

שימוש בשיטות איתור בתכנון עירוני

נעם שובל ועמית בירנבוים

תקציר

מאמר זה מציג את הגידול המהיר שהתרחש בשימוש בשיטות איתור מתקדמות כדוגמת מערכת האיכון העולמית (GPS) ואיכון מכשירי טלפון נייד לצרכי מחקר אקדמי ויישומי בעשור האחרון עם דגש על תחום הגיאוגרפיה והתכנון העירוני. שיטות האיתור מספקות לחוקרים נתוני זמן-מרחב ברזולוציה ובכמות כמותן לא הכרנו בעבר, ובכך הן פותחות אפשרויות מחקר חדשות ומרתקות שיכולות לסייע למתכנני ערים, מתכנני תחבורה וקובעי מדיניות שונים. המאמר מציג בקצרה את שיטות האיתור הזמינות כיום ודן ביתרונות הגלומים באימוץ נתוני מיקום מדויקים ממקורות שונים. אחת ההבטחות הגדולות ביותר, שככל הנראה יקדמו את התחום עוד יותר, היא החדירה המהירה של טלפונים חכמים (smartphones) לה אנו עדים בשנים האחרונות. אלו מספקים לנו מקור בלתי נדלה של מידע מרחבי ותוכני אשר יכול להשפיע פעם נוספת על האופן שבו אנו אוספים נתונים לגבי ההתנהגות של אנשים במרחב ועל האופן בו אנו מתכננים.

מבוא

עד לפני שנים לא רבות, השיטה המקובלת במדעי החברה בכלל ובגאוגרפיה בפרט לאיסוף נתונים ביחס לפעילות של אנשים בזמן ובמרחב הייתה שיטת "יומן פעילות זמן-מרחב". משתתפים במחקרים אלה נתבקשו למלא באופן שיטתי תאור אודות המיקום, המשך והמהות של פעילותם במקומות ובזמנים שונים. ההשתתפות במחקרים אלו הייתה למשך תקופת זמן מוגדרת מראש שנמשכה בדרך כלל מספר שעות או ימים ולעיתים אף שבועות (Anderson 1971). למרות שחוקרים רבים עשו שימוש ביומני פעילות (Goodchild and Janelle 1984) הרי שלשיטה זו מספר חסרונות מובנים כשהבולט מביניהם הוא הצורך בהשתתפות פעילה של הנחקרים לאורך כל תקופת המחקר (Thornton, Williams, and Shaw 1997). מכיוון שפעמים רבות נחקרים אינם ממלאים את המידע ביחס לפעילותם בצורה מהימנה ומלאה, אם כתוצאה משכחה או מחוסר מוטיבציה, הרי שאמינותם של הנתונים שנאספים היא פעמים רבות נמוכה. בנוסף, המאמץ הכרוך באיסוף הנתונים הגביל את גודלם של המדגמים שנאספו באמצעות יומני פעילות.

בעשור האחרון היינו עדים לקפיצת דרך ביכולת של חוקרים וביכולתו של הציבור הרחב לאסוף ולעשות שימוש בנתונים אודות פעילות בזמן ובמרחב

של אנשים, מכוניות וגופים אחרים (Goodchild 2007). התקדמות זו באה עם התפתחותן של טכנולוגיות מרחביות כגון מערכות מידע גיאוגרפיות (ממ"ג) וחישה מרחוק ובמקביל לגידול העקבי בשימוש בفلטפורמות אינטרנטיות המאפשרות הצגה ושיתוף של מידע גיאוגרפי ומרחבי בצורה ידידותית למשתמש. ההתפתחות של מגוון שיטות איתור ובראש ובראשונה מערכת האיכון הגלובלית, GPS (Richardson et al. 2013) והופעתם בשנים האחרונות של טלפונים חכמים (סמארטפונים) מהווים ככל הנראה את השינוי המשמעותי ביותר בתחום איסוף הנתונים לגבי פעילות מרחבית של אנשים (Birenboim and Shoval, 2015). יישום של שיטות איתור לצורכי מחקר, במהלך ההתפתחות המהירה של התחום בעשור האחרון, כולל תחומים רבים ומגוונים כגון תחבורה (Wolf et al. 2001; Bohte and Maat 2009), בריאות וסביבה (Phillips et al. 2001; Elgethun et al. 2003), בתחומים רפואיים שונים (Miskelly 2004; Terrier and Schutz, 2005; Shoval et al., 2008); (Barzilay et al., 2011), מחקרים בתחום התיירות (Shoval and Isaacson, 2010) ואף מחקרים בתחום העירוני (Silm and Ahas, 2014).

מחקר שפורסם לאחרונה (Shoval et al. 2014) הראה שהתחום המוביל בפרסום מחקרים המיישמים שיטות איתור למחקר הוא תחום התחבורה (32.5%). אחת הסיבות המרכזיות לכך היא שקל יחסית להתקין מערכת איכון למכונית בה יש מקור כוח חשמלי קבוע. בנוסף, מכיוון שהנוטן (GPS) מקובע ברכב, הנחקר לא צריך לזכור לקחת עימו את המכשיר. לאור יתרונות טכניים אלה ובעקבות הצורך הברור בנתוני תנועה מדויקים עבור תכנון תחבורה, תחום זה היה בין החלוצים ביישום שיטות איתור למדידת הפעילות בזמן ובמרחב של כלי רכב. יש לציין שגם היישומים המסחריים המוצלחים ביותר עד כה היו בתחום התחבורה. לדוגמה, חברת Waze הישראלית, שנרכשה על ידי חברת Google לפני זמן לא רב, אוספת נתונים אודות המיקום של המשתמשים השונים על גבי רשת הכבישים בכדי להציע לכל נהג את המסלול האופטימאלי עבורו. תחום מחקר חשוב נוסף בו נעשה שימוש בשיטות איתור הוא תחום הבריאות והרפואה שכולל כרבע מכלל המחקרים שפורסמו בכתבי עת שפיטים בנושא יישום שיטות איתור למחקר (Shoval et al. 2014), לעומת זאת, התחום של גאוגרפיה (ובמסגרתו גם תחום תכנון הערים) כלל קצת פחות משלושה עשר אחוזים מכלל המחקרים שעשו שימוש בנתוני GPS. נתון זה מפתיע לאור העבודה שגאוגרפים היו בין החלוצים בפיתוח וביישום התחומים של חישה מרחוק ומערכות מידע גאוגרפיות למחקר, לכן היה ניתן לצפות שגם הם יהיו מהמובילים ביישום שיטות איתור למחקר. בפועל, לא כך הדבר.

לאחרונה אנו נמצאים ככל הנראה בפתחו של שלב נוסף בעקבות הפיתוח והתפוצה הנרחבת של "טלפונים חכמים" (Smartphones) המשלבים בתוכם מספר שיטות איתור במכשיר אחד וכן יכולות של העברת נתונים בזמן אמת. יכולות אלה יוצרות אפשרויות מרחיקות לכת גם למחקר כפי שיוצג בהמשכו של מאמר זה. במקביל, בשל ההתקדמות המרשימה בתחום יכולות המחשוב ובתחום מערכות המידע הגאוגרפיות, גדלה היכולת לנתח את מסדי הנתונים הגדולים בעלי מרכיב עיתי ומרחבי הנוצרים בעקבות השימוש בשיטות איתור. היכולת לאסוף ולנתח נתוני זמן-מרחב בעלי רזולוציה גבוהה במשך זמן ארוך, מאפשרת פיתוח של אפיקים חדשים של מחקר גאוגרפי ועירוני

חדש וגיבוש של שאלות מחקר שלא ניתן היה לענות עליהן קודם לכן (Shen et al., 2013).

