפי אסופה של כללי התנהגות (ברי תכנות) מסויימים, ובכך הם משפיעים הן על ההתנהגות של סוכנים אחרים והן, באופן מצטבר, על הפעילות של מוסדות עירוניים דוגמת שוק הדיור, שימושי הקרקע ומערכת התכנון. מוסדות אלו והמערכת העירונית שהם מרכיבים הנם חסרי גמישות במיוחד. זאת מכיוון שהמורפולוגיה העירונית הקיימת, אשר עוצבה באופן מצטבר לאורך זמן, לא מגיבה במהירות לשינוי ומכיוון ששינוי פיזי מתוכנן הינו תהליך הדורש תקופת 'קינון' ארוכה ומשך זמן ארוך להשלמה. בנוסף, בשל התלות ההדדית של סוכנים, החלחול של הזעזוע למערכת אל ההתנהגות של כלל הסוכנים יכול להוביל להשפעות מרחביות אקראיות, כאשר התלות של מערכות עירוניות בתנועת והתנהגות הסוכנים תביא לכך שהביטוי ארוך הטווח של הזעזוע יהיה דווקא באזורים שנפגעו במידה מועטה יותר מבחינה פיזית. בהנתן המורכבויות המרחביות והעיתיות הללו, מקבלי החלטות חווים קושי בהבנה כוללת של המורכבות של אירועים בלתי צפויים באזורים עירוניים. במסגרת המחקרים שהוזכרו לעיל ועוסקים בתגובה ובהתאוששות מאסון עירוני, מעט תשומת לב ניתנה לתגובת הסביבה העירונית ולדרך בה היא מנסה להכיל את הזעזוע ולהתייבב בחזרה. הסימולציה שאנו מציגים פה מתייחסת לנושא זה, תוך בחינת וחיזוי הדינמיקות ארוכות הטווח בתוך המערכת העירונית, אשר נובעות מהתנהגות הפרטים בתוכה. איור 1 מפרט בצורה גרפית את המרכיבים הבסיסיים של המערכת מבוססת-הסוכנים הזו. באיור מתוארים יחסי התלות בין סוכנים שונים לבין המערכות העירוניות. תשומות חיצוניות ופנימיות משמשות לאיפיון תהליך קבלת ההחלטות של הסוכנים (כגון רמת הכנסה, הסתברות להגירה), אשר מתקיים כתגובה לתנאים בסביבה החיצונית אך גם משפיע על תנאים אלו. ההסתמכות על כללי התנהגות פשוטים, מאפיין יסודי של סימולציות מבוססות-סוכנים, מכתיבה את ההגדרה הפשטנית של יחסי סוכן-סביבה המוצגת באיור 1. למרות זאת, האלמנט הסטוכסטי המשולב בדפוסי ההתנהגות של אוכלוסיית הסוכנים, כפי שמפורט בסעיפים "סוכנים" ו"דינמיקות עירוניות", יוצר שונות רבה בהתנהגותם המספיקה בכדי להתגבר על העדרות מרכיבים חשובים במערכת האורבנית, בחלקיה, ובהתנהגות האזרחים שבה.

#### **-א. הדמיית הסביבה העירונית**

הסוכן הבסיסי במודל הנוכחי הינו תושב העיר אשר, תחת המגבלות של הסביבה החיצונית והמאפיינים האישיים, שואף לקיום אשר מתאים למטרות התנהגותיות ברורות ומוגדרות מראש. אלו כוללות מיקסום תועלת במובן של מקום מגורים והשתתפות בפעילויות כגון עבודה, פנאי, מסחר ופעילויות חברתיות אחרות. מעבר לתושבים, הבניינים הבודדים משמשים במסגרת מערכת שימושי הקרקע כישויות דמויות-סוכנים, אשר אינן מאופיינות בניידות הנדרשת או ביכולת פעולה אוטונומית, אך עדיין מסוגלות להגיב לפעולות הסוכנים וכך לשנות את המערכת העירונית. זעזוע הפוגע במערכת (כגון רעידת אדמה) והחלטות חיצוניות המנסות להכיל אותו הן

חיזונית (ראו איור 1). בעוד קנה המידה המרחבי של הסימולציה הינו תלוי משימה וצרכים, הרזולוציה העיתית נקבעת לאיטרציה הבודדת (אשר הינה מקבילה למשך של יום פעילות אחד במציאות). כלי הסימולציה פועל על גבי הפלטפורמה Repast Simphony, אשר הנה סביבת פיתוח פופולרית מבוססת Java. עבור סימולציות מבוססות סוכנים (Crooks and Castle, 2012).

### 3. סוכנים

איור 2 מתאר כיצד ההתנהגות של הסוכן מורכבת משני תהליכי קבלת החלטות - החלטות הנוגעות למקום הדיור והחלטות הנוגעות למיקום פעילויות. שאיפתנו היא להציג תהליכים אלו בצורה מציאותית ככל האפשר. החלטות דיור הן התהליך הראשון שמתקיים בכל איטרציה (יום). הסוכנים מסוגלים לקבל החלטה על שינוי מקום מגורים ובמקרה זה, הם יבחרו בין עקירה אל מחוץ לעיר או אל מיקום חלופי בתוכה. החלטות אלו הן הסתברותיות והן מסתמכות על מידע קיים בדבר ההסתברות לתנועות תוך עירוניות ברמת האיזור הסטטיסטי. שיעורי ההגירה היוצא נגזרים מהיחס בין נפח ההגירה מהאיזור לגודל האוכלוסיה באיזור. במקרה של תנועה פנים-עירונית, הבחירה של בניין מגורים חדש תלויה בזמינות של מרחבי דיור והנה תוצאה של מיקסום תועלת - משק בית הינו נכון להקדיש עד שליש מההכנסה החודשית שלו (אשר נגזרת מממוצע ההכנסה למשק בית באיזור סטטיסטי) לדיור. העלות החודשית של דיור משתנה על פי מערכת תמחור דינמית, כאשר היא נגזרת מערכה של דירה בבניין, שערכו נגזר בעצמו על פי עלות הדיור הממוצעת למי"ר באיזור ושטח הרצפה של הבניין. עלות הדיור הממוצעת באיזור סטטיסטי משתנה בין יום ליום על פי שינויים בביקוש לדיור, בהיצע הדיור, וברמת אספקת השירותים באיזור. במידה וסוכן נכשל בניסיונו למצוא מקום מגורים חדש בתוך גבולות העיר, אם בשל חוסר בזמינות ואם בשל יחס מחיר והכנסה גבוה, הוא יבחר לעזוב את העיר.

