

שימוש בנתונים סלולאריים בניתוח פעילות מרחבית: המקרה של מע"ר מטרופולין תל-אביב

איל אשבל, יגאל צ'רני וערן רזין

תקציר

במאמר זה נעשה שימוש בנתוני רשתות סלולאריות לשם ניתוח פעילות מרחבית. מטרת המחקר היא להציג את האפשרויות והתרומה הפוטנציאלית הקיימת בשימוש בנתונים סלולאריים לצרכי תכנון. עד כה, מרבית הנתונים על הפעילות המרחבית כגון יוממות, נסיעה למטרות פנאי וקניות התבססו על נתונים שנאספו במסגרת מפקדי אוכלוסין וסקרים שונים. נתונים אלה הקיפו חלק מצומצם של האוכלוסייה ומסגרות הזמן בין איסוף הנתונים לבין זמינותם למטרות מחקר אפשרו ניתוח של התופעות זמן רב לאחר מדידתן. בשנים האחרונות, השימוש הנרחב בטלפונים חכמים חושף את התועלות הרבות שניתן להפיק מהמידע המצטבר במערכות התקשורת הסלולארית. במחקר זה נעשה שימוש בנתוני הרשת הסלולארית שנאספו ועובדו על ידי חברת סטארט-אפ ישראלית (טרנדאיט). אחד היתרונות של הנתונים הסלולאריים הוא האפשרות לזהות את מקומות הלינה/המגורים של המשתמשים והמקומות בהם הם שוהים במהלך היום. ניתוח הפעילות במע"ר מטרופולין תל-אביב בעזרת ביג דאטה (big data) מאפשר זיהוי ואומדן תופעות מוכרות תוך התבססות על נתונים אמפיריים וזאת באמצעות הגדרת יחידות גאוגרפיות ופרקי זמן המותאמים לצרכים ספציפיים. מילות מפתח: רשת סלולארית, טלפונים חכמים, ביג דאטה, פעילות מרחבית, מרכז עסקים ראשי, תל-אביב.

מבוא

במשך שנים רבות התבסס המחקר הגאוגרפי על מידע ביחידות מרחביות קבועות מראש ובתדירות עדכון נמוכה (מפקדי אוכלוסין, סקרים, וכדומה). העלות הגבוהה הכרוכה באיסוף מידע ברזולוציה גבוהה וברמות עדכון עיתיות תכופות הובילו למחקר המסתפק בניתוח תופעות זמן רב לאחר התרחשותן וברזולוציות שנקבעו מראש על ידי הגורמים האוספים את הנתונים. כתוצאה ממצב נטה המחקר "ליישר קו" עם הנתונים ולהתאים את מטרות המחקר לנתונים הקיימים.

ההתפתחויות הטכנולוגיות של השנים האחרונות טומנות בחובן הזדמנויות רבות לחוקרים העוסקים בזיהוי ובניתוח תופעות מרחביות. הפוטנציאל בולט במיוחד בכל הקשור לשימוש בטלפונים סלולאריים ששיעורי החדירה שלהם בעולם הגיעו ל-96% בשנת 2014 (Deville et al., 2014). הטלפונים החכמים הם מקור מידע חדש ומבטיח, המספק מידע רב על ההתנהגות האנושית במרחב ומאפשר בחינה של תהליכים מרחביים כמעט בזמן אמת. השימוש

בנתוני הרשת הסלולארית הוא בעל פוטנציאל לשנות מן היסוד את יכולת האבחון של התהליכים המתקיימים סביבנו תוך התייחסות למקום ולזמן בו הם מתקיימים בקנה מידה וברמות פירוט שטרם נראו.

מטרת המחקר היא להציג את האפשרויות והתרומה הפוטנציאלית הקיימת בשימוש בנתונים סלולאריים לצרכי תכנון. לגאוגרפים ומתכננים הרגילים לנתח נתוני מפקד או סקרים נפח המידע הסלולארי הוא בחזקת ביג דאטה. מאמר זה סוקר תחילה את השימוש במידע סלולארי במחקר הגאוגרפי בעולם, מתאר את מאפייני המידע הסלולארי ומצביע על האתגרים הניצבים בפני חוקרים אשר רוצים לעשות בו שימוש. לאחר מכן, מוצגים מאפייני המידע הסלולארי בהם נעשה שימוש במאמר הנוכחי. ניתוח חקר המקרה של מע"ר המטרופולין תל-אביב באמצעות מידע סלולארי מוצג בהמשך. הניתוח כולל בחינה של איכות הנתונים, ניתוח מסורתי של המע"ר (כמות מועסקים ומהיכן הם מגיעים) וניתוח חדשני הבודן את שעות ההתחלה וסיום העבודה של המועסקים במע"ר ברזולוציה זמן המתאפשרת בזכות המידע הסלולארי. הפרק האחרון כולל את סיכום הממצאים ודן באפשרויות הקיימות לשימוש במידע מסוג זה בשדה התכנון.

