



המעבדה להדמיה סביבתית בשירות התחבורה

רן גולדבלט, ד"ר קרל מרטנס (בשם צוות המעבדה להדמיה סביבתית)*

תקציר

עריכת תחזיות לגבי צרכי תחבורה עתידיים איננה מטלה פשוטה כלל ועיקר. הרשויות השונות מגבשות מדיניות תחבורתית חדשה ונוקקות למתודולוגיות תכנון חדשות; יעדי המדיניות החדשים והשאפתניים מחייבים ניתוח ופתרונות בקנה מידה מרחבי מפורט יותר מזה שכלי המידול המסורתיים מסוגלים לספק, והתנהגותם של המשתמשים במערכות התחבורה היא בלתי צפויה. לאור השינויים הללו, יעילותם של כלי המידול המסורתיים הולכת ופוחתת. טכניקות המידול וההדמיה החדשניות שהמעבדה להדמיה סביבתית באוניברסיטת תל אביב מפתחת עשויות לשמש כלי מרכזי בתכנון תחבורתי בישראל בשנים הקרובות. מאמר זה מציג את העקרונות שעל פיהם פועלת המעבדה להדמיה סביבתית, את כלי המידול, ההדמיה והמציאות המדומה שהמעבדה מפתחת ואת תחומי המחקר שבהם היא עוסקת. המאמר גם מפרט את הדרכים שבהן כלי המידול שפיתחה המעבדה מסייעים ועשויים לסייע בעתיד בתחום התחבורה.

מבוא

המעבדה להדמיה סביבתית (Eslab – Environmental Simulation Laboratory) מיסודה של קרן צ'ארלס רבסון, הוקמה בראשית שנת 2001 במסגרת ביה"ס ללימודי הסביבה על-שם פורטר, אשר באוניברסיטת תל-אביב. בראש המעבדה עומד פרופ' יובל פורטוגלי. שני יעדים מרכזיים עמדו לנגד עיני מקימי המעבדה ומלווים אותה עד היום: הראשון, הקמת מעבדת מחקר מתוחכמת שתעשה שימוש בטכנולוגיות ההדמיה החדשות ביותר ובמודלים המתוחכמים הידועים כיום, והשני – יצירת גוף מחקרי שייקח חלק פעיל בשיח הסביבתי בישראל ובפעולות סביבתיות שונות המתקיימות, והצפויות להתקיים, במדינה. השילוב שבין שני יעדים אלה מהווה את ייחודה של המעבדה; מעבדת הדמיה סביבתית העוסקת במחקר בסיסי ויישומי, ובה בעת ממלאת תפקיד פעיל בקהילה הסביבתית והתכנונית של מדינת ישראל.

ערים בארגון עצמי

בכדי להבין את העקרונות העומדים מאחורי המחקרים הנעשים במעבדה, יש להבין תחילה את הרציונל שעמד מאחורי הקמתה. הטענה המרכזית היא כי העיר היא מערכת מורכבת בארגון עצמי. מערכת היא "פתוחה" כאשר היא נמצאת בקשרי גומלין מתמידים עם סביבתה, והיא "מורכבת" כאשר מספר חלקיה הוא כה רב, משתנה ובלתי קבוע, עד שאין דרך לכונן יחסים סיבתיים ביניהם². דוגמה מתאימה למערכת

בארגון עצמי, היא העיר: העיר יכולה להתקיים כל עוד היא משמשת מרכז לזרם נכנס של מזון, דלק וכו', ושולחת החוצה מוצרים ופסולת³. בו בזמן, העיר היא גם מערכת מורכבת, בה משחקים תפקיד משתתפים רבים (התושבים, גופי התכנון, סוחרים, וכד'). אולם אף אחד ממשתתפים אלה אינו שולט באופן מוחלט על פעולתה של העיר. משום כך גורס פורטוגלי כי העיר למעשה מארגנת את עצמה וכזו היא מאופיינת בתופעות של כאוס ויחסים לא לינאריים⁴.

זאת ועוד – העיר היא תוצר יחסי הגומלין והסינרגטיקה של אין סוף המרכיבים והשחקנים שבה, ולכן, על-פי גישתו הסינרגטית של האקן לארגון עצמי⁵ עלינו להתמקד בבחינת ההתנהגות המורפולוגית הכוללת או הגלובאלית של העיר. ניתן לכנות את הדינמיקה המתרחשת בעיר כ-Synergetic Inter-Representation Network (SIRN): השפעה דואלית והדדית בין הייצוגים הפנימיים במוחם של "השחקנים" בעיר והאופן בו הם רואים ותופסים את העיר, לבין העיר עצמה – כייצוג חיצוני ותוצר של התנהגותם של "שחקנים" אלה⁶.

תיאורית ה-SIRN רלוונטית ביותר לנושא התכנון התחבורתי. כמו כל "שחקן" אחר בעיר, גם המשתמשים ברשתות התחבורה העירוניות יוצרים במוחם ייצוג פנימי של רשתות תחבורה אלה. לכל משתמש ייצוג שונה של רשתות התחבורה – ייצוג המשתנה בהתאם לידע שיש לו לגבי רשתות אלה והתנסויותיו היום-יומיות בהן. ייצוג זה ישפיע על תהליך קבלת ההחלטות של המשתמש: באילו אמצעי תחבורה ישתמש, באיזה מסלול ינוע, מה יהיה משך הנסיעה ואף מה יהיה יעד הנסיעה שלו. כל אלה ביחד עשויים לעצב בסופו של דבר את הרשתות התחבורתיות בעיר. לדוגמה, העדר מודעות למערכות תחבורה ציבוריות ו/או ניסיון מר מהשימוש בהן, עלולים לעצב את הדימוי הפנימי של קבוצת משתמשים ברשתות התחבורה העירוניות כך, שמשתמשים אלה לא יראו בתחבורה הציבורית אפילו אופציה לאמצעי תחבורה. אם קבוצה זו היא גדולה, הרי שהדבר יוביל לאחוז משתמשים גבוה ברכבים פרטיים – ומכאן, לפקקי תנועה ובעיות חניה באזורים מסוימים בעיר. כל זאת כאשר קיימת עבור חלק מהמשתמשים אופציה אטרקטיבית לשימוש בתחבורה הציבורית.

תיאוריית ה-SIRN מציעה אם כן, גישה שונה בבסיסה לבחינת נושאי תחבורה ותכנון. המשתנים התחבורתיים האובייקטיביים – כמו זמני נסיעה, נוחות, מחיר – אינם בהכרח אלה שיקבעו את מאפייני רשתות התחבורה העירוניות, אלא הייצוג הפנימי של רשתות התחבורה ושל העיר כפי שמצויים במוחם של התושבים – הם אשר ישפיעו.

על-פי הגישה הקלאסית, שיפורים במערכות התחבורה עשויים לגרום באופן אוטומטי לשינוי במשתנים התחבורתיים שצוינו לעיל (כמו החלטה לגבי שימוש באמצעי התחבורה השונים, בחירת מסלול הנסיעה וכו'). מנגד, על-פי תיאוריית ה-SIRN, לשינויים במשתנים אלה תהיה השפעה רק אם אלה יאכזרו את הייצוג הפנימי של רשתות התחבורה אצל המשתמשים. ברור, כי לא כל שיפור במערכות התחבורה יוביל לשינוי שכזה.

* הפרוייקטים שעליהם מתבסס מאמר זה בוצעו על-ידי: פרופ' יובל פורטוגלי, ד"ר יצחק בנסון, ד"ר יצחק אומר (חברי הסגל האקדמי של האוניברסיטה); ד"ר רבקה פבריקנט, ד"ר קרל מרטנס, ד"ר הרנן קסקין (עמיתי מחקר); סלבה בירפיר, רן גולדבלט, ארוז חטנה, וולד חרבש, טליה מרגלית, חני מונקזיטלסון, גיא ניזרי, אודי אור, אמיר פורת, אסף רוז, קארין טלמור, מיכאל וינוגרד (תלמידי מחקר ומתכנתים).