שיטות איתור עיקריות הזמינות ליישום למחקר בתחום הגאוגרפיה העירונית

- מערכת האיכון הגלובלית (GPS)

הפיתוח של מערכות איכון גלובליות (GPS) החל במקביל בארה"ב וברוסיה באמצע שנות השבעים כחלק ממרוץ החימוש שנערך בזמן המלחמה הקרה במטרה ליצור מערכת שתסייע באיכון מיקומן של צוללות הנושאות טילי שיוט גרעיניים. בשנת 1994 המערכת האמריקנית הפכה למבצעית. בשנים האחרונות גם הסינים החלו בפיתוח מערכת איכון דומה במסגרת הפיכתה של סין למעצמה צבאית עולמית. מה שמאפיין את המערכת האמריקנית ששמה הרשמי הוא *NAVSTAR: Navigation System with Timing and Ranging*, היא העובדה שיש לה בנוסף לערוץ הצבאי, גם ערוץ אזרחי אשר נפתח לשימוש אזרחי – פרטי ומסחרי חופשי ובחנים משנת 2000 (Kaplan, 1996). בתחילה מכשירי ה-GPS היו גדולים יחסית ויקרים, אולם לפני כשמונה שנים החלו להופיע מכשירי GPS קטנים, זולים ובעלי יכולות משופרות לאיסוף נתונים מתמשך ללא צורך בטעינה יומיומית. בערך באותה תקופה החלו להופיע יותר מכשירים סלולאריים ניידים הכוללים גם מרכיב של GPS וכיום מרבית הטלפונים הניידים היוצאים לשוק הם בעלי רכיב של ניווט לוויני.

GPS היא מערכת שידור חד כיוונית. לוויינים הסובבים את כדור הארץ משדרים אות רדיו הנקלט על ידי מקלט GPS (Zhao, 1997), המכשיר צריך להיות בעל יכולת לאגור את הנתונים אשר לאחר מכן יורדו מכרטיס הזכרון או ישודרו באמצעות רשתות ופרוטוקולי תקשורת שונים למאגר מידע מרכזי כלשהו. הדיוק של מערכת האיכון הגלובלית (GPS) הוא בעל שונות רבה והוא תלוי בשורה של גורמים, כגון אופי המרחב (שטח פתוח לעומת שטח בנוי צפוף בו יש מבנים החוסמים את הגעת האות), תנאי מזג אוויר, שעת היום וגורמים נוספים הקשורים ללוויינים ולמערכת שידור האותות. אולם באופן כללי מכשיר GPS רגיל מצליח לתת מיקום עם סטייה ממוצעת של 3 עד 5 מטרים תחת תנאים אופטימאליים (Shoval and Isaacson 2006).

- איכון של טלפונים ניידים באמצעות הרשת הסלולרית

מיקום הטלפון על סמך מיקומה של האנטנה אליה משוייך הטלפון הנייד בזמן נתון (Cell ID) הינה שיטה פשוטה לאיתור האזור בו נמצא הטלפון. שיטה זו נחותה בדיוקה המרחבי ביחס לאיכון באמצעות GPS, אולם יתרונה לפני עידן הסמארטפון נבע מפשטותה לעומת איכון באמצעות GPS שחייב נשיאת מכשיר ייעודי על ידי משתתף שגוייס למחקר. חסרונה של השיטה כאמור, הוא דיוקה שיכול להגיע לכדי חמישים מטר לכל היותר במרכזי ערים בהם צפיפות הרשת של האנטנות הסלולריות גבוהה. באזורים פחות מיושבים, בהם ריכוז האנטנות הסלולריות נמוך, הדיוק המרחבי של איכון באמצעות אנטנה סלולארית יכול לרדת עד לרמה של מספר קילומטרים. כמו כן, מסיבות של ניהול עומסים ברשת הסלולרית, מכשיר הטלפון אינו משוייך

תמיד לאנטנה הקרובה וכך ניתן להסיק לגבי מיקום שגוי של המכשיר ולפגוע בדיוק המרחבי עוד יותר.

השיטה העיקרית שיושמה עד כה בתחום המחקר העירוני באמצעות איכון טלפונים סלולריים היא שיטת האיכון הפאסיבי (passive positioning) (Ahas et al., 2008). היתרון של השימוש בשיטת האיכון הפאסיבי של טלפונים סלולריים הוא האפשרות לעקוב אחר כמות גדולה של משתמשים ללא עלות גבוהה, אולם היא צופנת בחובה גם חסרונות ניכרים למדי. העיקרי שבהם הוא שבשיטת האיכון הפאסיבי המיקום של הטלפון הסלולרי מתבצע רק כאשר המכשיר בפעילות הקשורה בהוצאה או בהכנסה של שיחות או הודעות. לשיחות נכנסות אפשר להתייחס כאקראיות במרחב מכיוון שלאדם המקבל את השיחה אין הרבה שליטה על המיקום בו הוא מקבל את השיחה, אין זה המקרה ביחס לשיחותיוצאות שלהן אין התפרסות אקראית במרחב. אנשים נוטים להוציא יותר שיחות כאשר הם נמצאים ברכב בזמן של גודש תנועה או דווקא כאשר יש להם זמן פנוי. לכן קיימת הטייה למיקומים בהם אנשים נוטים להוציא שיחות.

הרעיון של איכון פאסיבי שהחל בתחום הרשת הסלולרית מצא גם ביטוי במחקרים שעשו שימוש במידע דומה המופק מאפליקציות של מדיה חברתית כגון טוויטר לדוגמה (Cheng et al. 2011; Noulas et al. 2011), ואולם החסרונות במחקרי רשתות חברתיות זהים לאלה שתוארו בהקשר לאיכון של מכשירים ברשת הסלולרית – אין מידע על מיקום כאשר אין פעילות ובמקרה של טוויטר – ציוצים. מעבר לכך, אין לחוקרים נתונים על האוכלוסייה לגביה מנסים להסיק מסקנות. החוקרים יכולים לנסות לשייך אנשים לאזור הסטטיסטי בו הם גרים ולעשות הצלבה עם נתוני המפקדים ונתונים נוספים, אולם אלו נתונים המספקים תמונה חלקית מאוד לגבי מאפייני המשתתפים, ולכן היתרון העיקרי של מחקרים אלה היא האפשרות להבין מגמות כלליות ולא התנהגויות ברמה הפרטנית.

טלפונים חכמים / סמארטפונים

כפי שכניסתם של הטלפונים החכמים היוותה קפיצת מדרגה מבחינת האפשרויות שהיא יצרה עבור המשתמשים, כך המצב גם ביחס לאפשרויות המחקריות הנפתחות בפני חוקרים. הסמארטפונים מסוגלים לתת מיקום במגוון ובשילוב של שיטות קרקעיות (בנוסף לקרבה לאנטנה סלולרית גם קרבה לרשתות אלחוטיות) ושיטות לווייניות (GPS). מעבר לכך הם מחוברים כל העת לרשת האינטרנט, דבר המאפשר לקבל באופן רציף נתונים ביחס למכשיר ומנגד לשלוח שאלונים למשתתף הנושא את המכשיר. עם זאת, בכדי לבצע מחקר משמעותי צריך כמובן את שיתוף הפעולה של המשתמש.

סמארטפונים מודרניים החלו להופיע בשוק בתחילת שנות ה-2000, אך הופעתו של ה-iPhone ב-29 ביוני 2007 והגידול המהיר בפופולאריות של מערכת ההפעלה אנדרואיד בשנה שלאחר מכן היו אלה שסימנו את תחילתו של עידן חדש בתחום הטלפונים הסלולריים. כבר בפברואר 2012 יותר מחמישים אחוזים מהטלפונים הניידים בארצות הברית היו טלפונים חכמים (Nielsen 2012), וכיום מספרים אלה גבוהים הרבה יותר במרבית המדינות המפותחות. חדירת הטלפונים החכמים מתרחשת בקצב מהיר למדי גם

במדיונות המתפתחות, אם כי הפער בין העולם המפותח והמתפתח עדיין ניכר בתחום זה.