לאחר שהתקבלה החלטה בנוגע לדיור, סוכנים אשר היגרו אל מחוץ לעיר נמחקים ממאגר הסוכנים של הסימולציה, ואילו האחרים ממשיכים לשלב השני בו הם ממקמים במרחב את פעילויותיהם. בכל איטרציה, סוכן ישתתף בשלוש פעילויות שונות, כל אחת ממוקמת בבניין שונה ברחבי העיר, כאשר לפחות אחד מהבניינים הללו מיועד לשימוש לא למגורים. המודל לא מבחין בין סוגים שונים של פעילויות, אלא משידך פעילויות לסוגים שונים של שימוש קרקע בלבד (למגורים ולא למגורים). הבחירה של מיקום פעילות גם היא הסתברותית באופייה. כל בניין הינו בעל ציון אטרקטיביות ביחס לסוכן אשר מחושב על פי מרחקו מהמיקום הנוכחי של הסוכן, על פי אופי סביבתו (אחוז הבניינים הריקים משימוש בסביבתו), ועל פי נפח שטח הרצפה שלו (עבור שימושים לא למגורים בלבד). אם ציון זה עובר ערך אקראי שמוגדר לסוכן (המייצג העדפות או רמת תועלת רצוייה), הסוכן יבקר בבניין זה. הסוכנים מוצאים את דרכם ברשת הכבישים בין פעילויות באמצעות אלגוריתם שאינו מייצג אופטימיזציה (בחירת המסלול הקצר) ושמתייחס למרחק אווירי בעת בחירת נתיב התנועה. הבחירה נתיב שאינו בהכרח הקצר ביותר מובילה להתנהגות 'מספקת' (Simon, 1952; 'satisficing behavior') וכן מקלה מאוד בעומס החישובי בהשוואה לאפשרות השנייה (אופטימיזציה באמצעות אלגוריתם המסלול הקצר ביותר). התנהגות הסוכנים מתבססת

על שתי הנחות התנהגותיות נוספות, הראשונה נוגעת להמנעות מסיכון לאחר האסון (Cameron & Shah, 2013) ומגולמת בנטייה להמנע מאזורים הנפגעו מהאסון (בניינים ריקים רבים), בעוד השנייה מייצגת העדפה לגודל ומגולמת בהסתברות עולה לביקור בבניין עם הגידול בנפח שטח הרצפה שלו, מתוך הסתמכות על רעיון כמו-גרביטציוני (Wilson, 1970).

### ג. דינמיקות עירוניות

שינויים במערך שימושי הקרקע מתרחשים כדלקמן: כיוון ששימושים מסחריים תלויים בנפחי תנועה של צרכנים דרכם ושימושי מגורים תלויים בנוכחות של דיירים, חוסר או עודף של סוכנים יכול להוביל לשינוי בשימוש קרקע או להתרוקנות בניין משימוש. השימוש היחיד שנחשב ליציב ולא רגיש לשינויים בסביבה הוא שימוש ציבורי. מידת החופש שיש לבניין בהחלפת שימושי קרקע ניתנת לשליטה ע"י המשתמש.

ארבעה דפוסים של שינוי שימוש קרקע נלקחים בחשבון: ממגורים/ריק לשימוש למסחר, ממסחר לריק משימוש, ממגורים לריק משימוש, מריק משימוש למגורים. שני הראשונים תלויים בתנועה של צרכנים, המיוצגת בנפח התנועה (מס' סוכנים ממוצע למטר ליום) על הכביש הסמוך ביותר לבניין. הדבר נובע מהנחה שהכנסות הן פרופורציונליות למספר הביקורים, אשר הינו פרופורציונלי לנפח התנועה הסמוכה. רמת התנועה הנדרשת לקיום שימוש מסחרי תלויה בנפח שטח הרצפה של הבניין, כך שבניינים גדולים יותר ידרשו נפח תנועה גדול יותר וישקפו עלויות אחזקה גבוהות יותר. במידה ותנאי זה לא מתקיים, הבניין מתרוקן משימושו הנוכחי והופך לזמין לשימושים אחרים. במקרה ההפוך, נפחי תנועה גדולים ביחס לשטח הרצפה יכול לעודד שינוי ייעוד למסחר. במקרה זה, אם השימוש הקודם הוא למגורים, תושבי הבניין יאלצו להחליט בין עזיבת העיר וחיפוש מקום מגורים חדש בגבולותיה. שני הסוגים האחרים של דינמיקות (ממגורים לריק משימוש וההפך) תלויים במספר התושבים בבניין – יתכן וסוכנים יעברו לבניין ריק וכך ישנו את שימושו ולחילופין יתכן והם ינטשו בניין מגורים קיים וכך ירוקנו אותו מתוכן. המנגנון העומד בבסיס תהליך שינוי זה נשען, מעבר להנחות הלוגיות שפורטו, על קשר לא ישר בין שטח הרצפה ונפח התנועה, שבו הנטייה לשנות ייעוד מתמתנת בקצוות הטווח (עבור מבנים קטנים או גדולים במיוחד), בכדי להמנע ממצב בו פונקציות גדולות מתקשות לשרוד ומאינפלציה של שימושים קטנים. ניסוח זה נובע מאלמנטים כלכליים מוכרים כגון יתרונות לגודל, סף ביקוש, ועוד.

פעילות הסוכנים יוצרת מרחבי מחייה פנויים, אשר מעודדים הגירה אל תוך העיר, ובצורה זו משפיעה באופן נוסף על ההתרחשות העירונית. העיר מתחילה את הסימולציה בתפוסה מלאה ונפח ההגירה לתוכה תלוי בשינויים בשוק הדיור, כאשר מרחבי מחייה הופכים להיות פנויים. נפח זה מתבסס על היחס בין מספר התושבים העוזבים את העיר וסך גודל האוכלוסייה, וכך הוא פרופורציונלי למספר מרחבי המחייה הפנויים. בעת החישוב של המספר המדויק של התושבים החדשים המהגרים לעיר מתאפשרת שונות ביחס הזה, בכדי לאפשר שינויים בדפוס ההגירה. כל מהגר פוטנציאלי נרשם במאגר הסוכנים של העיר רק במידה והוא מצליח למצוא מרחב מחייה מתאים

לצרכיו (עלות המחיייה נמוכה משליש מההכנסה שלו, אשר מיוצרת בצורה אקראית על פי הממוצע הכלל עירוני).