הצגת מידע לגבי העיר האמיתית – דבר היכול לשפר את התקשורת והחלפת המידע בין אנשי המקצוע (כמו הארכיטקטים ומתכנני התחבורה) לבין מומחים אחרים והציבור הרחב.

המחקר והפיתוח של המודלים ושל ערים וירטואליות אלה נעשה באמצעות שלושה כלי הדמיה מרכזיים:

1. מערכות ממי"ג – GIS (Geographical Information System).
2. מספר מודלים דו-ממדיים ותלת-ממדיים של סימולציה (SiMod).
3. שתי מערכות סימולציה של מציאות מדומה (VR): Skyline, TerraExplorer ו-MultiGen Paradigm (כפי שיתוארו בהמשך).



איור 1: כלי ההדמיה בהם נעשה שימוש במחקר ובפיתוח של המודלים ושל הערים הוירטואליות.

ייחודה של המעבדה הוא בשילוב ובאינטגרציה שבין שלושת מרכיבים אלה. אנו מפתחים ממשקים שיאפשרו "שפה משותפת" בין שלוש המערכות בכדי להעביר אינפורמציה ביניהן וכך ליצור כלים מתקדמים לויזואליזציה של התופעות השונות. אנו מסוגלים, לדוגמה, להציג באמצעות מערכות ה-GIS מידע לציבור תוך שילוב בסביבות הוירטואליות התלת-ממדיות, ולהציג באותן הסביבות את התפתחות הדינמיקה העירונית כפי שנחוז במודלי הסימולציה.



איור 2: מודל תלת ממדי, מבוסס ממי"ג, של העיר תל-אביב. יושם באמצעות תוכנת ההדמיה MultiGen Paradigm.

מחקר בסיסי

המעבדה להדמיה סביבתית עושה שימוש בשלושת כלים אלה (מודלים של סימולציה, GIS והמציאות המדומה) הן עבור מחקר בסיסי והן עבור מחקר מעשי.

מאז הקמתה, שוקדת המעבדה על פיתוחם של כמה מודלים להדמיה

מודלים חדשים לזמנים חדשים

גם תיאוריית הארגון העצמי וגם תיאוריית ה-SIRN מייחסות חשיבות לתהליכים שבאים למטה למעלה (Bottom-up) – וזאת בניגוד לתהליכי תכנון שמאופיינים בגישה של מלמעלה למטה (Top-down). שתי התיאוריות גורסות, כי היכולת לחזות מצבים עתידיים בעיר מוגבלת ביותר, בין השאר כתוצאה מן התהליכים המתרחשים מלמטה למעלה: מכאן, שהכלים המסורתיים ששימשו ומשמשים עד היום לתכנון העירוני עשויים להיות בלתי יעילים.

אם ערים הן באמת מערכות בארגון עצמי, נשאלת השאלה האם יש מקום למתכננים? האם ניתן לתכנן ולצפות כיצד תראה העיר בעתיד? האם התכנון יביא לתוצאות הרצויות והצפויות? פורטוגלי² טוען, כי ההתייחסות אל ערים כמערכות מורכבות מחייבת התייחסות שונה לתכנון: הבחנה בין תכנון גלובאלי (מלמעלה-למטה), באמצעות אנשי מקצוע, מתכננים, ארכיטקטים וכדו' לבין תכנון לוקאלי (מלמטה-למעלה), תכנון המתרחש באופן תמידי כתוצאה מהפעילויות היום-יומיות של התושבים). כיוון שהעיר היא מערכת פתוחה, מורכבת ובארגון עצמי, בה מתקיימות באופן תמידי אינטראקציות לא לינאריות בין מרכיביה, תמיד ישנה האפשרות כי פעולה קטנה אחת שתעשה על-ידי התושבים (באופן לוקאלי) – תיקבע את מאפייני העיר ואת אופייה באופן ניכר יותר מתכנון שיעשה על-ידי הרשויות עצמן.

מודלים של Cellular Automata (CA) ושל Agent Based Systems (ABS) משמשים לחקר מערכות סביבתיות בארגון עצמי בכלל, ולחקר התפתחות ערים – בפרט. מודלים שכאלה הם פשוטים יחסית, ומאפשרים לכל אובייקט במערכת להיות מושפע מיחסיו עם האובייקטים המצויים בשכונתו. זהו יתרונו, אבל זהו גם חסרונו, מכיוון שתהליכי ההתפתחות וההשתנות של ערים הם מורכבים בהרבה, שכן לא רק העיר כולה, אלא כל אינדיבידואל בעיר הוא מערכת בארגון עצמי בפני עצמו. כדי להתמודד עם תכונה זו נבנה מודל חדש שנקודת המוצא שלו היא העובדה שלכל אינדיבידואל בעיר יש יכולת לבנות במוחו מפה קוגניטיבית ודימוי של העיר כולה. לפי פורטוגלי⁸, הסוכנים במערכת (נניח התושבים) תופסים תחילה את העיר כמכלול, יוצרים במוחם דימוי קוגניטיבי גלובאלי, ורק אחר-כך הם מתחילים לפעול במערכת באופן לוקאלי, תוך אינטראקציה מתמדת עם שכניהם. בעוד שעד היום רוב המחקר שעסק במודלים של התפתחות ערים התייחס ל-2 ממדים בלבד, הרי שאנו מנסים להוסיף את הממד השלישי למודלים אלה: ממד הגובה. טענתנו היא כי הוספת הממד השלישי למודלים והתייחסות למרכיב חשוב זה כחלק אינטגרלי במודלים המפותחים, עשויים לאפשר הדמיה והבנה טובים יותר של התפתחות הערים. מודלים דו-ממדיים המדמים התפתחות והשתנות של "ערים מישוריות" יעילים להצגת תופעה באופן מופשט; מודלים תלת-ממדיים מאפשרים את הצגת התופעות באופן ריאליסטי ונכון יותר.

כלי המחקר שבמעבדה

המעבדה להדמיה סביבתית עושה שימוש הן ב-CA (Cellular Automata) והן ב-ABS (Agent Based Systems) בכדי לדמות תהליכים עירוניים המתרחשים בעיר. הייחוד המרכזי של המעבדה הוא בשילוב שבין שתי טכניקות הדמיה אלה עם שתי טכנולוגיות מתקדמות נוספות: GIS (ממי"ג – מערכות מידע גיאוגרפיות) ו-VR (מציאות מדומה). השילוב עם מערכות ה-GIS מאפשר לנו לעשות שימוש במידע אמיתי לגבי עיר אמיתית בקני מידה משתנים. השילוב עם כלי המציאות המדומה מאפשר לנו להוסיף למודלים את הממד השלישי, שוב, תוך התייחסות לנתונים האמיתיים לגבי הערים. זאת ועוד, החיבור בין ה-GIS והמציאות המדומה מאפשר



ידי יצחק בננסון, יצחק אומר, אודי אור וארו חתנה. המודלים מתרכזים בדינמיקה של התפלגות המגורים בעיר מבחינה חברתית. ככאלה הם עשויים לסייע בהבנת המנגנונים שבעזרתם מחליט כל סוכן בעיר היכן להתגורר, והמנגנונים היוצרים את הבידול בין אזורי מגורים שונים. משתנים אלה עשויים לכלול למשל סובלנות, תיחום שכונות מגורים ועוד, וכך לאפשר את בחינת השפעתם של גורמים חיצוניים כגון נייודות ושיעור נדידה על דפוסי הבידול המתהווים.