סמארטפונים ומכשירים ניידים אחרים כמו מחשבי טאבלט, משלבים מספר גדול של יכולות וכלים הכוללים בין השאר טכנולוגיות מיקום כ-GPS, זיהוי אנטנה סלולארית, מיקום באמצעות WiFi, Bluetooth, RFID. סנסורים כגון אקסטרומטר, גירוסקופ, מגנטומטר (מצפן), חיישן אור, וטכנולוגיות שימושיות אחרות כמו מיקרופון ומצלמה. בנוסף קיימים מספר סנסורים כמו ברומטר, מד חום ומד לחות אותם ניתן למצוא כיום רק במספר מועט של מכשירים מתקדמים. סנסורים אלה צפויים להיות זמינים בשנים הבאות גם בטלפונים הפשוטים יותר ובכך לשפר את יכולות החישה הזמינות לחוקרים. טבלה 1 מסכמת את טכנולוגיות האיתור הנפוצות ביותר המיושמות בסמארטפונים, אשר חלק גדול מהן שימושיות למחקר של התנהגות מרחבית של אנשים בסביבות עירוניות וכפריות. הטבלה מתמקדת בטכנולוגיות אותן ניתן ליישם באופן פשוט ללא צורך בהטמעת חומרה חיצונית נוספת. בעוד שקיימים הבדלי איכות בין דגמים שונים של מכשירי סמארטפון, ניתן לצפות למצוא את יכולות החישה והרזולוציות המצוינות בטבלה גם בסמארטפונים הפשוטים ביותר הנמצאים כיום בשוק.

טבלה 1: טכנולוגיות למדידת מיקום ותנועה בטלפונים ניידים המבוססות על מידע המגיע מהטלפון הנייד עצמו

טכנולוגיה	תיאור	רזולוציה מרחבית ^א	תדירות דגימה ^ב	Indoor (I) Outdoor (O)	הערות
GPS (A-GPS)	מכשירי GPS מאפשרים קבלת מיקומים ברזולוציה עיתית ומרחבית גבוהה בהסתמך על חישובי טרילטרציה של אותות רדיו המשודרים מלוויני ה-GPS	מספר מטרים	שניות 1Hz (ומטה)	O	מערכת לווייני ה-GPS האמריקאית NAVSTAR היא מערכת הניווט הלווייני הנפוצה ביותר. קיימים כיום גם מספר מכשירים העושים שימוש במערכת ה-GPS הרוסית GLONASS על מנת לשפר את האיכות והפונקציונאליות של המעקב הלווייני
זיהוי אנטנה סלולארית ^א Cell ID	מיקום הטלפון נקבע על סמך מיקומה אליה האנטנה הטלפון הנייד בזמן נתון	500מ' עד 5 ק"מ (תלוי בצפיפות האנטנות הסלולאריות)	שניות 1Hz (ומטה)	I+O	מיקום על פי אנטנה סלולארית מתקבל באופן די פשוט במרבית הטלפונים החכמים. הדיוק המרחבי של נתונים אלה בסביבות עירוניות בעלות צפיפות גבוהה של אנטנות הוא גבוה. לעומת זאת באזורים כפריים ופתוחים הדיוק יכול לרדת לכדי מספר קילומטרים

הערות	Indoor (I) Outdoor (O)	תדירות דגימה ^b	רוזולוציה מרחבית ^a	תיאור	טכנולוגיה
על מנת לאכן את הטלפון על סמך נקודות גישה אלחוטיות המשתמש צריך להשאיר את ה WiFi של המכשיר דולק. לא ניתן לבצע איכון של המכשיר בהעדר נקודות גישה אלחוטיות (למשל, באזורים פתוחים)	I+O	שניות 1Hz (ומטה)	10-50 מ'	ניתן לקבוע את מיקומו של הטלפון הנייד על פי נקודות הגישה האלחוטיות בהסתמך על שתי שיטות עיקריות: מדידת עוצמת האות האלחוטי או fingerprinting	מיקום לפי נקודות גישה אלחוטיות ^a WiFi Position-ing
על ידי שימוש במשדרי Bluetooth חיצוניים ניתן לקבוע גם את המיקום האבסולוטי של הטלפון	I+O	שניות 1Hz (ומטה)	מספר מטרים	טכנולוגיית Bluetooth מבוססת על גלי רדיו קצרים. ניתן להשתמש בה לזיהוי קרבה בין שני מכשירי טלפון ויותר (מיקום יחסי)	Bluetooth
עם הגידול בפופולאריות של סמארטפונים גדל באופן משמעותי גם השימוש באקסלרומטרים למטרות מחקר	I+O	מילי-שניות (100Hz~)		מזהה את תאוצת המכשיר. ניתן להשתמש במידע זה לזיהוי אמצעי התחבורה, עוצמת וסוג הפעילות (למשל, הליכה ריצה, נהיגה)	אקסלרומטר ^c Accelerometer
מודד כיוון ולא מיקום	I+O	מילי-שניות (100Hz~)		מגנטומטר יכול לזהות את כיוון ההתקדמות	מגנטומטר ^c Magnetometer
עדיין לא נעשה שימוש נרחב במידע של הגיירוסקופ למטרות מחקריות	I+O	מילי-שניות (100Hz~)		מאפשר לטלפון לקבוע את האוריינטציה שלו	גיירוסקופ ^c Gyroscope
חיישן הברומטר עדיין איננו נפוץ כל כך בסמארטפונים סטנדרטיים	I+O	שניות 1Hz (ומטה)		מודד לחץ ברומטרי. מידע זה יכול לשמש לקביעת גובה ותנועות אנכיות ולקבלת מידע סנסורי שימושי אחר	ברומטר ^c Barometer

^a ניתן להשתמש בטכנולוגיות RFID לקביעת מיקום. עם זאת, הדבר מצריך התקנה של תשתיות וחומרה חיצוניות.

a הרזולוציה המרחבית הצפויה תחת תנאים אופטימאליים.

b אלו הן תדירויות הדגימה הגבוהות ביותר להן ניתן לצפות בסמארטפונים. תדירויות דגימה גבוהות מעיין אלה גורמות לעומס על הסוללה של הטלפון ולכן לא ניתן בדרך כלל לבצע דגימה ארוכה ורציפה בקצבי דגימה כאלו.

c טכנולוגיית A-GPS עושה שימוש במידע מרשתות תקשורת חיצוניות על מנת לשפר את הפונקציונאליות של ה GPS ובעיקר את מהירות קביעת המיקום הראשוני (time to first fix). טכנולוגיה זו הופכת להיות הסטנדרט בטלפונים ניידים חכמים.

d יש צורך במידע חיצוני לגבי הרשת ותשתיות התקשורת על מנת לאכן את מיקום הטלפון. עם זאת, מרבית הטלפונים החכמים ומערכות ההפעלה השונות מספקים מיקום על בסיס רשת התקשורת באופן פשוט למשתמש. מיקומים המבוססים על תשתיות התקשורת משמשים בדרך כלל כבריירת מחדל במקרים בהם מיקום GPS אינו זמין.

e על ידי שימוש במגנטומטר, אקסלרומטר וגיירוסקופ ניתן לקבוע מיקום יחסי של מכשיר הטלפון במקומות סגורים לטווחים קצרים.