#### ד. תשומות חיצוניות לדינמיקות העירוניות

ישנם שני מרכיבים חיצוניים עיקריים המשפיעים על הדינמיקות בעיר (איור 1). הראשון הינו הזעזוע הבודד (רעידת האדמה) אשר מתרחש ביום החמישי של הסימולציה וממוקם בצורה רנדומלית במרחב. ההשפעה של הרעידה מתפרסת החוצה מהמוקד, ודועכת באופן מעריכי. ציון עמידות מחושב עבור כל בניין, על בסיס מרחקו מהמוקד וגובהו. במידה וציון זה לא גבוה מערך אקראי שמוגרל עבור הבניין, הוא קורס מעוצמת השוק (shock). במקרה זה הבניין מתרוקן משימוש, תושביו (באם יש) מאבדים את ביתם והדרכים הקרובות נשארות חסומות לשימוש כל עוד הוא נותר הרוס. משך הזמן הנדרש לבנייה מחדש הינו תלוי בנפח שטח הרצפה של הבניין. כך, למרות היותה אירוע חד פעמי וסטטי, רעידת האדמה מייצרת השפעות ישירות מיידיות על מערכת שימושי הקרקע והתנהגות הסוכנים.

במאמר זה אנחנו מציגים שלוש אפשרויות של התערבות מדיניות חיצונית. אלו הן בעלות אופי בינארי (כך/לא) ומתייחסות לרגולציה של שימושי קרקע, הטיפול בתושבים אשר איבדו את ביתם, ואספקת שירותים ציבוריים:

- רגולציית שימושי קרקע: מגדירה את החופש שניתן לבניינים להחליף את שימושם הנוכחי. בהעדר רגולציה, שימושים משתנים בצורה חופשית בהתאם לדרישות השוק. בעת הפעלת הרגולציה, לא מותר שום שינוי (פרט לנטישה) וחדוש שימושי הקרקע משמעותו שימור השימוש המקורי.
- טיפול בתושבים אשר בתיים נהרסו: בהעדר התערבות של מדיניות, תושבים אלו הנם בעלי הסתברות שווה לעזוב את העיר או לחפש מקום מגורים חדש בתוכה. כאשר ישנה התערבות, התושבים מרוכזים בבניין ציבורי ובו הם נשארים עד שביתם נבנה מחדש, במידה והם לא מקבלים החלטה לחפש מקום מגורים חדש. בהינתן האפשרות להחלפת שימושי הקרקע, במידה ובניין מגורים לא יחדש את שימושו המקורי לאחר בנייתו מחדש, תושביו יעקרו מהמקלט למיקום חדש או יהגרו החוצה.
- אספקת שירותים ציבוריים: מטרת מדיניות זו היא שימור מערך השירותים הציבוריים לאחר רעידת האדמה. כאשר הוא מיושם, עבור כל בניין ציבורי שנפגע מאותר בניין מסחרי מגודל דומה, אשר משמש לצרכים ציבוריים עד אשר הבניין המקורי משוקם. בהעדר המדיניות, רמת אספקת השירותים בעיר פוחתת בצורה דרסטית.

אפשרויות מדיניות אלו, בעוד שהן אינן משקפות תוכניות התערבות ממשיות (שיכלו גם הן להיות משולבות במודל), משמשות כאמצעי לבדוק את מידת העמידות העירונית, כפי שהיא מוגדרת על ידינו, אל מול תרחיש הבסיס (ללא מדיניות). בעוד תרחיש הבסיס מייצג התפתחות עירונית ושינוי פוטנציאלי הנובעים מפעולה חופשית של כוחות השוק, תרחיש המדיניות שואף לנווט את העיר חזרה לתנאים שקדמו לאסון, באמצעות השפעה על שלושה מרכיבים של המערכת העירונית (אוכלוסיה, מערכת שימושי הקרקע, שירותים

ציבוריים). אי לכך, שני תרחישים אלו מייצגים שני קצוות על פני הציר בין שינוי לסטטוס קוו. על בסיס כך, אנו מסוגלים לאבחן האם עמידות מתבטאת בחזרה לשגרה או בכינון שגרה חדשה.

### 3. מקרה בוחן – רעידת אדמה בירושלים

כלי הסימולציה שתואר להלן מודגם ביחס לרעידת אדמה במרכז ירושלים (איור 3). העיר ירושלים, הממוקמת 30 ק"מ מדרום מערב לשבר ים המלח הפעיל, כבר חוותה רעידות אדמה הרסניות בעבר, האחרונה שבהם התרחשה ב-1927. למרות שמרכז העיר שוכן על פני משטח שהינו פחות פגיע באופן יחסי, דבר אשר מצמצם את הסיכון הטבעי, העובדה שרבים מבין הבניינים באיזור זה נבנו בטרם תקנות אנטי-ססמיות הותקנו הופך אותו לנתון לפגעי רעידת אדמה (Salamon, Katz and Crouvi, 2010). זהו איזור ייחודי של שימושי קרקע מעורבים המכסה שטח של 1.45 קמ"ר ומאופיין בשפע של בניינים נמוכים המשלבים בתוכם רבי קומות בודדים. האיזור כולל בתוכו שני אזורי מסחר משמעותיים: שוק מחנה יהודה והמע"ר של ירושלים. שלושה צירי תנועה עיקריים חוצים את האיזור והם רחוב אגריפס ורחוב יפו (תוואי הרכבת הקלה) אשר מאפשרים תנועה מצפון-מערב לדרום מזרח, ורחוב קינג ג'ורג' אשר נפרש מצפון לדרום. האיזור מציג מגוון של שימושי קרקע למגורים, מסחריים וציבוריים וכן עומסי תנועה גבוהים.