VRCity – השילוב של תוכנת Skyline, Multigen Paradigm, TerraExplorer וה-GIS מאפשר את בנייתן של ערים שלמות כערים וירטואליות תלת ממדיות (3D Virtual Cities). ממשק חדש הנמצא בפיתוח המעבדה בימים אלה על-ידי אסף רוז, יאפשר בעתיד למתכנני ערים או לכל גורם אחר "לגזור ולהדביק" בניינים ואלמנטים עירוניים שונים, "לטוס", "לנהוג" או "לטייל" בתוך הסביבה הוירטואלית שנוצרה, ובדרך זו לאמוד את השפעתו של הפרוייקט המתוכנן הן על הסביבה המיידית לו והן על העיר כמכלול. ממשק זה, המכונה Cut-Paste-Plan, יאפשר לכל מתכנן ערים או אדריכל לייבא מודל תלת ממדי למערכת, ולבחון את השתלבותו בסביבתו: כיצד ישפיע על הנוף הנצפה מהבנינים בסביבתו, כיצד יושפע וישפיע על סביבתו מבחינת אור שמש וצל, מהו הנוף הניתן לצפייה מכל קומה וקומה במבנה וכו'. בנוסף, ערים וירטואליות אלה מאפשרות לכל משתמש "לטוס" לכל נקודה בעיר ולקבל כל מידע שהוא על האלמנטים השונים בעיר. מידע זה מוצג באמצעות שכבות GIS ה"מונחות" על גבי העיר הוירטואלית.



איור 4:
Cut-Paste-Plan:
באמצעות ממשק זה אנו יכולים "לחתוך" בניין קיים בעיר (א'), "לשתול" במקומו בניין אחר (ב') ולבחון את השפעתו על הסביבה (ג').

PlanCity – קבוצה זו של מודלים מיישמת את המודלים השונים הקיימים ברשות המעבדה לתחום התכנון. המודלים השונים של הסימולציה מאפשרים לנו לעשות שימוש בקווי מדיניות תכנונית העוסקים ביחס שבין אובייקטים סביבתיים, ליישם בעיר הוירטואלית, ולדמות עיר המתפתחת על בסיס קווי מדיניות אלה. המטרה היא בסופו של דבר לספק למתכננים כלי באמצעותו יוכלו לבחון את ההשלכות של קווי מדיניות שונים על התפתחותה של העיר.

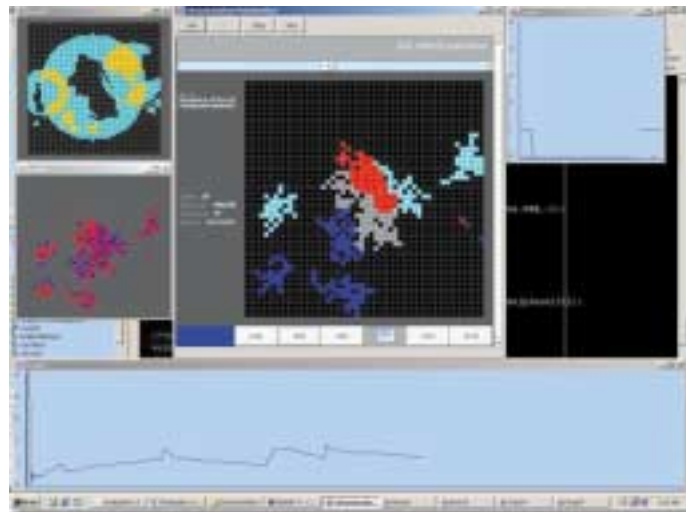
במהלך שנת 2001 נבנתה העיר תל-אביב-יפו כסביבה ממוחשבת באמצעות שתי התוכנות שברשות המעבדה: Multigen Paradigm ו-TerraExplorer Skyline. ההבדל העיקרי בין שתי התוכנות הוא שבעוד שה-TerraExplorer Skyline היא תוכנה ארכיטקטונית בעיקרה, המאפשרת בניית מודלים תלת ממדים בדרגת פירוט מקסימלית ובצורה הריאליסטית ביותר, הרי שתוכנה זו היא "כבדה" מאוד ואינה מאפשרת שימוש באמצעות רשת האינטרנט. התוכנה מיועדת, אם כן, ליצירת הדמיות ממוחשבות במעבדה או אצל המתכננים.



עירונית, הנמצאים בשלבים שונים של פיתוח. כל המודלים פותחו במסגרת של סביבה לבניית המודלים מבוססת סוכנים **OBEUS** – (Object Based Environment for Urban Simulation). סביבת OBEUS מאפשרת עיבוד בו-זמני של אובייקטים עירוניים נייחים וניידים, התייחסות ליחסים המרחביים שבין סוגים שונים של אובייקטים במרחב העירוני, ומספק כלים בעזרתם ניתן לתאר התנהגות של אובייקטים. "התנהגות" של יחידות התשתית היא כלי שינוי של מצבם – שינוי של שימוש יחידת קרקע, למשל. התנהגות של אובייקט אנושי או ארגון מתארת תהליכי קבלת החלטות ושינוי מיקומם במרחב. הסביבה מאפשרת ליצור הדמיה של השינויים שחלים באובייקטים תשתיתיים, של השינויים בדפוס הנדידה וההסתגלות של ה"סוכנים" בעיר ושל הופעתם והיעלמותם של אובייקטים מרחביים ברמות השונות של ההיררכיה העירונית. הסביבה מהווה מסגרת פיתוח למגוון מודלים מתחומים שונים כתחבורה, מגורים וכו'. אפשר להוריד את ה-OBEUS ומסמכים מלויים מ-<http://www.eslab.tau.ac.il/obeus/obeus.htm>

המודלים העיקריים המפותחים במעבדה הם:

CogCity – (Cognitive City). בעוד שרוב המודלים לסימולציה של ערים ושל סביבות מלאכותיות יוצאים מנקודת מוצא של הנחות כלכליות, חברתיות, פוליטיות או תרבותיות, הרי שמודל זה מתבסס גם על היכולות הקוגניטיביות של בני האדם. כפי שנכתב בתחילת המאמר, בני האדם מקבלים החלטות שונות, ואלה עשויות להשפיע על התפתחות המערכת (או העיר) כולה. מודל זה, הנמצא בשלבי פיתוח סופיים, לוקח בחשבון את השפעתן של היכולות הקוגניטיביות של בני האדם על המודל כולו ועל התפתחותה של העיר. הוא מסוגל להתייחס להחלטות לוקאליות הנעשות על-ידי התושבים ולחזות כיצד אלה ישפיעו על המרקם העירוני שיווצר.



איור 3: דוגמה לתוצר דינמיקה עירונית ממודל ה-CogCity.

AccessCity – למודל סימולציה זה שלושה יעדים: פיתוח מדדי נגישות שונים לאובייקטים בעיר (שטחים פתוחים, בתי ספר, צמתי תחבורה וכו'), פיתוח שיטות המחשה דו ממדיות ותלת ממדיות בעזרתן יהפוך המידע זמין לכל פרט בקהילה, והעלאת המידע לאינטרנט כמידע פתוח לציבור, כך שכל אדם בקהילה יוכל לאמוד בצורה ויזואלית את נגישותו לאובייקטים החשובים בעיר.

SocioCity – קבוצת מודלים המדמה תפרוסת מגורים אשר פותח על-









התחום השני של הקוגניציה המרחבית שבו עוסקת המעבדה להדמיה סביבתית הוא התחום של התמצאות בסביבה מדומה. הסביבות הוירטואליות שנבנו במעבדה מהוות כלי יעיל לחקירתן של טכניקות התמצאות ולמידה של סביבות וירטואליות. הנושאים העיקריים הנחקרים בתחום זה, אשר נחקרו על-ידי רן גולדבלט¹¹ ומיכאל וינוגרד, כוללים את ההבדל שבין התמצאות וניווט בסביבה וירטואלית לבין התמצאות וניווט בסביבה המציאותית, חקר אסטרטגיות ניווט בסביבות וירטואליות והיבטים של ריאליזם בערים וירטואליות תלת ממדיות (עד כמה הסביבה הוירטואלית צריכה להיות "אמיתית" ואיזה סוג של מידע נחוץ כדי שתהיה כזו). לאחרונה הסתיים במעבדה מחקר רחב היקף בסיומו נבנתה מערכת תומכת ניווט (Wayfinding Support System) שנועדה להקל על הניווט בסביבה הוירטואלית. במחקר זה לקחו חלק ד"ר יצחק אומר, רן גולדבלט, קארין טלמור, אסף רון ואודי אור¹².