מערך הסנסורים בהם מצוידים סמארטפונים משדרג את יכולתנו לאסוף פרמטרים לגבי מיקום ותנועה במספר דרכים ביחס לשיטות האיתור המסורתיות יותר:

1. טכנולוגיות המיקום הקיימות בטלפונים חכמים מאפשרות לאתר את המכשירים הן במקומות פתוחים והן בחללים סגורים. משימה זו איננה אפשרית לביצוע כאשר מדובר במכשירי איתור ייעודיים הפועלים בדרך כלל רק באחד משני סוגי המרחבים.
2. שילוב הסנסורים והטכנולוגיות מביא ליצירת מנגנון פיצוי וגיבוי - כאשר טכנולוגיות איתור אחת איננה זמינה הטלפון יכול להיעזר בטכנולוגיה אחרת על מנת לנסות ולאתר את מיקום המכשיר. למשל, כאשר לא ניתן לאכן את הטלפון באמצעות ה-GPS, הטלפון ינסה לאכן את המיקום באמצעות נקודות גישה אלחוטיות (WiFi), ובמידה וגם אפשרות זו לא זמינה המכשיר ייקבע את מיקומו באמצעות זיהוי האנטנה הקרובה ביותר.
3. לסמארטפונים יש היכולת לספק מידע רלוונטי פרט למיקום. חיישן האקסלרומטר למשל מאפשר לחוקרים לאסוף מידע בנוגע לתנועה של משתמשי הטלפון במבנים סגורים ובסביבות פתוחות ולהוות את סוג התחבורה בה נעשה שימוש (Miluzzo et al. 2008).

יישום שיטות איתור למחקר ולתכנון עירוני בעידן ה-Big Data

קיימים כיום שתי שיטות עיקריות ליישום נתוני שיטות איתור במחקר. השיטה הראשונה נוקטת בגישה מסורתית של מחקר במדעי החברה והיא כוללת גיבוש של שאלת מחקר שבעקבותיה החוקרים יוצרים מערך מחקר מסודר המתבסס, בין השאר, על איסוף נתוני זמן-מרחב מדויקים באמצעות שיטות איתור. בדרך זו אוספים החוקרים מידע ממדגם של אוכלוסייה מסוימת שהוגדרה מראש. משתתפים במחקרים אלה מוסרים מידע לחוקר לפני, במהלך ולעיתים גם בסיום השתתפותם במחקר, אשר עוזר לחוקרים להבין את המניעים והגורמים שהשפיעו על פעילותם של המשתתפים בזמן ובמרחב. סוג זה של מחקר אינו שונה ממה שהכרנו בעבר וההבדל העיקרי הוא השימוש בכלים מדויקים לאיסוף נתוני זמן-מרחב וכן אפשרות לביצוע שאילתות בזמן אמת, כאשר המחקר מתבסס על טלפונים חכמים. בעתיד הקרוב ניתן יהיה בעקבות הוספה של חיישנים חיצוניים לטלפונים החכמים גם לקבל מדידות אובייקטיביות של תחושות בצורה של מדדים ביומטריים המבטאים את התגובה הפיזיולוגית של אנשים לסביבה החיצונית שלהם.

בנוסף לגישה שתוארה לעיל של שימוש בשיטות איתור כדי לשפר את יכולתינו המחקריות המסורתיות הרי שקיימים היום יותר ויותר מסדי נתונים דיגיטליים לגבי התנהגות עיתית ומרחבית של אנשים, אשר ניתן לרתום לצרכים מחקריים. נתונים אלה כוללים למשל נתוני שיחות מהרשתות הסלולאריות, רישומי פעולות של חברות כרטיסי אשראי, ציודי טוויטר ועוד. אלו הם מקורות נתונים חדשים בעלי אטרקטיביות רבה ליישום מחקרי מכיוון שהם מאפשרים גישה למדגמים וכמויות מידע עצומים שלא היו זמינים בעבר. בנוסף, השימוש במקורות נתונים אלה יכול לחסוך את הצורך ביישום והטמעה של שיטות איסוף נתונים יקרות ומסורתיות יותר (Shoval)

(and Isaacson, 2010). על אף האטרקטיביות הגדולה בשימוש במקורות נתונים חיצוניים, נתונים אלה אינם מספקים לנו כמקובל במדעי החברה הסברים ומניעים ביחס לפעילות - בעוד שהנתונים מתארים לנו באופן מדויק את המיקום בזמן ובמרחב של אוכלוסיות שלמות, קשה לחוקרים להבין את הגורמים העומדים בבסיסה של התנהגות זו. יש כאן מעין "חישה מקרוב" של פעילות האוכלוסייה ללא יכולת הסבר מעמיקה. זהו חיסרון מהותי ביחס לגישה המסורתית יותר. כיום ישנו מאמץ להצלב מידע ממאגרי מידע מרחביים שונים בכדי להתגבר על חסרון זה (Furletti et al., 2013). חיסרון נוסף של שימוש במאגרים חיצוניים הוא בעיית הייצוגיות. במקרים רבים ובעיקר כאשר מדובר בשימוש בנתונים מרשתות חברתיות אין לנו ביטוי הולם לכלל קבוצות האוכלוסייה. כך למשל בישראל אנו נצפה לייצוג חסר של אוכלוסיות מבוגרות ומסורתיות. על אף חסרונות הגישה, נראה שאנו בכל זאת עומדים בפני שלב מעניין ומאתגר בחקירה המדעית של פעילות זמן מרחב של אנשים במדעי החברה.

להלן רשימה של עיקרי התרונות הגלומים בשימוש בשיטות איתור על פני השיטות המסורתיות יותר לביצוע מחקר וגיבוש תובנות לניהול ותכנון של המרחב העירוני:

מהירות איסוף הנתונים וניתוחם: העובדה שהנתונים נאספים ונשמרים באופן דיגיטלי ובזמן אמת מאפשרת את ניתוחם תוך מספר ימים בודדים ולפעמים אף בזמן אמת כאשר קיים צורך בכך. דוגמא לכך ניתן לראות בשימוש שנעשה בנתונים המגיעים ממכשירי טלפון ניידים במטרה ללמוד על דפוסי יוממות בערים. מחקרים מעין אלה נעשו כבר במספר לא מבוטל של ערים בעולם, למשל מחקרו החלוצי של Ahas ביחס לטאלין בירת אסטוניה (Ahas and Mark, 2005). ניתן למצוא גם מחקרים דומים שבוצעו לאחרונה בישראל עבור המטרופולינים הישראליים. היתרון העיקרי בהתבססות על נתונים אלה לעומת השיטה הקיימת בישראל לגיבוש דפוסי היוממות של ניתוח נתוני המפקד הוא במהירות בה ניתן לקבל את תוצאות הבדיקה, למעשה כמעט בזמן אמת או לכל היותר מספר ימים בודדים עבור הניתוח וזאת לעומת חודשים רבים במקרה של המפקד.

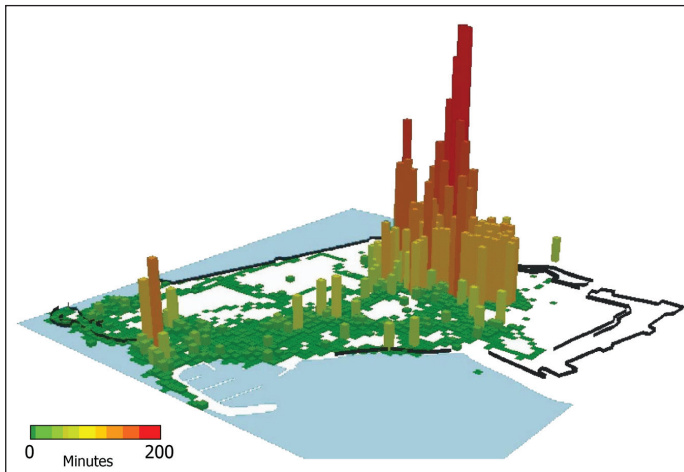
יכולת לחזרות תכופות על הניתוחים: כאשר נתונים נאספים באופן קבוע וסדור, כמו במקרה של נתוני הרשת הסלולארית על פעילות המנויים, הרי שניתן לבצע ניתוחים חוזרים בתדירות גבוהה. בהקשר של בדיקת דפוסי היוממות במטרופולינים, הרי שלא רק שניתן לקבל את התוצאות מהר יותר מבעבר כפי שהדגשנו בסעיף הקודם, קיימת גם יכולת לחזור על הבדיקה מעת לעת כל מספר חודשים או שנים. על ידי כך ניתן לזהות במהירות וביעילות מגמות חדשות בדפוסי היוממות וזאת בניגוד למצב הקיים ברוב המדינות (כולל בישראל) בהן דפוסי יוממות מוגדרים בעקבות מפקדים שנערכים במקרה הטוב כל עשור בשל עלותם. לנושא זיהוי דפוסי היוממות יש חשיבות בישראל ביחס להגדרת גבולות המטרופולינים.