לוח 1: משתנים ברזולוציות נמוכות ומשתנים ברזולוציות גבוהות הנגזרים מהם

משתנה נמוכה	קנה מידה	ערך כלל עירוני בהזמיה	משתנה ברזולוציה גבוהה
גודל אוכלוסיה	איזור סטטיסטי	2,681 סוכני תושבים	מס' תושבים בבניין
הכנסה ממוצעת	איזור סטטיסטי	6,002.54 ש"ח לחודש	הכנסה לתושב
גודל משק בית ממוצע	איזורי	3.4 אנשים למשק בית	
ערך מלאי הון	איזורי	40,588,658 ש"ח	ערך בניין לא למגורים
עלות דיור ממוצעת למ"ר	איזור סטטיסטי	13,840.44 ש"ח למ"ר	ערך בניין למגורים
גודל מלאי הדיור	איזור סטטיסטי	717 מבנים	
גודל מלאי לא לדיור	איזור סטטיסטי	298 מבנים	
מספר הסוכנים	איזור סטטיסטי	2,681 סוכנים	



שכבות ממי"ג (מאגרי מידע גיאוגרפיים, GIS) הן התשומות העיקריות להדמייה וכוללות מידע פרטני עבור כל בניין (כגון שטח הרצפה, שימוש קרקע וגובה). בכדי למקם סוכנים בבניינים ולשייך להם מאפיינים סוציו-אקונומיים בפיזור מרחבי מדוייק, אנו מחשבים בכל איזור סטטיסטי את הערך הממוצע למ"ר שטח רצפה של מדדים כגון כמות אוכלוסייה, הכנסה וגודל משק הבית על בסיס הנתונים ברמת האיזור הסטטיסטי (מקרה הבוחן מכיל 19 כאלו). לאחר מכן אנחנו משייכים מחדש מאפיינים חברתיים וכלכליים לבניינים על בסיס החלק היחסי של שטח הרצפה שלהם בכלל שטח הרצפה באיזור (עבור תיאור מפורט של השיטה ראו Lichter and Felsenstein, 2012). המשתנים שלהם ניתנו ערכים בשיטה זו מצויינים בלוח 1.

אנו מדמים שני תרחישים, תרחיש ללא התערבות (כל משתני ההתערבות לא מופעלים) ותרחיש התערבות מלאה (כל המשתנים מופעלים). התרחיש ללא ההתערבות משמש כמצב הבסיס (baseline) על פיו הצלחת המדיניות מוערכת. מאחר והסימולציה יוצרת עומס חישובי גדול, הרצנו כל תרחיש 35 פעמים<sup>2</sup>, כאשר כל הרצה כוללת 1000 איטרציות (1000 ימים). עבור כל הרצה, רעידת האדמה התרחשה ביום החמישי<sup>2</sup> במיקום רנדומלי, בכדי לאפיין השפעות שאינן תלויות במיקום. התוצאות להלן מתייחסות לממוצע עבור כל תרחיש.

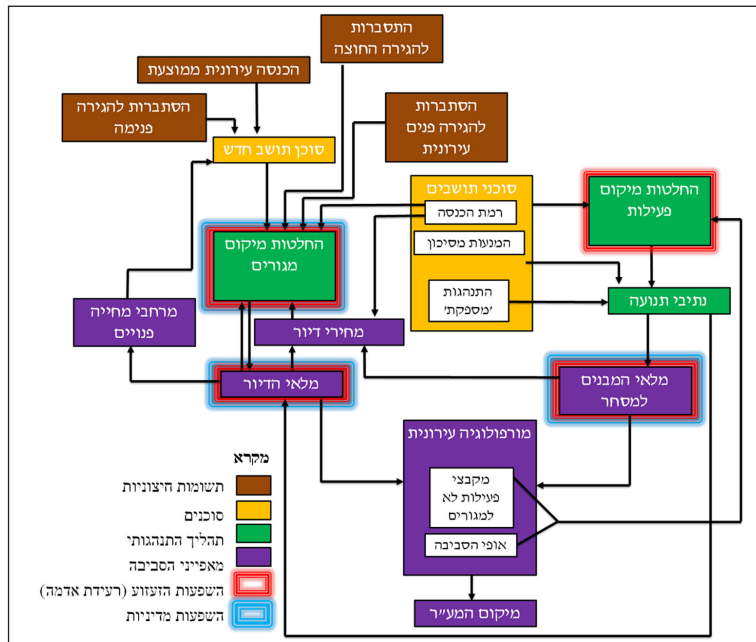
### תוצאות

כפי שצויין קודם לכן, תושבים הם הכח העיקרי המניע את הדינמיקות העירוניות במודל, ע"י תנועה, אכלוס מבנים והשפעה על שימושי קרקע שונים. בהתאם לכך, המטרה העיקרית של מדיניות המקלט היא לשמר את גודל האוכלוסייה המקורי בכדי למתן את הפגיעה בפעילות הכלכלית ולסייע למלאי המגורים להשתקם במהרה. לכן, המדד הראשון שנבדק מתייחס לשינוי בגודל האוכלוסייה (איור 4). יישום מדיניות ההתערבות מאפשר לעיר לחזור לרמות הדומות לרמות שנצפו לפני הרעידה בתוך שנה, אך אי יישום המדיניות מראה תמונה דומה ואף מפגין חזרה לרמת שיווי משקל גבוהה במעט. בטווח הארוך, לעומת זאת, שני התרחישים מתכנסים לכיוון דפוס של דעיכה, כפי הנראה בשל התאוששות איטית מדי של מלאי המגורים והעלייה במחירי הדיור הנובעת מכך.

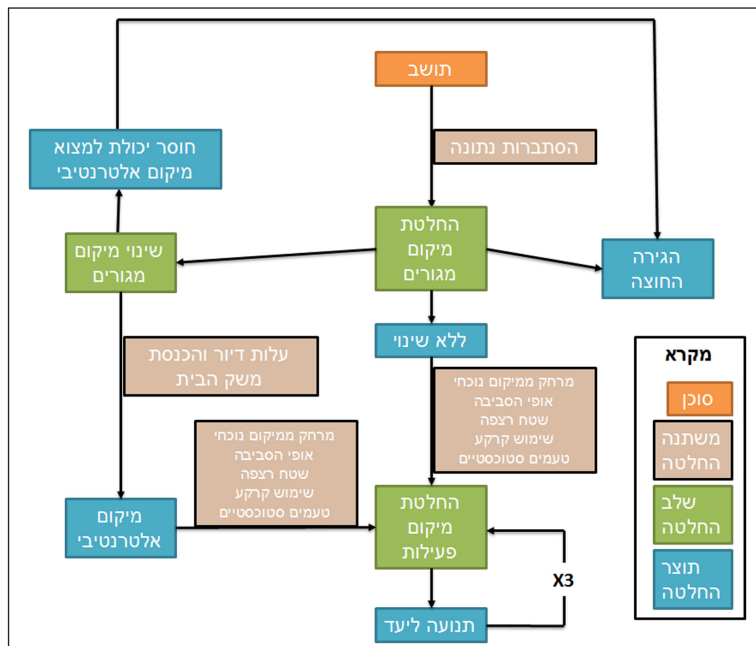
הדפוס הכללי של שינוי באוכלוסייה לא מאפשר לקבל מושג על השינוי המרחבי ברמת המיקרו ועל הדרך בה ההשפעה המצטברת של התנהגות הסוכנים יכולה להוביל לשינוי במבנה העירוני. ההשפעה של שינוי שכזה נראה באיורים 5 ו-6 ובלוח 2. בנוגע לשינוי במערכת שימושי הקרקע, מעבר למספר מבנים גדולים לא למגורים אשר הנם פגיעים, יישום המדיניות מייצב את מערכת שימושי הקרקע על ידי ויסות השינוי וסיוע לאוכלוסייה. בניגוד לכך, התרחיש ללא ההתערבות מציג תמונה שבה הפעילות המסחרית הנה פגיעה הרבה יותר ומלאי המגורים אינו יציב ונתון יותר לשינויים, כפי שנראה בתדירות הגבוהה שבה בניינים מחליפים את שימושם (איור 5).