המודלים שתוארו להלן מהווים את הבסיס לחלק גדול מהמחקרים היישומיים הנעשים במעבדה ומספקים את התשתית לפיתוחם של מודלים נוספים וחדשים, כמו למשל בתחום התחבורתי.

מחקר "שומי"

כאמור, המעבדה להדמיה סביבתית הוקמה כששתי מטרות מרכזיות עמדו לפנייה: האחת, כפי שתואר עד כה, יצירת מעבדה עם כלי מחקר ואפליקציות מתקדמות לשימוש במחקר בסיסי. השנייה, יצירת גוף מחקר שיהיה פעיל בשיח הסביבתי בישראל, בדיונים סביבתיים ובפעילויות סביבתיות. כחלק מהאתגר שמעמידה המטרה השנייה, נעשים במעבדה מספר מחקרים בשיתוף פעולה עם גופים חיצוניים. במסגרת שיתוף פעולה בין המעבדה לבין אגודת "אדם טבע ודין" בוצע מחקר מקיף בנושא נגישות תושבי רובע יפו בעיר תל-אביב לשטחים ציבוריים פתוחים (שצ"פים)¹³. מטרתו העיקרית של הפרוייקט, בו השתתפו ד"ר יצחק אומר וגיא ניזרי, הייתה לבחון ולהעריך, הן מבחינה כמותית והן מבחינה איכותית, את מצב השצ"פים ביפו בפועל – כלומר, שצ"פים המשמשים כגינות ופארקים ציבוריים, לעומת מצב השצ"פים המוגדרים סטטוטורית – ואשר מאושרים בתכניות בניין עיר. בדיקת מצב השטחים הפתוחים התבססה על סיורים בכל אחת מהשכונות וראיונות עם התושבים, בדיקת מסמכים תכנוניים של תכניות מאושרות ועתידיות בעירייה, ואיסוף נתונים דמוגרפיים שונים משנתונים סטטיסטיים. במקביל, פותחה שיטת חישוב עדכנית ויישומית לחישוב מדדים לבחינת מצב השצ"פים והוקם בסיס נתונים ממוחשב לתיעודם. בחינת השטחים הפתוחים נערכה על פי שני קריטריונים: פיזור הגנים והפארקים בטווח של 250 מ' מבית המגורים לגן הציבורי – כפי שחושב על פי מרחק הליכה על רשת כבישים ושבילים, וכמות השטחים הפתוחים הנמדדת במ"ר לנפש.

כל מבנה מגורים ברובע יפו נצבע בצבע שונה המתאר את נגישותם של המתגוררים במבנה לשטחים הפתוחים הסמוכים. אפליקציית ה"חיפוש" מאפשרת לכל משתמש להקיש את כתובת המגורים שלו, "לטוס" באופן וירטואלי ולהתמקד במבנה. כך יכול התושב לדעת את נגישותו לשטחים הפתוחים שמסביבו ולהעריך את מצבו. כלי זה פורס בפני כל אזרח את מצבו הסביבתי הנוכחי ביחס למצב המגיע לו על פי התקנות, ונותן לו מידע מבוסס באמצעותו יוכל בסופו של דבר לדרוש מהרשויות את המגיע לו.

במסגרת בניית הפרוייקט חולק רובע יפו לעשר שכונות. לחיצה על תווית שם השכונה מביאה לפתיחתו של דף אינטרנט המספק נתוני מידע סביבתי לגבי השכונה: מדדים סטטיסטיים דמוגרפיים, שמות



איור 5: צילום מתוך מודל הסימולציה התלת-ממדי של העיר תל-אביב. נבנה באמצעות Multigen Paradigm.

תכנת ה-Skyline TerraExplorer לעומתה, היא מבוססת אינטרנט, ומאפשרת לכל משתמש קצה (תושב, אזרח וכל משתמש באינטרנט) לעשות בה שימוש: "לטוס" ברחבי העיר באופן חופשי, או "לטוס" לכל נקודת יעד שייבחר בה (למשל לבית מגוריו על-ידי הקלדת כתובת המגורים שלו) ולצפות במידע הסביבתי. התכנה משלבת תצלום אווירי עם נתוני גובה טופוגרפי וגובהם של האלמנטים השונים במרחב – שילוב המאפשר את הוספת ממד הגובה לעיר הוירטואלית. על כל אלה אנו יכולים להוסיף שכבות מידע גיאוגרפיות שונות ממערכת ה-GIS ולאפשר קבלת מידע באופן הריאליסטי ביותר, תוך אינטראקטיביות מקסימלית של המשתמש. כיוון שה-Skyline TerraExplorer מבוססת אינטרנט, היא מאפשרת קישור לאתרי אינטרנט שונים. לדוגמה: באמצעות לחיצה על תווית שמית של שכונה, ניתן לפתוח דף אינטרנט המכיל מידע על השכונה, תמונות מהשכונה וכד', ובאמצעות לחיצה על אובייקט מסוים להיכנס לאתר אינטרנט המתאר את האובייקט.

אחת האפליקציות בהן נעשה כבר היום שימוש באתר האינטרנט של המעבדה הוא שילוב של מודל ה-AccessCity עם תכנת ה-Skyline TerraExplorer.

קוגניציה סביבתית

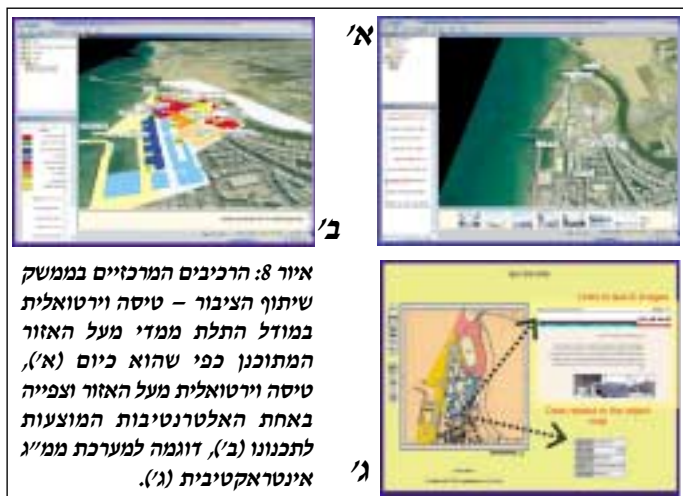
תחום מחקר נוסף במעבדה הוא תחום הקוגניציה הסביבתית. התחום של קוגניציה מרחבית עוסק בדרך שבה בני אדם לומדים את המרחב, מארגנים ומשנים את המידע שברשותם ומנצלים את המידע במרחב בפועל. אם נבין את תהליך הקוגניציה המרחבית, נוכל לשפר את תכנון הערים, את הארכיטקטורה ואת שירותי התחבורה (ראה להלן).

המחקר המתבצע במעבדה להדמיה סביבתית עוסק בשני תחומים של קוגניציה מרחבית. האחד, שבוצע על-ידי אמיר פורת, הוא התחום של התמצאות במרחבים עירוניים סגורים, כמו, למשל, קניונים, שדות תעופה, בנייני משרדים גדולים או תחנות של שירותי תחבורה ציבורית. אתרים שכאלה הולכים ומתרבים בכל רחבי העולם, ומספר האנשים המבקרים במקומות הללו, העובדים בהם והחולפים דרכם גדל בקצב מסחרר. במעבדה נחקרת הדרך שבה בני אדם תופשים את המרחבים התלת-ממדיים הללו, הדרך שבה הם מיוצגים במוחנו, והדרך שבה האדם מפתח אסטרטגיות התמצאות מתאימות. התחנה המרכזית החדשה בתל-אביב שימשה את המעבדה כמקרה בוחן לבחינת הנושא.¹⁰



איור 7: מודל סימולציה תלת ממדי (כולל שכבות מ"ג) של אוניברסיטת תל-אביב. יושם באמצעות תוכנת Skyline. המודל נמצא באתר האינטרנט של המעבדה, ומאפשר לנוע באופן וירטואלי בין המבנים השונים ולקבל מידע לכל לגבי כל מבנה ומבנה.