היכולת לחזור על ניתוחים והעובדה שהנתונים זמינים ביחס לכל יום וביחס לכל שעה מאפשרת גם לבדוק השפעות של מקרי קיצון על הדפוסים, למשל לבחון את ההשפעה של אירוע מזג אוויר חריג על פעילות אנשים בזמן ובמרחב. בעבר ניתן היה לבחון תוצאות של אירועים אלה רק על ידי סימולציות שונות

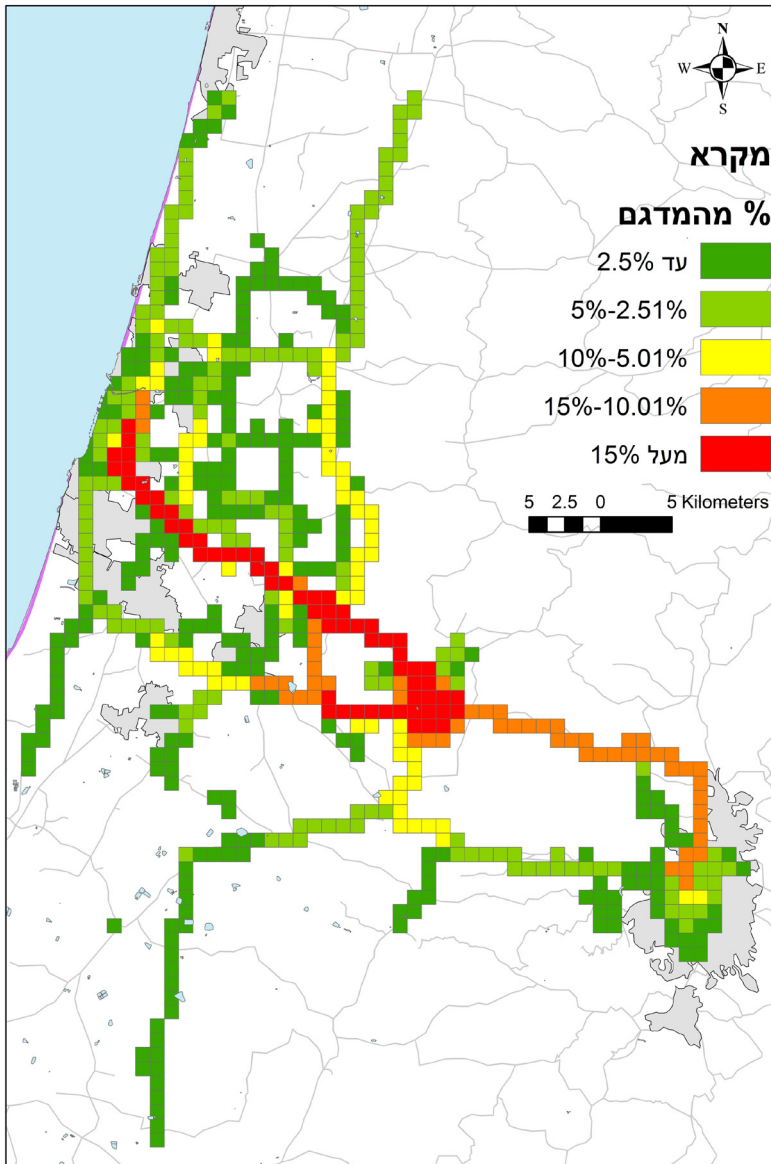
ואילו כיום ניתן לבחון את ההתנהגות של אנשים בפועל ובאמצעותה אף לשפר את התקפות והמהימנות של הסימולציות והמודלים.

רזולוציה גבוהה בזמן ובמרחב: העובדה ששיטות איתור יכולות לספק נתונים ברמות דיוק של מטרים בודדים מאפשרת לחקור בצורה מאוד מדויקת את הדרך שבה תושבי העיר או המבקרים בה משתמשים במרחב העירוני. אחד המחקרים הראשונים שפורסמו בהקשר זה היא זו עבודתו של Shoval (2008) לגבי פעילות של מבקרים בעכו העתיקה. באיור 1 המצורף ניתן לראות שעכו העתיקה חולקה לתאים של 10 על 10 מטרים ולמעשה בדרך זו בוצעה "פיקסיליזציה של העיר". ביחס לכל ריבוע חושב משך השהות הממוצע של כלל המבקרים הבא לידי ביטוי בצבע וגובה העמודה. רמה זו של רזולוציה מרחבית ועתית לא היתה אפשרית בעבר כשהנתונים נאספו על ידי אמצעים כגון יומני פעילות זמן מרחב.

גמישות קנה המידה: הרזולוציה העתית והמרחבית של שיטות האיתור ובייחוד של מערכת ה-GPS מאפשרת לבצע ניתוחים בקני מידה משתנים. החל מרמה של מקטע עירוני מצומצם או שכונה, ועד רמה עירונית, אזורית או אף ארצית. היתרון הגדול כאן הוא שנתונים שנאספו פעם אחת יכולים לשמש למגוון של מטרות. בהקשר של תכנון, הנתונים יכולים להוות בסיס לתכנון לאומי, מחוזי, מקומי ואפילו עד רמה של תוכנית בניין עיר. דוגמא טובה לכך הם הנתונים שנאספו על ידי חברת Geostats עבור צוות תוכנית אב לתחבורה בירושלים כבסיס למודל התחבורה של ירושלים שהולך ונבנה בשנים האחרונות (Oliveira et al., 2011) במסגרת פרוייקט זה, בו השתתפו כשלושה אחוזים מתושבי העיר ירושלים בני כל הדתות והעדות נדגמו אלפי משקי בית בירושלים ובסביבתה. הנתונים מאפשרים הבנה של הפעילות בקנה המידה המקומי של אזורי תנועה, בקנה מידה של העיר כולה, של המטרופולין ואף מעבר לו (איור 2 מציג את פעילותם במרחב של 620 מתושבי העיר מודיעין שהשתתפו בסקר זה).



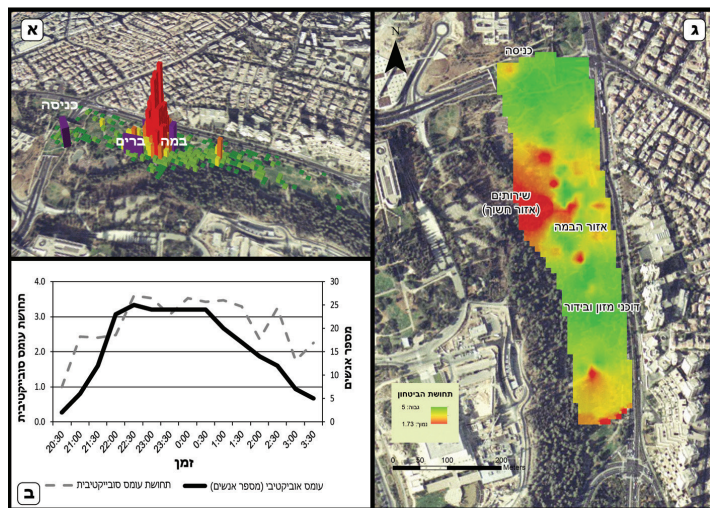
איור 1: שהות של מבקרים בעכו העתיקה בחלוקה לתאים בגודל 10X10 מ'



איור 2: דפוסי פעילות של תושבי העיר מודיעין (מבוסס על מדגם מייצג של 620 תושבי מודיעין)

אמינות גבוהה ביחס למיקום המשתתפים בזמן ובמרחב: אחת הבעיות בשימוש ביומני פעילות זמן מרחב היא שלעיתים אין וודאות שהמיקום אותו מסר המשתתף אכן משקף את מיקומו האמיתי. דבר זה יכול לנבוע מחוסר הכרות של המשתתף עם המרחב בו הוא נמצא, בשל הימצאותו בחלק לא מוכר של העיר למשל. במקרה של תיירים הדבר מובן עוד יותר עקב חוסר היכרותם עם המרחב בו הם שוהים. חלק גדול מבעיות האמינות גם נובע מטעויות של שכחה כאשר היומן אינו ממולא בזמן אמת, אלא באופן רטרוספקטיבי כפי שנעשה במקרים רבים של יומני פעילות זמן-מרחב.