השוני בין שני התרחישים הינו יותר מהותי מאשר רק ערעור היציבות, כפי שנראה בשינויים בגודל מלאי המבנים לדיור ומסחר ובערכו (איור 6). בעוד תרחיש המדיניות מציג ערכים גבוהים של המדדים עבור מלאי המבנים לא

..... גרינברגר ופלזנשטיין: חזרה לשגרה או שגרה חדשה? סימולציה של עמידות עירונית



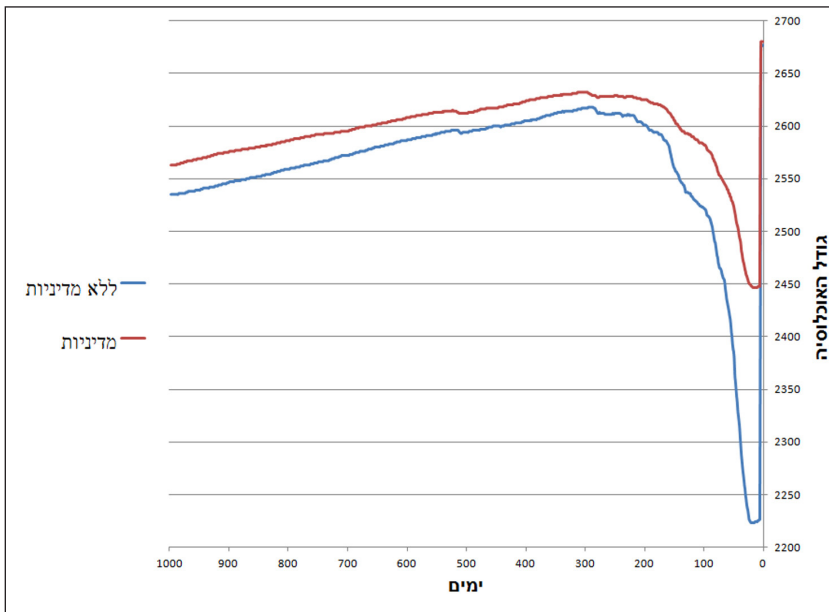
**איור 1:** המשגה של דינמיקות עירוניות לאחר רעידת אדמה והתערבות מדינית



**איור 2:** תהליך התנהגותי של סוכן (agent) במהלך איטרציה אחת

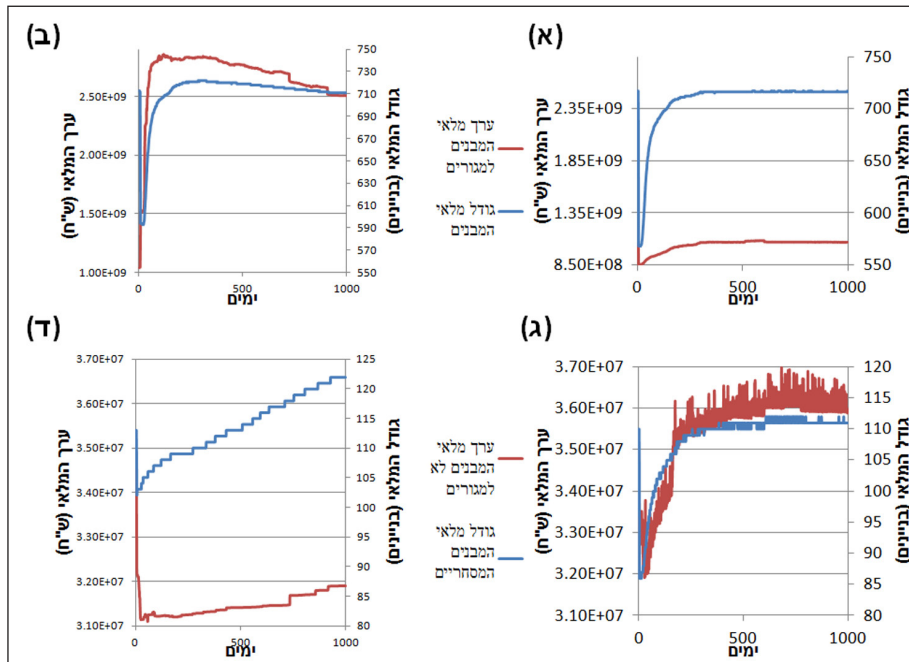


איור 3: איזור המחקר

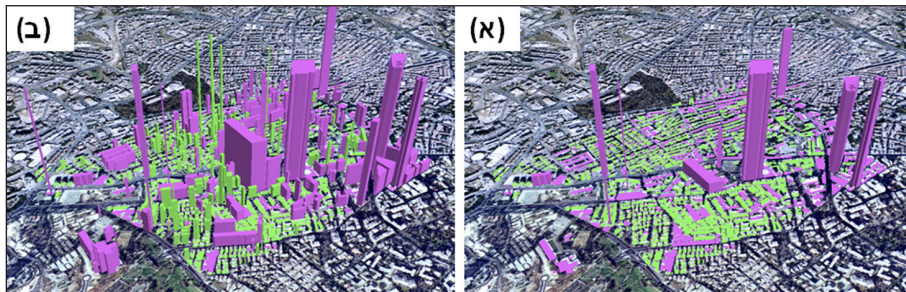


איור 4: שינוי באוכלוסיה לאורך זמן, לפי תרחיש

..... גרינברגר ופלזנשטיין: חזרה לשגרה או שגרה חדשה? סימולציה של עמידות עירונית



**איור 5:** שינוי בגודל ובערך מלאי המבנים לאורך זמן עבור: מלאי המגורים בתרחיש המדיניות (א) ובתרחיש ללא התערבות (ב) ומלאי המבנים לא למגורים בתרחיש המדיניות (ג) ובתרחיש ללא התערבות (ד)