המתקדמים בהם נעשה שימוש. הוא מספק מידע רב ומגוון, מאפשר לכל משתמש לחוות דעה, לדון עם משתמשים אחרים לגבי הנושאים השונים, לטייל, לטוס ולבחון מקרוב את האזור. האתר מאפשר את הכרת אזור התכנון באמצעות "טיסת היכרות" מעליו, קבלת מידע היסטורי, וצפייה בסדרת מפות אינטראקטיביות בנושאים שונים הקשורים לאזור התכנון. גולת הכותרת של האתר הוא האפשרות לצפות בחלופות הפיתוח השונות באמצעות מספר מדיות: מפה דו ממדית, מודל תלת ממדי מסוג cortona vml (תוכנה מבוססת אינטרנט המאפשרת לבחון ולצפות במודלים/מבנים תלת ממדיים באופן אינטראקטיבי, למשל על-ידי הליכה בין המבנים, טיסה מעליהם, שינוי נקודת מבט ועוד.), צפייה בחלופות באמצעות ה-Skyline TerraExplorer (על-ידי מודל תלת ממדי המוצג על רקע תצלום אוויר ומאפשר טיסה מעל החלופה המוצעת, ללכת בתוכה, לבחון כיצד היא משתלבת בסביבה...), וצפייה בסרטונים שונים המתארים את החלופות. לאחר הצפייה בחלופות יכולים המשתמשים להביע את דעתם בפורום אינטרנטי המצוי באתר המעבדה והמאפשר דיון בין המשתתפים, החלפת עמדות ורעיונות, בניית סקרים ומתן אפשרות לענות עליהם, ובראש ובראשונה: מתן האפשרות לכל אורח להביע את דעתו באופן גלוי לגבי התכניות העתידיות העשויות לגעת בו באופן ישיר.



איור 8: הרכיבים המרכזיים בממשק שיתוף הציבור – טיסה וירטואלית במודל התלת ממדי מעל האזור המתוכנן כפי שהוא כיום (א'), טיסה וירטואלית מעל האזור וצפייה באחת האלטרנטיבות המוצעות לתכנונו (ב'), דוגמה למערכת מ"ג אינטראקטיבית (ג').

הגנים הציבוריים בשכונה, שטחם ותמונות הגנים. יישום זה יתרחב בעתיד הקרוב לערים נוספות בארץ (כגון ראשון לציון).



איור 6: נגישותם של מבנים ביפו לשטחים ציבוריים פתוחים (שצ"פים). יושם באמצעות תוכנת Skyline. הצבעים השונים מתארים את ערכי הנגישות לשצפ"ם (מופיעים בצבע ירוק).

שימוש נוסף שנעשה במעבדה בעזרת תכנת ה-Skyline TerraExplorer הוא בניית מודל וירטואלי של אוניברסיטת תל-אביב (שנמצא גם הוא על רשת האינטרנט באתר המעבדה). מודל זה מאפשר לכל משתמש לבקר ולטייל באופן וירטואלי בקמפוס האוניברסיטה. המודל כולל אובייקטים תלת ממדיים מדויקים של כל המבנים בקמפוס (הטקסטורות השונות של כל בניין הן מבוססות צילומי חזיתות שהודבקו על המודלים, דבר המעניק ריאליסטיות מקסימלית למודל). כל משתמש יכול "לטוס" מעל הקמפוס או "לטייל" באופן וירטואלי בין המבנים השונים. באמצעות לחיצה על מבנה מסוים, מקבל המשתמש תמונה של המבנה, ונפתח דף האינטרנט של החוג או של הפקולטה הרלוונטית. בשנה האחרונה החלה המעבדה בשיתוף פעולה עם אוניברסיטת (United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization) במסגרת פרויקט שימור אתרי מורשת עולמית. כידוע, בחרה אוניברסיטת במספר אתרים בישראל כאתרי שימור מורשת עולמית, ביניהם "העיר הלבנה" (בתי הבאהוס בתל-אביב), העיר עכו ומצדה. אנו בונים בימים אלה ממשק מבוסס אינטרנט אשר יאפשר לכל אדם בעולם לצפות במודל וירטואלי של האתרים לשימור בישראל. המודל מאפשר טיסה לאתר, צפייה בסרטון המתאר אותו, קבלת תמונות מהאתר ומידע לגבי, וקישור לאתרי אינטרנט רלוונטיים¹⁴.

מלבד פעילויות חינוכיות במטרה לחשוף את תלמידי בתי הספר לנושאים הסביבתיים ולהגביר את מודעות דור העתיד לנושאים אלה (וזאת באמצעות שיתוף פעולה עם "המועצה לישראל יפה") אנו מנסים למצוא דרכים להגיע אל הציבור ולאפשר לו לקחת חלק פעיל בתהליך קבלת ההחלטות.

בחודשים האחרונים הוקם על-ידי קארין טלמור אתר אינטרנט העוסק ב"עיתיד נמל תל-אביב ושפך הירקון"¹⁵. הרציונאל העומד מאחורי הקמתו הוא המאמצים הנעשים לאחרונה לפיתוח מחדש של אזור חצי האי הירקוני (נמל תל-אביב, גני התערוכה הישנים ושפך הירקון) במסגרתם מוצעות מספר חלופות פיתוח (תכניות) לאזור. מטרת האתר היא לבחון את השימוש באינטרנט ובאמצעים טכנולוגיים מתקדמים כדרך לשיתוף הציבור בתכנון.

האתר הוא ראשון מסוגו בארץ מבחינת מגוון האמצעים הטכנולוגיים



איור 9: צילום מתוך 'מודל החניה' הדינאמי. מודל זה מאפשר לדמות מגוון רחב של קווי מדיניות ולבחון את השלכותיהם.

מאפיינים של מקומות החניה, כמו למשל מיקום מדויק, מחיר, זמינות מקומות החניה לאחר כל איטרציה בתהליך ההדמיה, ומרחקי הליכה ממקום החניה ליעד הרלוונטי. החלק השלישי של המודל כולל נתונים לגבי היעדים עצמם: משרדים, חנויות, מסעדות וכן הלאה. בעזרת מודל החניה ניתן לדמות מגוון רחב של קווי מדיניות ולבחון את השלכותיהם. כך לדוגמה, ניתן להגדיר מחיר שונה לחניה ברחוב ולחניה שלא ברחוב, לפלח את האוכלוסייה לפי סוגי משתמשים (למשל, דיירי האזור) ולפי שעות (למשל, אחרי השעה 19:00) או להגביל את החניה ברחובות מסוימים (למשל, כדי להקל על חניית אורחים). בעזרת מודל ה-ABS ניתן לנתח ישירות את השלכותיה של כל מדיניות על התנהגותם של הנהגים, על הנגישות למקומות העסקים ועל היתרונות הפיננסיים עבור הרשות המקומית. הניתוח עוסק בכל רמות הפירוט, מרמת מגרש החניה ועד לעיר כמכלול.