עומס השתתפות קטן יחסית: נשיאת מכשיר איתור המקליט את פעילות הנחקר באופן אוטומטי מקטינה את עומס ההשתתפות מצידו של המשתתף. זאת לעומת מחקרי יומן פעילות בהם נדרש הנחקר לספק מידע לגבי פעילותו מספר פעמים ביום. לראיה אנו יכולים למצוא מחקרים שעשו שימוש בשיטות איתור בשנים האחרונות גם בקרב אוכלוסיות חלשות יחסית ואשר נמשכו לאורך מספר חודשים ברציפות (Shoval et al., 2008; Barzilay et al., 2011). איסוף נתונים בדרך זו גם מקטין את עומס העבודה המוטל על החוקר שאינו צריך לקודד שאלונים ידניים, כיוון שכל הנתונים נכנסים כבר מלכתחילה למסדי נתונים דיגיטליים שקל יחסית לעבוד איתם.



איור 3: פעילות סטודנטים במהלך יום הסטודנט

בהקשר של טלפונים חכמים (סמארטפונים) ניתן להוסיף גם מספר יתרונות ייחודיים:

איסוף יעיל הן של מידע סובייקטיבי והן של מידע אובייקטיבי לגבי הפעילות של אנשים: בדומה לשיטות איתור אחרות, סמארטפונים יכולים לספק מידע אובייקטיבי לגבי פעילות מרחבית של אנשים כמו מיקום מדויק

הפוטנציאל של שיטות איתור לשיפור התכנון העירוני

מוקדם עוד לדעת מה יהיו היישומים השונים של שיטות האיתור השונות על תהליך התכנון העירוני, אולם לדעתנו ניתן להצביע על מספר תחומים בהם תתכן תרומה משמעותית של המהפכה הטכנולוגית הזו על עולם התכנון:

בשלב הראשון של התכנון בו מתבצע מיפוי המצב הקיים, ניתן כבר היום וביתר שאת בעתיד לאסוף מידע רב על אופן השימוש של מרחבים שונים על ידי משתמשים שונים וכל זאת ברזולוציה גבוהה מאוד מבחינת הדיוק המרחבי והעתי. יתרון נוסף היא העובדה שהתכנון יכול להתבסס על נתונים עדכניים ולא דווקא על נתוני מפקדים או סקרים הנעשים רק כל מספר שנים. אנו עדים כבר עתה לשימוש שכזה בשיטות איתור בסקרי תחבורה המהווים בסיס לתכנון תחבורה ברמה העירונית, האזורית והלאומית.

שיתוף הציבור יוכל לקבל חיזוק טכנולוגי, ובעקבות כך להתפתח למימדים חדשים ולכלול ציבור נרחב יותר. ניתן יהיה לשלוח סקרים מבוססי מיקום לתושבים הרלוונטיים ולקבל משוב מדויק יותר על התכנון העתידי. הדבר יאפשר גם לאזרחים מן השורה לאסוף נתונים באופן יזום ואלו יוכלו לשמש בתהליך התכנון. הנתונים המדויקים שיאספו כבסיס לתכנון יאפשרו יצירת סימולציות כבסיס להצגת חלופות תכנון מבוססות יותר. שיתוף ציבור מעין זה קשור בפרקטיקות מחקר ואיסוף נתונים שזוכות לפופולריות הולכת וגדלה בשנים האחרונות. אלה ידועות בשמות שונים כגון "citizen science" ו-"participatory sensing". גם במקרה זה אנו כבר עדים לדוגמאות, למשל באנגליה, בהן פותחו פלטפורמות ייעודיות המאפשרות לאזרחים לשתף מידע מרחבי באמצעות הסמארטפון האישי שלהם כחלק מתהליך התכנון.

שימוש בשיטות איתור יאפשר גם הערכה טובה יותר של תוצאות התכנון. אם בשלב הראשון של התכנון נאספו נתונים אודות השימוש במרחב, הרי שלאחר סיום ההליך התכנוני ניתן יהיה לבחון את השפעת התכנון על ידי ביצוע סקרים חוזרים ולבחון האם וכיצד הביא התכנון לשינוי באופן בו התושבים צורכים את המרחב החדש. כך ניתן לבחון למשל הצלחה של תכנון תיירותי בערים היסטוריות שמטרתו להקטין גודשי תנועה של רכבים והולכי רגל.

סיכום ודיון

מאמר זה ניסה להציג את ההתקדמות הרבה שהתרחשה בעשור האחרון בתחום שיטות האיתור וביכולתן לתרום לקידום המחקר בתחום הגאוגרפיה העירונית ובתחום התכנון העירוני. כפי שהוצג, ישנם כבר מחקרים לא מעטים שעשו שימוש בשיטות איתור לצורך מחקר גאוגרפי עירוני וניכר שקיים עוד פוטנציאל גדול בתחום זה. אין ספק שיש חשיבות מיוחדת לשימוש שנעשה בשנים האחרונות בסמארטפון ככלי לאיסוף נתונים. זאת מכיוון שהוא מאפשר גמישות מחקרית רבה, שילוב בין מספר רב של שיטות איתור וחיישנים וביצוע של מחקרים בזמן אמת. קצב החדירה המהיר של הסמארטפון בקרב האוכלוסייה בארץ ובעולם הביא ליצירתן של הזדמנויות מחקר רבות במדעי החברה, ובתחום העירוני בפרט.

למרות ההבטחה הגדולה הטמונה בסמארטפון, הוא עדיין טומן בחובו כמו כל כלי מחקר אחר, מספר חסרונות שונים: משך הסוללה הקצר יחסית של הסמארטפונים ובייחוד כאשר נעשה שימוש אינטנסיבי בסנסורים השונים

לאיסוף נתונים פוגע ביכולת לאסוף נתונים באופן רציף ומתמשך (Raento, Oulasvirta and Eagle 2009; Lane et al. 2010). אולם, אין ספק שסוללות חזקות יותר בשילוב עם אלגוריתמים משופרים של דגימה ישפרו את המצב בעתיד הקרוב. בעיה נוספת קשורה לייצוגיות המדגם. למרות התפוצה הגבוהה של סמארטפונים בעולם המערבי, הרי שעדיין לא כל האוכלוסייה מחזיקה ברשותה טלפון חכם. עובדה זו יכולה להוביל להטיות במדגם ובעיקר בקרב משתתפים מבוגרים ואוכלוסיות מסורתיות יותר. סביר שהטיה זו תיפתר בעתיד עם הוזלתם של המכשירים וחזירתם בקרב כלל האוכלוסייה. בכל מקרה כאשר מדובר על דגימה של קבוצה קטנה ומוגדרת ניתן להתגבר על מגבלה זו באמצעים שונים, כולל חלוקה של מכשירי טלפון. חסרון שלישי שיכול להקשות על יישום מהיר וחלק של סמארטפונים ככלי מחקר הוא הצורך בידע בתכנות רלוונטי. כיום יש עם זאת התקדמות בפיתוח של תוכנות גנריות לשימוש במחקר אותן ניתן ליישם בקלות יחסית במחקרים שונים ללא ידע קודם בתחום התכנות. חסרון נוסף קשור ליכולות הנחותות יחסית של מקלטי ה-GPS המותקנים בסמארטפונים לעומת מקלטי GPS במכשירים יעודיים (GPS Loggers). הדבר בא לידי ביטוי בהבדלים בדיוק לרעת הסמארטפונים, אולם השיפור המהיר והמתמיד בין הדגמים השונים של הסמארטפונים מלמד אותנו שזו רק שאלה של זמן עד ש-GPS של מכשירים אלה ישודרג ויגיע לרמות הדיוק של המכשירים הייעודיים.