**איור 6:** תדירות שינוי שימוש הקרקע עבור תרחיש המדיניות (א) והתרחיש ללא מדיניות (ב) צבע מסמל שימוש תחילי (ירוק למגורים וסגול אחרת) וגובה מציין את מספר ההרצות בהן השימוש הסופי היה שונה

למגורים ורמות נמוכות עבור המבנים למגורים, בשל היעדר ביקוש ורמת אספקת שירותים נמוכה, התרחיש ללא המדיניות מציג את התמונה הפוכה, כאשר עלייה הדרגתית ואיטית בגודל המלאי של מבנים לא למגורים מלווה בירידה בערך הכולל של המלאי. כאשר בוחנים זאת בהקשר של ערכים ממוצעים, התוצאות מצביעות על ירידה בערך הממוצע של מבנים לא למגורים ועלייה בערכי מבנים למגורים בתרחיש שבו לא מופעלת מדיניות. כיוון ששטח רצפה הוא אחד המשתנים המשפיעים ביותר בעת חישוב הערך של בניין, ממצא זה הינו מקביל לאבחנה שהגודל הממוצע של מבנה לא למגורים יורד בעוד מבנים למגורים הופכים בממוצע לגדולים יותר. ניתן לפרש זאת כתנועה של העיר לכיוון התייצבות במצב שגרה חדש שבו שימושים מסחריים גדולים לא יכולים להתקיים והופכים לבנייני מגורים, בעוד שימושי מגורים קטנים מנצלים את ההזדמנות ומסבים את ייעודם למסחר.

שינויים אלו מייצגים את השינוי בהתנהגות הסוכנים. שינויים באופי של שוק הדיור ופעילות המסחר מונעים משינוי במערך עומסי התנועה. סוכנים המגיבים לשוק משנים את דפוסי התנועה שלהם וכך משנים את נפחי התנועה בכל רחבי האיזור, וכפועל יוצא מכך משפיעים על היכולת של שימושים מסחריים גדולים לקיים את עצמם. דבר זה מוביל לדפוס חדש של שימושי קרקע במסגרת התהליך של חידוש המרקם העירוני: בהערכות לאחר רעידת האדמה חנויות קטנות מחליפות את השימושים המסחריים הגדולים בעוד שבת דירות מחליפים בתים חד-משפחתיים במגזר המגורים<sup>3</sup>.

מעבר לשינוי בצורה ובדפוס, ניתן גם לבחון האם רעידת האדמה מעוררת שינוי בתפקוד העירוני. הסממן העיקרי לכך הוא ביכולת של עוצמת הזעזוע להביא לתזוזה של מיקום המע"ר, ובכך להביא לשינוי של מרכז הכובד העירוני. התנועה הזו מהווה גם היא אינדיקציה לעמידות עירונית. מידת החיוניות והחשיבות של המע"ר נמדדת כחלק של שטח הרצפה לא למגורים של המע"ר מתוך סך שטח הרצפה בעיר. מיקום המע"ר מזוהה כמיקום הבניין שממוצע שטחי המסחר לבניין ברדיוס קבוע (250 מ') סביבו הינו הגדול ביותר<sup>4</sup>. שינוי בזוהות הבניין הנ"ל מציין פיזור של הפעילות המסחרית ותזוזה של מרכז הכובד העירוני. לוח 2 מראה שבעוד המערכת העירונית עשויה להציג כיוון התפתחות חדש, שינוי שכזה הינו נדיר והפונקציונליות של המע"ר אינה משתנה בקלות (תזוזה מקסימלית של 20 מטר בממוצע). התנועה של המע"ר יכולה להתרחש כתוצאה של אובדן פעילות מסחרית או בשל נדידה של פונקציות מסחריות שונות למוקד אחר. העלייה של מדד של נפח שטח הרצפה באזור המע"ר בהעדר יישום מדיניות מצביעה על תזוזה, בעוד שבתרחיש המדיניות נחוות ירידה המצביעה על אובדן פעילות והחלשות המע"ר כחלק מהפגיעה הכללית בפעילות הכלכלית בעיר. אי לכך, רק בתרחיש ללא המדיניות ישנה עדות לתנועה ממשית של שינוי מרכז הכובד העירוני.

לבסוף, אנו מנסים לבחון את האופי של העמידות העירונית. האם העיר מתייצבת באותו שיווי משקל או שמא נוצר מצב בו המערך העירוני מייצג שגרה חדשה, אחת מני רבות אפשריות? הממצאים עד כה אינם חד משמעיים ומייצגים דפוסים שונים, ובנוסף מייצגים תמונה רגעית בלבד של המצב הסופי ולא נוגעים ליציבות וקביעות של השינוי. בכדי לבדוק את מידת העמידות של העיר אנו בוחנים מדדי שיווי משקל שונים (לוח 3). אלו מעריכים את היכולת לחזור לשגרה, ע"י חזרה לערכים שנצפו בטרם התרחשה רעידת האדמה,

גריןברגר ופלזנשטיין : חזרה לשגרה או שגרה חדשה? סימולציה של עמידות עירונית

וכן את היכולת להתייצב בשגרה חדשה ע"י הצגת שיווי משקל חדש. מצב זה מוגדר כשימור ערכים דומים של המשתנה לאורך 50 ימי הסימולציה האחרונים של ההרצה לפחות.