לאחרונה, החלה המעבדה לעבוד על פרויקט משותף עם עיריית תל אביב-יפו, שבו ייושם מודל החניה על מרכז תל אביב. מטרת הפרויקט לאמוד את השלכותיה של מדיניות החניה הנוכחית ולבחון אפשרויות אחרות. ההשלכות שתיבחנה כוללות את זמינותם של מקומות חניה עבור קבוצות משתמשים שונות, זמני חיפוש חניה, מרחקי הליכה בין מקום החניה לבין היעד, ונגישות לרכב של יעדים אשר קיומם תלוי בתחלופת מבקרים, כגון חנויות, מסעדות ושירותים שונים. מודל החניה אינו אלא אחת הדוגמאות ליישומים האפשריים של טכניקות המידול מבוססות-הסוכן בתחום התחבורה. דוגמה נוספת שצוינה לעיל נוגעת ליחסי הגומלין שבין תכנון הכביש לבין התנהגותם של נהגים. במודלים תחבורתיים קלאסיים, קיבולת הכביש מחושבת על פי מספר הנתיבים ומהירות הנסיעה. מודלים אלו אינם לוקחים בחשבון את ההשלכות של התנהגות הנהגים, אם כי בפועל התנהגות זו משפיעה בצורה מהותית על קיבולת הכבישים. בה בעת, לתכנון הכביש נודעת השפעה מכרעת על התנהגותם של הנהגים. תכנון הכביש, ובכלל זה מערכות לניתוב תנועה, משפיע ישירות על מעבר נהגים מנתיב לנתיב,

המשך בעמוד 31

המעבדה להדמיה סביבתית ותחבורה

המחקרים הבסיסיים הנעשים במעבדה וכלי המחקר העומדים לרשותנו מספקים תשתית לניתוח ומחקר של נושאים תחבורתיים ולמתן מענה לשאלות עקרוניות בנושאי תחבורה. דבר זה נכון במיוחד בכל הקשור לשימוש במודלי ההדמיה השונים ולתכנות ה-GIS. טכנולוגיות המציאות המדומה מספקות כלי נוסף היכול, בעיקר, לשמש להעברת מידע למקבלי ההחלטות ולציבור הרחב ולתכנון והצגת תכניות לאזורי תחבורה – בין אם אזורי תחבורה פתוחים (כבישים רב-נתיביים, רחובות, צמתים וכו') או סגורים (תחנות רכבת, תחנות אוטובוס, וגם 'רשתות רחובות' בקניונים לדוגמה).

המודלים השונים של הסיביות הוירטואליות שפותחו, מאפשרים את בחינת השלכות התחבורה על הסיביות המיידית של האזור המתוכנן ועל העיר כולה. הוספת הממד השלישי למודלים (כלומר, גובה המבנים בעיר) מאפשרת בחינה ריאליסטית והתייחסות למאפיינים החשובים ביותר של העיר, ועלי ידי כך בחינת השפעת תנועת התחבורה על העיר, והפוך: השפעת העיר על תנועת התחבורה.

כמו כן, עובדת קיומו של אתר אינטרנט המאפשר לכל אזרח לצפות במודלים התלת ממדיים מכל זווית שהיא, "לטוס" לכל יעד בעיר ולבחון חלופות סביבתיות (וכמובן תחבורתיות) שונות עשויה להוות כלי יעיל לשיתוף האזרח בתכנון העתידי, ולאפשר צפייה וקבלת מידע לגבי תכניות תחבורתיות קיימות או עתידיות.

מידול מבוסס-סוכן

כלי המידול OBEUS אשר פותחו על-ידי ד"ר יצחק בנסון בשיתוף עם וולד חרבש פותחים בפנינו קשת רחבה של אפשרויות. המודלים מותאמים במיוחד להדמיית התנהגותם של פרטים במרחבי תחבורה ולתרגומה של התנהגות זו לרמה של מערכת התחבורה כמכלול. מודלים אלו מסוגלים גם לנתח את ההשפעה ההדדית בין רמת המיקרו (הפרטים) לבין רמת המאקרו (המערכת). היישומים האפשריים של טכניקות מידול מבוססות-סוכן בתחום התחבורה כוללים הדמיה של התנהגות הנהג בצמתים והשפעתה על הקיבולת של הצומת ועל רמת הבטיחות בה; הדמיה של היחס שבין התנהגות בחניה לבין מצאי מקומות החניה הפנויים; הדמיה של השימוש בנתיבי אופניים והדמיה של התנהגות הולכי רגל במעברי חציה או במרחבים תחבורתיים מורכבים, כמו תחנות רכבת או אוטובוס מרכזיות.

'מודל החניה' שעליו שקדה המעבדה במהלך שנה וחצי ואשר את פיתוחו סיים לאחרונה סלבה בירפיר, הוא דוגמה טובה לכך.¹⁶ זהו מודל הדמיה התנהגותי מבוסס-סוכן, המבוסס על סביבת מידול מסוג OBEUS, כמתואר לעיל. במודל זה הנהגים מיוצגים על-ידי סוכנים אוטונומיים אשר נוהגים אל יעד, מחפשים מקום חניה, מחליטים האם לחנות ברחוב, במגרש חניה בתשלום או על המדרכה, חונים, יוצאים מן המכונית, חוזרים אליה, וחוזר חלילה. הנהגים מנהלים יחסי גומלין עם סוכנים-נהגים אחרים, ומגיבים למצבי תנועה ספציפיים בסביבתם המיידית. סך פעולותיהם של כל הנהגים הוא שמכתיב את מצבה של מערכת החניה: אלו מקומות חניה ייתפסו קודם, באלו מקומות תהיה תחלופה גבוהה, וכו'.

למודל שלושה חלקים. החלק הראשון כולל את כללי ההתנהגות של הנהגים. ניתן להסיק את הכללים הללו מתוך הידע הקיים לגבי התנהגות נהגים, ולהתאימם לקונטקסט המקומי הרלוונטי. כללים אלו יכולים לכלול את כל הגורמים המרכזיים המשפיעים על ההתנהגות, כגון אסטרטגיות חיפוש חניה, מרחקי הליכה, מחירי חניה, מידע לגבי מקומות חניה פנויים ומידע לגבי רמת האכיפה. החלק השני של המודל כולל







המשך מעמוד 28

GIS מפורטים לגבי שטחים פתוחים (מיקום, גודל), תושבים (מיקום, מספר) ונתיבי גישה. פרויקט AccessCity הוא דוגמה אחת מני רבות לשימושים האפשריים של כלי GIS בתחום התחבורה. את מדד הנגישות של AccessCity אפשר גם להתאים לתחום של תחבורה ציבורית. במקרה זה לנגישותן של תחנות אוטובוס נודעת חשיבות מכרעת, הן מבחינת רמת השירות לנוסעים והן מבחינת היעילות עבור המפעיל. אם תחנות האוטובוס קרובות מדי זו לזו, מהירות הנסיעה יורדת ויעילות הקו פוחתת, ואילו אם הן רחוקות מדי זו מזו, פוחתת נגישותן לנוסעים פוטנציאליים. ניתוח נגישות בעזרת יישומי GIS, תוך שימוש בנתונים ברזולוציה גבוהה לגבי מיקומם של התושבים (על פי חתך סוציו-אקונומי ועל פי חתך גילאים) ולגבי נתיבי גישה, יספק מידע מפורט לגבי המיקום היעיל ביותר של תחנות תחבורה ציבורית. כלי ה-GIS של המעבדה להדמיה סביבתית יכולים לשמש בפתרון של בעיות רבות נוספות.

קוגניציה מרחבית והתמצאות

מחקר נוסף המתבצע במעבדה להדמיה סביבתית ואשר רלוונטי אף הוא לתחום התחבורה, עוסק בתחום של קוגניציה מרחבית והתמצאות. מהות התחבורה היא תנועה במרחב. הדרך שבה בני אדם "לומדים" מרחבי תנועה חדשים, "קוראים" את התשתיות ו"לומדים" לנווט במרחבים אלו, משפיעה ישירות על השימוש שהם עושים במרחב התחבורתי או על הימנעותם משימוש בו. ברור, אם כן, כי התחום של קוגניציה מרחבית והתמצאות הוא רלוונטי מאוד לתחום התחבורה. אם נדע כיצד אנשים מנווטים במרחב, נוכל לעזור לאנשי המקצוע לתכנן מערכות תחבורה "ידידותיות" וקלות לתנועה.