נושא שלא נדון במאמר זה אולם חשוב לציין הוא שתודות לרזולוציה הגבוהה של הנתונים המרחבים והעתיים הזמינים, נוצרות כיום אפשרויות חדשות ליצירת מודלים, סימולציות וכריית נתונים (Xia et al., 2008). שיטה חדשה יחסית לניתוח רציפים של פעילות בזמן המרחב המותאמת במיוחד לסוג הנתונים המתקבל כתוצאה משימוש בשיטות איתור היא שיטת "התאמת הרציפים" (Sequence Alignment). זוהי שיטה שנוצרה במהלך שנות השמונים בתחום הביוכימיה ויושמה גם בתחום מדעי החברה בהקשר לניתוח רציפי פעילות בשנות התשעים של המאה הקודמת (Abbot, 1995; Wilson, 1998) ולניתוח רציפי פעילות עבור חקירה מרחבית (Shoval and Isaacson, 2007; Wilson, 2008).

ביחס לכל שיטות האיתור קיימת תמיד שאלת הפרטיות המרחבית של המשתמשים במכשירים אשר יכולים לחשוף את מיקומם בזמן ובמרחב של המשתמשים. שאלה זו מתעוררת לא רק לגבי שיטות איתור, אלא לגבי השימוש שעושות חברות של מדיה חברתית כגון טוויטר ופייסבוק במידע הרב שנאסף ביחס למשתמשים בשירותיהם. שאלות של פרטיות המשתתפים במחקרים ושמירה על זכויותיהם קיבלו התייחסות נרחבת במחקר (Burke et al. 2006; Shoval et al. 2014). חששות אלה קטנים יותר כאשר המשתתפים מגויסים ישירות על ידי חוקרים. במקרים כאלה החוקרים מחויבים בהתנהלות אתית המוגדרת להם על ידי הגוף המחקרי אליו הם משתייכים במטרה להגן על פרטיותם של המשתתפים. שאלה נוספת שעולה וטרם זכתה למחקר שיטתי היא השאלה אם עצם הידיעה שהמשתתף נמצא במעקב באמצעות שיטות איתור משנה את פעילותו המרחבית? זוהי שאלה שראוי לבדוק בהקדם ככל שמחקרים המתבססים על שיטות איתור נעשים יותר ויותר נפוצים. עם זאת, היא אינה רלוונטית במידה והנתונים מגיעים מאיכון פאסיבי או כאשר משך הדגימה ארוך יחסית, כיוון שבמחקרים בהם מתקיימת דגימה ארוכה של

הַמְשַׁתְּנֵפִים בַּמַּחְקָר בַּמִּשְׁךְ שָׁבוּעַ, חוֹדֵשׁ אוּ יוֹתֵר יִתְקַשׁוּ הַנְּחַקְרִים לַשְּׁנוֹת אֶת פְּעִילוֹתֵם רַק בְּכַדֵי לְרִצּוֹת אֶת הַסּוֹקֵר.

לְסִיּוּם, הָעוֹבְדָה שֶׁלִּמְרֵבִית אוּכְלוֹסִיית הָעוֹלָם יֵשׁ טֶלְפוֹן סֶלּוּלָאָרִי בְּרִשׁוֹתָהּ (93% מְאוּכְלוֹסִיית הָעוֹלָם) (World Bank 2014), מְבִיאָה אוֹתָנוּ לְמַצֵּב שְׁבוּ כָּל אָדָם יֵשׁ לְמַעֲשֵׂה כְּתוּבַת IP שְׁנִיתָן לְאַתֵּר. אַחוּזֵי הַטֶּלְפוֹנִים הַחֲכָמִים מְקַרְבִּים בְּעֵלֵי הַטֶּלְפוֹן הַנִּייד רַק הוֹלֵךְ וְעוֹלָה וּלְכֵן לְמַעֲשֵׂה מְרֵבִית מְשַׁתְּמֵשִׁי הַטֶּלְפוֹן בְּעוֹלָם הַמְּפוֹתָח מְחֻזְּקִים בִּידָם מַחֲשֵׁב נִייד קֵטָן וְחֲכָם עִם יִכּוֹלוֹת חִישָׁה וְתַקְשׁוּרַת מְתַקְדְּמוֹת בְּיוֹתֵר. בְּצוּרָה כִּזוֹ אֲנִשִּׁים הוֹפְכִים בְּמִידָה רַבָּה לְהִיּוֹת סְנִסּוּרִים מְהֻלְכִים הַמְּעִבִירִים נְתוּנִים שׁוֹנִים בְּזִמְנָן אִמֵּת (בְּאוֹפֵן אֲקֻטִּיבִי אוּ פְּאִסִּיבִי) עַל דְּבָרִים הַמְּתַרְחֵשִׁים בְּעִיר. כִּיּוֹם יֵשׁ לָנוּ כְּבֵר מַעֲרֻכּוֹת מְסַחְרוֹת שְׁעוֹשׂוֹת שִׁימוּשׁ בְּכַךְ לְצוּרְכֵי תַּחְבּוּרָה, בְּעֵתִיד יֵשׁ לְהַנִּיחַ שְׁנוֹשָׂאִים נוֹסְפִים כְּגוֹן זִיָּהוּם אוּוִיר יְנוֹטֵרוֹ וְיִנְתַּחוּ בְּצוּרָה דּוּמָה. אֲנוּ נִמְצָאִים בְּעִיצוּמָה שֶׁל מְהַפְּכָה בְּתַחוּם הַמַּחְקָר הָעִירוֹנִי וְשִׁטּוֹת הַמַּחְקָר בְּהֵן עוֹשִׂים שִׁימוּשׁ לְהַבְנַת הָעִיר הוֹלְכוֹת וּמְשַׁתְּנוֹת לְנֶגֶד עֵינֵינוּ.

מְקוּרוֹת

Abbott, A. 1995. Sequence Analysis: New Methods for Old Ideas. *Annual Review of Sociology* 21: 93-113.

Ahas, R and Mark, Ü. 2005. 'Location based services – new challenges for planning and public administration?', *Futures*, 37: 547-61.

Ahas, R., Aasa, A., Roose, A., Mark, U., and Silm, S. 2008. Evaluating Passive Mobile Positioning Data for Tourism Surveys: An Estonian Case Study. *Tourism Management* 29(3): 469-86.

Anderson, J. 1971. Space-Time Budgets and Activity Studies in Urban Geography and Planning. *Environment and Planning A* 3 (4): 353–68.

Barzilay, Y., Shoval, N., Liebergall, M., Auslander, G. K., Birenboim, A., Isaacson, M., Vaccaro, A. R. and Kaplan, L. 2011. Assessing the Outcomes of Spine Surgery Using Global Positioning Systems. *Spine* 34 (4): 263-67.

Birenboim, A., Reinau, K. H., Shoval, N. and Harder, H. 2015. High Resolution Measurement and Analysis of Visitor Experiences in Time and Space: The Case of Aalborg Zoo in Denmark. *The Professional Geographer* 67 (4): 620-629.