לוח 2: השפעות על המע"ר, לפי תרחיש

תרחיש	מצב	מס' הרצות	ממוצע שטח רצפה לא למגורים סביב המע"ר (מ"ר)	סך שטח רצפה לא למגורים באיזור (מ"ר)	תזוזות המע"ר (מטר)
	מצב תחילי	35	4,575.97	924,279.59	0.00
ללא מדיניות	מצב סופי ממוצע – כל ההרצות	35	3,217.63	722,116.30	20.38
	מצב סופי ממוצע – תזוזות מע"ר	4	3,421.54	726,528.41	178.33
	מצב סופי ממוצע – ללא תזוזות מע"ר	31	3,191.32	721,547.00	0.00
מדיניות	מצב סופי ממוצע – כל ההרצות	35	3,940.65	804,589.79	5.10
	מצב סופי ממוצע – תזוזות מע"ר	1	3,301.20	779,024.24	178.33
	מצב סופי ממוצע – ללא תזוזות מע"ר	34	3,959.45	805,341.72	0.00

מדדים אלו מוצגים בלוח 3. הם חושפים את השונות העיקרית בין שני התרחישים ומייצגים את מה שניתן לראות כממצא החשוב ביותר של העבודה הנוכחית. התפקיד של מדיניות, כפי שעוצב כאן, הוא לכפות על העיר חזרה למצב שהיה קיים בטרם הרעידה. במילים אחרות, המדיניות מיועדת לעודד 'חזרה לשגרה'. הצלחה בהתאם לכך תגולם במהירות ובתדירות שבה ערכי טרום האסון מושגים. מדדי שיווי המשקל הנראים בלוח 3 מצביעים עם זאת על כך שההתאוששות אינה יציבה כלל. פרט ליוצא מן הכלל של גודל האוכלוסייה, שיווי משקל מושג לעיתים נדירות, כאשר התדירות הגבוהה ביותר היא 9 פעמים מתוך 35 (25.7%) במקרה של ההשפעה של מדיניות על הערך הממוצע של מבנים למגורים. גם כאשר שיווי משקל מושג, הוא מופיע בהפרש גדול לאחר המדידה של ערכים קודמים, כאשר ההפרש המינימלי הינו 670 ימים. התרחיש ללא מדיניות מציג את התמונה ההפוכה. בעוד חזרה לשגרה נצפת רק באופן נדיר, כאשר שלושה מדדים מגיעים למצב זה פעם אחת או פחות, התייצבות סביב מצב של 'שגרה חדשה' מתרחשת בתדירות רבה יותר ודורשת משך זמן קצר יותר, כאשר התדירות המינימלית היא 20 פעמים (57.1%).

ממצאים אלו מצביעים על כך שלעיר ישנה נטייה מובנת מבוססת-שוק להתאושש למצב חדש ושגרה חדשה. צעדי מדיניות הנקבעים מתוך כוונות טובות תוך התמקדות בניסיון לשנות את הנתב הזה ולקדם חזרה למצב

העירוני בטרם האסון עלולים באופן אירוני לפגוע בעמידות העירונית. המסר למדיניות מתוצאות אלו הוא שמרשמי מדיניות גנריים המתאימים לכל מקום ולכל עיר ('one size fits all') אינם בהכרח אפשריים. הניסיון לכפות על העיר נתיב התאוששות מסויים עלול לעכב את תהליך ההתחדשות שלה. בעת יישום המדיניות יש לנסות ולהימנע משימוש ב'מתכונים' לעמידות, אלא יש להתמקד במאפיינים היחודיים של העיר, באופי הפגיעה ובכיווני הצמיחה האפשריים הנובעים מהם.

לוח 3: מדדי שיווי משקל, לפי תרחיש

מדיניות				ללא מדיניות				תרחיש
משך עד להתייצבות	תדירות התייצבות בשיווי משקל	משך ממוצע לחזרה	תדירות חזרה לערך קודם	משך עד להתייצבות	תדירות התייצבות בשיווי משקל	משך ממוצע לחזרה	תדירות חזרה לערך קודם	מדד
860	35/35	-	0/35	858	35/35	-	0/35	אוכלוסיה
916	8/35	246	33/35	835	20/35	-	0/35	סך ערך מבנים למגורים
918	9/35	54	33/35	843	22/35	-	0/35	ערך מבנה מגורים ממוצע
937	2/35	122	31/35	324	35/35	12	1/35	סך ערך מבנים לא למגורים
940	1/35	40	24/35	819	32/35	145	22/35	ערך מבנה לא למגורים ממוצע

### סיכום

מיקוד מדיניות היא משימה קשה להשגה אפילו בזמנים טובים (Hansen, 1989). המצב נהיה מורכב יותר כאשר מדיניות משמשת לניתוב ההתפתחות העירונית לאחר אסון. משמעות יחסי התלות המרחבית המורכבים בין סוכנים ושווקים היא שההשפעות של התערבות ממוקדת עלולות להתגלות במקומות ובאופנים שלא תואמים את הכוונה הראשונית, ולעיתים אף לעורר ללא כוונה סיבוב פגיעה משני מיאסון ההתאוששות (Tierney, 2009). עם זאת, אין בכך בכדי להגיד שאין טעם לשימוש במדיניות. המאמר הנוכחי, בניסיונו להעריך את היחסים בין מדיניות ועמידות (המגולמת ביכולת של עיר להתאושש), מציג מסר פשוט, אך חשוב, הגורס כי ערים אינן ישויות חסרות ישע בעת אסון. התוצאות מהדמיות שביצענו, כגון ההשפעות על המע"ר, שינויים לשימושי



קרקע ולערכי מבנים, ומידת ההתייצבות בשיווי משקל, מצביעים על כך שערים מכילות בתוכן מנגנון ארגון עצמי שמקדם עמידות והופך את היכולת להתאוששות עצמית למאפיין נתון של העיר. מנגנון זה אינו מכוון בהכרח את העיר בחזרה למבנה שאפיין אותה בטרם הזעזוע. כפי שהזגמנו, זעזוע יכול לגרום להיווצרות שגרה חדשה שבה מערך השימושים המסחריים מתפזר. עם זאת, קשה לגזור מתוצאות אלו משמעויות אופרטיביות ישירות לתכנון, שכן ההדמיות מבוססות על אוסף של הנחות התנהגותיות, פשטניות בחלקן, ועל השפעות מקריות על ההתנהגות. בעוד האגרזציה של הדמיות מאפשרת להתגבר על המכשול שמציב האלמנט הסטוכסטי במודל, השימוש בהנחות רבות חוטא לניסיון לתאר את התנהלות המערכת באופן מלא. בהקשר זה ניתן לחשוב על האלמנט הסטוכסטי בתור ביטוי של תנאים שאינם נלקחים בחשבון בסימולציה הנוכחית, ולכן הסתכלות רחבה ואגרזטיבית ממתנת את הקושי הטמון בהנחות ההתנהגותיות. לאור זאת, אמנם לא ניתן לגזור מההדמיות משמעויות מיידיות לתכנון, ברם אנו מאמינים שהמסר הרחב שהן מציגות הינו בעל תוקף ומשמעות.