בעתיד הנראה לעין יוכל המחקר המתבצע במעבדה להדמיה סביבתית לסייע במיוחד בתכנון תחנות של שירותי תחבורה ציבורית. על פי תוכנית הממשלה, השירותים השונים של התחבורה הציבורית – רכבות, אוטובוסים עירוניים ובינעירוניים ורכבות קלות – יחברו במרכזים רב-תכליתיים אשר בנוסף לשירותי התחבורה הציבורית יכללו גם חנויות, בתי קפה ומשרדים. נראה, אם כן, שמספרן של התחנות הגדולות עשוי להתרחב באופן ניכר במהלך עשר השנים הקרובות. מרכזים תחבורתיים רב-תכליתיים עשויים להתפתח לא רק בערים הגדולות אלא גם בערים קטנות יותר כמו מודיעין, אשדוד ורחובות. מבחר צורות התחבורה, הצרכים השונים של כל קבוצת משתמשים (תיירים, משתמשים קבועים, עובדים) וניגודי האינטרסים שבין הקבלן, הבעלים והמשתמשים, הופכים את ההתמצאות בתחנות מסוג זה למשימה לא פשוטה. אם לא נבין את התפיסה המרחבית של האנשים ואם לא ניישם הבנה זו בתכנון, עלולים מרכזי התחבורה הללו להיות קשים מאוד ל"קריאה" ולפיכך גם לניווט. בשל קושי זה, אנשים יימנעו משימוש במרכזים – וזו תהיה מכת מוות הן לתחבורה הציבורית והן לפעילויות הכלכליות שיתנהלו באותם מרכזים. התחנה המרכזית בתל אביב היא דוגמה בולטת לטעות מסוג זה. אם שלבי התכנון השונים ייקחו בחשבון את התפיסה המרחבית, דהיינו, את הדרך שבה אנשים "לומדים" מרחבים תחבורתיים חדשים, "קוראים" את התשתיות ולומדים לנווט במרחבים אלו, ניתן יהיה לתכנן מרכזים תחבורתיים ידידותיים למשתמש אשר ימלאו אחר הציפיות. יתרה מזו, ידע לגבי קוגניציה מרחבית עשוי לסייע בשיפור המצב בתחנות קיימות. לעתים גם שינויים פשוטים ליישום, כגון סימונים בצבע, יכולים לשפר את יכולת הניווט באופן בולט בהשקעה כספית מינימלית.

המעבדה להדמיה סביבתית

על מהירות הנסיעה, על תפקוד הנהגים בסיבובים ועל יחניות כפולות: נראה, אם כן, שניתן לפתור בעיות של קיבולת כבישים, לפחות חלקית, על-ידי שיפור התכנון, בלא להזיק להגדלת התשתיות עצמן. את כל הבעיות הללו ניתן לפתור בעזרת מודלים של ABS, אשר ממדלים את התנהגותם של הנהגים האינדיבידואלים ואת יחסי הגומלין שבינם לבין נהגים אחרים בסביבה הפיזית הרלוונטית.

דוגמה נוספת שתמחיש את האפשרויות הטמונות במודלים של ABS עוסקת בקשר שבין מעברי חציה לבין התנהגותם של הולכי רגל. מעברי חציה הם חיוניים עבור הולכי הרגל, אך ברחובות עתירי חנויות הם גם אלמנט כלכלי מכריע. היתכנותן הכלכלית של חנויות ברחובות כמו דיזנגוף בתל אביב או ביאליק ברמת גן תלויה במידה רבה בקלות שבה הולכי רגל יכולים לחצות את הכביש המפריד בין שני צדי הרחוב. מודלים של ABS הם כלי מצויין לניתוח ההשלכות של סידורי חציה שונים על התנהגותם של הולכי הרגל. כמו במודל החניה, גם כאן מודל ה-ABS מסוגל לשלב שלושה גורמים: כללי ההתנהגות של הסוכנים (הולכי הרגל), מאפייני חלל התנועה (מעברי חציה, נפח התנועה ומהירותה, רמזורים, זמני המתנה וכו') והמאפיינים הסביבתיים המעודדים חציה (חנויות, בתי קפה, מסעדות וכו'). על בסיס שלושת הגורמים הללו, מודל ה-ABS יכול לדמות מספר סידורי חציה חלופיים ולזהות את הסידורים היעילים ביותר עבור הולכי הרגל החוצים ועבור המכוניות גם יחד. מודל ה-ABS יכול לסייע בהגדרת מדיניות שתבטיח את הישרדותה של הפעילות הכלכלית המתנהלת ברחוב.

GIS ותחבורה

כפי שעולה מן הדוגמאות שנסקרו לעיל, מודלים מבוססי-סוכן יכולים לשמש כלי תכנוני יעיל אך ורק אם מצינים אותם בנתוני אמת. אי לכך, המעבדה להדמיה סביבתית מייחסת חשיבות רבה להתאמתם של המודלים מבוססי-הסוכן ליישומי GIS. מודל החניה הוא דוגמה טובה לכך. על מנת ליישם את המודל בתל-אביב, ניתן לקשור את המודל למסד נתוני GIS אשר מכיל פרטים כמו, למשל, מספר מקומות החניה לאורך הרחובות, גודלם ומיקומם של מגרשי חניה, ושימושי הקרקע המושכים אליהם תנועה וכך יוצרים "לחצי חניה" (חנויות, משרדים, מסעדות וכו'). נתונים מסוג זה ניתן למצוא במסדי נתונים קיימים, כמו, למשל, מסדי הנתונים של הרשויות המקומיות או של הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. במקרה של תל אביב, רוב הנתונים הרלוונטיים מצויים בידי העירייה. קישורם של נתונים אלו למודל ה-ABS באמצעות יישומי GIS הוא הכרחי לצורך מידול מבוסס-סוכן, שכן קישור זה הוא שמאפשר את "הזנת" המודל בנתונים ברזולוציה המרחבית הגבוהה ביותר. נתונים מסוג זה אינם ממלאים תפקיד מרכזי במודלים תחבורתיים קלאסיים, אולם במודלים מבוססי-סוכן תפקידם מכריע, שכן התנהגותם של הסוכנים (נהגים, הולכי רגל וכן הלאה) מתנהלת בשטח, בקנה המידה המרחבי הנמוך ביותר, ואף מושפעת מאוד מן ההתרחשויות בקנה מידה זה.

גם ככלי עצמאי, בלא קשר למודלים של ABS, עשויים יישומי GIS לסייע בטיפול בבעיות תחבורה. כלי ה-GIS מותאמים לכך במיוחד. כלים אלו מאפשרים את פיתוחם של מדדי נגישות שונים ואת יישומם הפשוט של מדדים אלו בתחומים רבים, על פי הצורך ועל פי זמינות הנתונים. פרויקט ה-AccessCity המתואר לעיל, ממחיש יפה את האפשרויות הגלומות בכלי ה-GIS. בפרויקט זה פותח מדד מיוחד להערכת נגישותם של שטחים פתוחים, על בסיס יישומי ה-GIS הקיימים. המדד יושם תוך שימוש בנתוני



צדק ותחבורה

בנוסף לנושאים שנדונו לעיל, חלק ניכר מן העבודה שמבצעת המעבדה להדמיה סביבתית בתחום התחבורה נוגע לקשר שבין צדק לבין תחבורה. נושא זה תופס תאוצה בשנים האחרונות, במיוחד במדינות כמו בריטניה וארה"ב. גם בישראל מוקדשת תשומת לב רבה לקשר שבין צדק לבין תחבורה; תשומת לב זו מתבטאת, בין היתר, בשיפור השירותים לנכים¹⁷ בצורת החיים שלנו, ניידות – ולכן גם תחבורה – ממלאת תפקיד מרכזי. לגישה נוחה ויעילה לאמצעי התחבורה, בין אם מדובר במכוניות, כבישים, אוטובוס, רכבת הקלה או שבילי אופניים, נודעת חשיבות מכרעת לצורך התערות בחברה. ללא חלוקה "צודקת" של אמצעי התחבורה, לא תיתכן חברה צודקת. פרויקט המחקר של המעבדה כולל היבטים תיאורטיים ואמפיריים כאחד. אנו מיישמים בתחום התחבורה את העקרונות והתפישות שהוגדרו בתיאוריות של צדק חברתי. בנוסף לכך, אנו עוסקים בשאלה המהותית של הרכב ה"סחורה" ששמה תחבורה, ובהגדרתה של חלוקה צודקת של אותה "סחורה".