Birenboim, A., and Shoval, N. (Accepted 23.5.2015) Mobility Research in the Age of the Smartphone. *Annals of the Association of American Geographers*.

Bohte, W. and Maat, K., 2009. Deriving and Validating Trip Purposes and Travel Modes for Multi-Day GPS-Based Travel Surveys: A large-Scale Application in the Netherlands. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 17 (3): 285–97.

Burke, J. A., Estrin, D., Hansen, M., Parker, A., Ramanathan, N., Reddy, S. and Srivastava, M. B. 2006. Participatory Sensing. Los Angeles: UCLA Center for Embedded Network Sensing.

Cheng, Z., Caverlee, J., Lee, K. and Sui, D. 2011. Exploring Millions of Footprints in Location Sharing Services. In *International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*.

Elgethun, K., Fenske, R. A., Yost, M. G. and Palcisko, G. J. 2003. Time-Location Analysis for Exposure Assessment Studies of Children Using a Novel Global Positioning System Instrument. *Environmental Health Perspectives* 111 (1): 115–22.

Furletti, B., Cintia, P., Renso, C., & Spinsanti, L. (2013). Inferring Human Activities from GPS Tracks. *Proceedings of the 2nd ACM SIG-KDD International Workshop on Urban Computing, 2013, Chicago, IL*. New York: ACM.

Gaggioli, A., Pioggia, G., Tartarisco, G., Baldus, G., Corda, D., Cipresso, P. and Riva. G. 2011. A Mobile Data Collection Platform for Mental Health Research. *Personal and Ubiquitous Computing* 17 (2): 241–51.

Goodchild, M. F., and Janelle, D. G. 1984. The City around the Clock: Space - Time Patterns of Urban Ecological Structure. *Environment and Planning A* 16 (6): 807–20.

Goodchild, M. F. 2007. Citizens as Sensors: The World of Volunteered Geography. *GeoJournal* 69 (4): 211–21.

Kaplan, E. D. 1996. *Understanding GPS, Principles and Applications*. Norwood MA: Artech House.

Lane, N., Miluzzo, E., Lu, H., Peebles, D., Choudhury, T. and Campbell, A. 2010. A Survey of Mobile Phone Sensing. *IEEE Communications Magazine* 48 (9): 140–50.

Miluzzo, E., Lane, N. D., Fodor, K., Peterson, R., Lu, H. Musolesi, M., Eisenman, S. B., Zheng, X. and Campbell, A. T. 2008. Sensing Meets Mobile Social Networks: The Design, Implementation and Evaluation of the CenceMe Application. In *Proceedings of the 6th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems - SenSys '08*, 337–50. Raleigh, NC: ACM Press.

Miskelly, F. 2004. A Novel System of Electronic Tagging in Patients with Dementia and Wandering. *Age and Ageing* 33 (3): 304–6.

Nielsen. 2012. *Smartphones Account for Half of All Mobile Phones, Dominate New Phone Purchases in the US*. <http://www.nielsen.com/us/en/insights/news/2012/smartphones-account-for-half-of-all-mobile-phones-dominate-new-phone-purchases-in-the-us.html> (last accessed 8 April 2015).

- Nold, C. 2009. *Emotional Cartography: Technologies of the Self*. Creative Commons. <http://emotionalcartography.net>.
- Noulas, A., Scellato, S., Mascolo, C. and Pontil, M. 2011. An Empirical Study of Geographic User Activity Patterns in Foursquare. In *Proceedings of the Fifth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*, 11: 570–73.
- Oliveira, S. M. G., Vovsha, P., Wolf, J., Birotker, Y., Givon, D. and Paasche, J. 2001. Global Positioning System – Assisted Prompted Recall Household Travel Survey to Support Development of Advanced Travel Model in Jerusalem, Israel. *Transportation Research Record* 2246: 16-23.
- Pettersson, R. and Zillinger, M. 2011. Time and Space in Event Behaviour: Tracking Visitors by GPS. *Tourism Geographies* 13 (1): 1–20.
- Phillips, M. L., Hall, T. A., Esmen, N. A., Lynch, R. and Johnson, D. L. 2001. Use of Global Positioning System Technology to Track Subject's Location During Environmental Exposure Sampling. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 11: 207-15.
- Raento, M., Oulasvirta, A. and Eagle, N. 2009. Smartphones: An Emerging Tool for Social Scientists. *Sociological Methods & Research* 37 (3): 426–54.
- Richardson, D. B., Volkow, N. D., Kwan, M.-P., Kaplan, R. M. Goodchild, M. F. and Croyle, R. T. 2013. Spatial Turn in Health Research. *Science* 339 (6126): 1390–92.
- Shen, Y., Kwan, M.-P. and Chai, S. 2013. Investigating Commuting Flexibility with GPS Data and 3D Geovisualization: A Case Study of Beijing, China. *Journal of Transport Geography*, 32: 1–11.
- Sheridan, B. (2009) 'A Trillion Points of Data', *Newsweek*, March 9, 32-35.
- Shoval, N., Auslander, G. K., Freytag, T., Landau, R., Oswald, F., Seidl, U., Wahl, H. W., Werner, S. and Heinik, J. 2008. The Use Of Advanced Tracking Technologies for the Analysis of Mobility in Alzheimer's Disease and Related Cognitive Diseases, *BMC Geriatrics*, 8 (1): 7.
- Shoval, N. and Isaacson, M. 2006. Application of Tracking Technologies to the Study of Pedestrian Spatial Behavior. *The Professional Geographer* 58 (2): 172–83.
- Shoval, N. and Isaacson, M. 2007. Sequence Alignment as a Method for Human Activity Analysis in Space and Time. *Annals of the Association of American Geographers* 97 (2):282–97.
- Shoval, N. and Isaacson, M. 2010. *Tourist Mobility and Advanced Tracking Technologies*. New York: Routledge.

- Shoval, N., Kwan, M.-P. Reinau, K. H. and Harder, H. 2014. The Shoemaker's Son Always Goes Barefoot: Implementations of GPS and Other Tracking Technologies for Geographic Research. *Geoforum* 51: 1–5.
- Shoval, N. 2008. Tracking Technologies and Urban Analysis. *Cities* 25 (1): 21–28.
- Silm, S., and Ahas, R. 2014. Ethnic Differences in Activity Spaces: A Study of Out-of-Home Nonemployment Activities with Mobile Phone Data. *Annals of the Association of American Geographers* 104 (3): 542–59.
- Terrier, P. and Schutz, Y. 2005. How Useful is a Satellite Positioning System (GPS) to Track Gait Parameters? A Review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 2: 28.
- Thornton, P. R., Williams, A. M. and Shaw, G. 1997. Revisiting Time-Space Diaries: An Exploratory Case Study of Tourist Behaviour in Cornwall, England. *Environment and Planning A* 29 (10): 1847-67.
- Wilson, C. 1998. Activity Pattern Analysis by Means of Sequence-Alignment Methods. *Environment and Planning A* 30 (6): 1017-38.
- Wilson, C. 2008. Activity Patterns in Space and Time: Calculating Representative Hägerstrand Trajectories. *Transportation* 35: 485–99.
- Wolf, J., Guensler, R. and Bachman, W. 2001. Elimination of the Travel Diary: Experiment to Derive Trip Purpose from Global Positioning System Travel Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1768: 125–34.
- World Bank, The. 2014. *World Development Indicators* 2014. <http://data.worldbank.org/products/wdi>.
- Xia, J., Arrowsmith, C., Jackson, M. and Cartwright, W. 2008. The Wayfinding Process Relationships between Decision-Making and Landmark Utility. *Tourism Management* 29: 445-57.
- Zhao, Y. 1997. *Vehicle Location and Navigation Systems*, Norwood MA: Artech House.