במונחים של תכנון עירוני וניהול ההשלכות הנן ברורות. כמו שהמצב הקודם אינו בהכרח המצב הטוב ביותר לעיר, כך גם המצב החדש שסביבו היא מתארגנת אינו אופטימלי בוודאות. על קובעי מדיניות ומקבלי החלטות להיות מודעים למסלולי ההתאוששות השונים והמצבים העתידיים האפשריים של העיר ולרתום את מנגנון הארגון העצמי המקדם התאוששות למאמציהם. אי לכך, החלטות מדיניות לא צריכות להיעשות מתוך תגובה לצרכים מידיים. את ההתערבות יש לתכנן בצורה זהירה וייחודית להקשר. במובן הזה, קידום העמידות של ערים הוא תהליך עתיר מחשבה של ניתוח והבנת הדינמיקות העירוניות ועיצוב תהליך התאוששות מותאם אליהן.

## הערות

1. המספר השרירותי למדי הזה נבחר בכדי לאזן בין הדרישות החישוביות ומשכי ההרצה לבין ההתכנסות של התוצאות.
2. התקופה הראשונית של 5 ימים הוגדרה בכדי לאפשר למנגנונים שאינם קשורים לרעידת האדמה להתגיע להרצה מלאה בטרם הרעידה מתרחשת.
3. ביסוס אמפירי אנקדוטלי של נטייה זו יכול להמצא בדיווחים תקשורתיים המתארים את התנהגות תושבי שדרות בזמן ולאחר התקפות טילים. ראו לדוגמה: "הקניונים ריקים והצרכנים קונים מזון ליד הבית", [www.ynet.co.il](http://www.ynet.co.il), 18.11.2012.
4. כאשר  $FS(b)$  הוא ממוצע שטחי המסחר במרחק 250 מ' מהבניין  $b$ ,  $FS(i)$  הוא שטח הרצפה של בניין  $i$ ,  $n$  הוא מספר הבניינים במרחק 250 מ' מבניין  $b$ .



## מקורות

- Adger, WN (2000) Social and Ecological Resilience: Are They Related? *Progress in Human Geography* 24(3): 247–364.
- Brakman S, Garretsen H and Schramm M (2004) The Strategic Bombing of German Cities During World War II and its Impact on City Growth. *Journal of Economic Geography* 4(2): 201-218.
- Cameron L and Shah M (2013) *Risk-taking behavior in the wake of natural disasters* (No. w19534). National Bureau of Economic Research.
- Chamlee-Wright E, and Rothschild D (2007) *Disastrous Uncertainty: How Government Disaster Policy Undermines Community Rebound*, Mercatus Policy Series, Policy Comment no. 9, Mercatus Center, George Mason University, VA.
- Chang SE (2010) Urban disaster recovery: a measurement framework and its application to the 1995 Kobe earthquake. *Disasters* 34(2): 303–327.
- Chang S.E and Rose AZ (2012) Towards a Theory of Economic Recovery from a Disaster. *International Journal of Mass Emergencies and Disasters* 32(2): 171-181.
- Chen X, Meaker JW and Zhan FB (2006) Agent-based modeling and analysis of hurricane evacuation procedures for the Florida Keys. *Natural Hazards* 38: 321–338.
- Chen X and Zhan FB (2008) Agent-based modeling and simulation of urban evacuation: Relative effectiveness of simultaneous and staged evacuation strategies. *Journal of the Operational Research Society* 59: 25–33.
- Crooks AT and Castle CJ (2012) The integration of agent-based modeling and geographical information for geospatial simulation. In *Agent-Based Models of Geographical Systems* (Heppenstall AJ, Crooks AT, See LM and Batty M (eds)). Springer, Netherlands, pp. 219-251.
- Crooks AT and Wise S (2013) GIOS and Agent Based Models for Humanitarian Assistance. *Computers Environment and Urban Systems* 41: 100-111.
- Davis DR and Weinstein DE (2002) Bones, Bombs and Break Points: The Geography of Economic Activity. *American Economic Review* 92 (5): 1269-1289.
- Davoudi S (2012) Resilience: A Bridging Concept or a Dead End? *Planning Theory & Practice* 13(2): 299–307.
- Fiedrich F and Burghardt P (2007) Agent-based systems for disaster management. *Communications of the ACM* 50(3): 41-42.

Hansen SB (1989) Targeting in Economic Development: Comparative State Perspectives. *Publius* 19(2): 47-62.

Holling, CS (1996) Engineering resilience versus ecological resilience. In *Engineering Within Ecological Constraints* (Schulze PC (ed.)). National Academy Press, Washington DC, pp. 31-44.

Lichter M and Felsenstein D (2012) Assessing the Costs of Sea Level Rise and Extreme Flooding at the Local Level; A GIS-Based Approach. *Ocean and Coastal Management* 59: 47-62.

Martin R (2012) Regional Economic Resilience, Hysteresis and Recessionary Shocks. *Journal of Economic Geography* 12(1): 1-32.

Olshansky RB, Hopkins LD and Johnson L (2012) Disaster and Recovery: Processes Compressed in Time. *Natural Hazards Review* 13(3): 173-178.

Peppe R and Wang M (2011) An agent-based model for risk-based flood incident Management , *Natural Hazards* 59:167-189

Quarantelli, EL (1996) The Future is Not the Past Repeated: Projecting Disasters in the 21<sup>st</sup> Century from Current Trends. *Journal of Contingencies and Crisis Management* 4(4): 228-240.

Salamon A, Katz O and Crouvi O (2010) Zones of Required Investigation for Earthquake-Related Hazards in Jerusalem. *Natural Hazards* 53(2): 375-406.

Simon H (1952) A Behavioral Model of Rational Choice. *Quarterly Journal of Economics* 69(1): 99-118.

Tierney K (2008). Hurricane in New Orleans? Who Knew? Anticipating Katrina and Its Devastation. *Sociological Inquiry* 78(2): 179-183.

UNISDR (2012) *How to Make Cities More Resilient- A Handbook for Local Government Leaders*, United Nations Office for Disaster Reduction, Geneva.

Vale LJ and Campanella TJ (2005) *The Resilient City: How Modern Cities Recover from Disaster*. Oxford University Press, NY.

Wamsler C (2004) Managing Urban Risk: Perceptions of Housing and Planning as a Tool for Reducing Disaster Risk. *Global Built Environmental Review* 4(2): 11-28

Wilson A.G (1970) *Entropy in Urban and Regional Modelling*, Pion, London.

Williams S (2008). Rethinking the Nature of Disaster: From Failed Instruments of Learning to a Post-Social Understanding. *Social Forces* 87(2): 1115-1138.

Zolli A and Healy AM (2012) *Resilience: Why Things Bounce Back*. Free Press, NY