העבודה התיאורטית מספקת לנו את אבני היסוד למחקרים שונים. בתחום התחבורה, התיאוריה מקנה מסגרת ברורה להערכתם של דפוסי חלוקה קיימים ועתידיים. על בסיס מסגרת זו יוכל המחקר האמפירי והמעשי של הקשר שבין תחבורה לצדק להתקדם בכיוונים שונים. אחד הכיוונים האפשריים הוא ניתוח ההתפלגות של שירותי התחבורה הציבורית. ניתוח זה יזהה את הצורך בתחבורה ציבורית בקרב קבוצות אוכלוסייה שונות – על בסיס פרמטרים כמו הכנסה ממוצעת, בעלות על מכוניות וגיל, ויאמוד את רמת השירות שכל קבוצה מקבלת בפועל. המטרה תהיה לזהות את השכונות שבהן קיים פער בין הצורך בתחבורה ציבורית לבין השירותים הניתנים במציאות. הפערים שזוהו יוכלו לשמש כקריטריון נוסף בארגון מחדש של רשת התחבורה הציבורית, ולתרום לשיפור מצבם של הזקוקים לשירותיה אך גם לשיפור מצבם של ספקי השירות, אשר צרכנים רבים יותר ישתמשו בקווייהם.

גישה דומה ניתן לאמץ גם לגבי תכנון נתיבי אופניים. בשנים האחרונות החלו הרשויות המקומיות לספק תשתיות לרכיבי אופניים על מנת לעודד שימוש יומיומי באמצעי תחבורה זה. כמו במקרה של תחבורה ציבורית, גם כאן ניתן לשלב גם את שיקולי הצדק בתהליך התכנון. וכמו במקרה של תחבורה ציבורית, גם כאן נקודת המוצא של הניתוח הנה זיהוין של קבוצות האוכלוסייה אשר תפקנה את המרב משיפור התשתיות. קבוצת הגיל של בני 10 עד 18 הנה קבוצת היעד המרכזית, כמו גם משקי בית שאין ברשותם מכונית. על בסיס ניתוח התפלגותה של קבוצת גילאים זו ברחבי העיר, ניתן יהיה להגדיר שכונות שבהן קיים פוטנציאל גבוה לשימוש באופניים. עבור כל אחת מן השכונות הללו ניתן להגדיר יעדים מרכזיים, כמו בתי ספר, מרכזי קניות או אזורי תעסוקה שנמצאים בטווח רכיבה, ולתכנן רשת של נתיבי אופניים. יישומם של שיקולי צדק בתכנון נתיבי אופניים עשוי לסייע בהגדרת סדר קדימויות בבניית נתיבי אופניים, אך גם להגביר את הצלחתה של מדיניות עידוד הרכיבה, שכן נתיבי האופניים יוקמו באזורים שבהם ניתן לצפות לאחוזי שימוש גבוהים.

בעזרת הכלים שמציעה המעבדה להדמיה סביבתית ניתן בקלות יחסית לנתח את הקשר בין צדק לבין תחבורה, כמתואר לעיל. זמינותם של כלי GIS מתקדמים מאפשרת שילוב בין נתוני רשת התחבורה (קווי תחבורה ציבורית ותחנות, נתיבי אופניים פוטנציאליים וכו') לבין נתוני גיל, אחוז המכוניות ורמת הכנסה, ברזולוציה גבוהה. יתרה מזו, ניתן בקלות להתאים את מדדי הנגישות שפותחו בפרויקט AccessCity ולעשות בהם שימוש במחקרים העוסקים בצדק חלוקתי בתחום התחבורה – בין אם מדובר בחלוקה הקיימת או בחלוקה מתוכננת.

אחרון, אחרון חביב

כפי שעולה מן הכתוב לעיל, המעבדה להדמיה סביבתית הנה מכוון מחקר מתקדם בעל מטרות ברורות, אקדמיות וחברתיות גם יחד. המעבדה להדמיה סביבתית נוסדה על מנת לתרום לשיח הסביבתי בישראל ולפעילויות בתחום, ועל-ידי כך לתרום לשיפור הסביבה בארץ. לפיכך, המעבדה מקדמת בברכה מיזמים משותפים עם גופים אחרים ושיתופי פעולה בפרויקטים העוסקים בתחומים הרלוונטיים, ותשמח לנהל מחקרים יישומיים בתחומי המחקר הרבים שבהם היא עוסקת. אנו מזמינים אתכם לבקר באתר האינטרנט של המעבדה:

<http://eslab.tau.ac.il>

1. חלקו הראשון של מאמר זה מבוסס על מאמרו של פרופ' יובל פורטוגלי: "Complex artificial environments: the ESLab's experience" אשר עתיד להתפרסם במהלך שנת 2005 בספר: *Complex Artificial Environments* (j. Portugali Editor) של הוצאת Springer
2. פורטוגלי, 1996, **יחסים מוכללים: חברה ומרחב בסכסוך הישראלי-פלסטיני**. הוצאת הקיבוץ המאוחד, תל-אביב. עמ' 62.
3. על-פי Nicolis and Prigogine, כפי שמצוטטים שם.
4. Portugali, J. 1999, **Self Organization and the City** Heidelberg: Springer
5. Haken, H. 1985. **Advanced Synergetics**. Springer, Berlin
6. Haken, H. and Portugali, J. 1996. Synergetics, Inter-representation networks and In **The construction of cognitive maps**, edited by J Portugali. cognitive maps. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- 7,8. Portugali, J. 2004, "Toward a cognitive approach to urban dynamics", *Environment and Planning in: Planning and Design* 31, 589-613
9. ביבליוגרפיה על OBEUS:
- a. Itzhak Benenson, Paul M. Torrens, *Geosimulation: Automata-Based Modeling of Urban Phenomena*, London, Wiley, 2004 (320 p.)
- b. I. Benenson, S. Aronovich, S. Noam, 2005, Let's talk objects: Generic approach to high resolution urban modeling, *Computers, Environment and Urban Systems*, 29 (2005) 425-453
- c. I. Benenson, P. Torrens, A Minimal Prototype for Integrating GIS and Geographic Simulation through Geographic Automata Systems, in: P. Atkinson, F. Wu (eds), *Geodynamics*, CRC Press, 2005, pp. 347-368
10. המחקר של אמיר פורת נעשה כעבודת דוקטורט ונקרא בשם: "התמצאות במרחבים עירוניים פתוחים וסגורים". המחקר הונחה על-ידי פרופ' פורטוגלי.
11. במסגרת עבודת מ.א. שבוצעה בהנחיית פרופ' יובל פורטוגלי וד"ר יצחק אומר: "לימוד סביבה חדשה: לימוד סביבה וירטואלית לעומת לימוד סביבה מציאותית".
12. Omer I., Goldblat R., Talmor K., Roz A., (2005) "Enhancing the legibility of virtual cities by means of residents' urban image: a wayfinding support system". In: Portugali J. (Ed.). *Complex Artificial Environments*, Springer, Heidelberg.
- Omer I., Goldblat R., Or U., "Virtual city design based on urban image theory", *The Cartographic Journal* (forthcoming).
- Omer I., Goldblat R., Talmor K., Roz A., (2005) "knowledge-based model generalization for truly virtual cities". *AGILE 2005: Geographic Information Science*.
13. רז, א. ועין-דור, ד. 2000. **מדדים והנחיות לתכנון שטחים פתוחים עירוניים**. תל אביב: אדם, טבע ודין.
14. אופציה זו תתווסף בעתיד לאתר האינטרנט של המעבדה.
15. במסגרת עבודת מאסטר בטכניון במסלול לתכנון ערים ואזורים בהנחיית פרופ' יובל פורטוגלי ופרופ' ארזה צירצ'מן: "הערכת מערכת מבוססת אינטרנט לשינוי הציבור בתכנון – חקר מקרה".
16. במסגרת עבודת מאסטר, בהנחיית ד"ר יצחק בננסון: "בניית מודל לחיפוש חנייה".
17. תחום זה יפותח על-ידי ד"ר קרל מרטנס.