השימוש בנתוני רשת סלולארית לצרכי מחקר

העלייה בכמות ובמגוון הנתונים המרחביים הזמינים מרשתות סלולאריות ברחבי העולם, הוביל לגידול בשימוש בנתונים מסוג זה לצרכי מחקר, שעוסק בראש ובראשונה בדינמיקה של הניידות ושל הפעילות האנושית במרחב (Steenbruggen *et al.*, 2011; 2014). בשנת 1994 נעשה היישום הראשון בארה"ב בתחום של בחינת ניידות אנושית במסגרת פרויקט CAPITAL (Cellular Applied to ITS Tracking and Location) בו השתמשו החוקרים בנתוני רשת סלולארית ככלי לבחינת תנאי התנועה ברשת הדרכים. הניסיון האירופאי הראשון בחן אף הוא את תנאי התנועה ברשת הדרכים בזמן אמת (Bolla and Davoli, 2000). מאז נעשה שימוש במידע סלולארי במחקרים נוספים שעסקו בניידות אנושית (לסקירה רחבה ראה: Steenbruggen *et al.*, 2011). אחד הנושאים המרכזיים בהם נעשה שימוש בנתוני רשת סלולארית הוא ניתוח דפוסי יוממות (Novak *et al.*, 2013, Becker *et al.*, 2013, Becker *et al.*, 2012, Phithakkitnukoon *et al.*, 2011, Ahas *et al.*, 2010).

באסטוניה ריכזו במשך שנתיים נתונים אנונימיים של רשת סלולארית על כשליש מאוכלוסיית המדינה. מקום המגורים ומקום העבודה של משתמשי הרשת הסלולארית הוגדר בהתבסס על מיקומם של המשתמשים בשעות הלילה ובשעות העבודה וחושבה מטריצת "בית-עבודה" ברזולוציה מרחבית גבוהה אשר אינה מוגבלת על ידי יחידות איסוף המידע המסורתיות (Novak *et al.*, 2013). הניתוח כלל חישוב יחסים של אוכלוסיית יום-לילה, זיהוי מוקדים בהם מתבצעת פעילות של עבודה ומתן שירותים והגדרת היררכיה של אזורים פונקציונאליים באסטוניה. במחקר על השינוי היומי בחיי העיר, צירפו Ahas וחובי (2000) מידע מסקרים שכללו קבוצת תושבים שהתגוררה בפברוי טאלין בירת אסטוניה למידע הסלולארי. מחקרם הצביע על שגרת יוממות המשתנה בסופי שבוע. בזכות זמינות מידע מסקרים נמצא גם שמרחק הנסיעה הממוצע במהלך היום של נשים עובדות גדול יותר ממרחק הנסיעה של עקרות בית, אך קצר מזה של גברים עובדים. המחקר איתר, באמצעות

שימוש בנתוני הרשת הסלולארית מוקדי פעילות שונים של האוכלוסייה. בניגוד להשערה לפיה פרבור מוביל לריחוק האוכלוסייה הרלוונטית ממוקדי העיר והחיים העירוניים, נמצא שמרכז העיר טאלין הוא הבחירה המועדפת על האוכלוסייה בשעות הפנאי.

במחקרם בתחום הניידות האנושית, עשו Becker וחובי (2013) שימוש במידע סלולארי מקבוצה מקרית של מכשירים אשר כתובת משלוח הדואר לחיוב החודשי שלהם היא ברדיוס של עד 80 ק"מ ממרכזי הערים ניו יורק, סן פרנסיסקו ולוס אנג'לס וברדיוס של עד שמונה קילומטר מעיר קטנה בצפון מדינת ניו ג'רזי (Morristown). ממחקרם עלה כי, בממוצע, מרחקי הנסיעה של תושבי לוס אנג'לס גדולים מאלה של תושבי סן פרנסיסקו, ומרחקי הנסיעה של תושבי מנהטן הם הקצרים ביותר. בנוסף לכך, מצאו החוקרים כי קיימת שונות מרחבית ועיתית בדפוסי הניידות בין התושבים בעלי מרחקי הנסיעה הארוכים ביותר. תושבי ניו יורק נסעו למרחקים ארוכים יותר באופן משמעותי לעומת תושבי לוס אנג'לס. מרחקי הנסיעה של תושבי לוס אנג'לס וניו יורק בחורף היו קצרים יותר מאשר בקיץ. המחקר בחן גם את אגן התעסוקה והבילוי של העיר הקטנה, בהתבסס על נתוני מכשירים סלולאריים בעלי פעילות משמעותית במהלך שעות העבודה, ובמהלך יום חג (תהלוכת יום פטריק הקדוש) (Morristown). לתוצאות היה מתאם גבוה עם נתוני מפקד האוכלוסין בארה"ב.

תחום מחקרי נוסף, העושה שימוש במידע סלולארי, הוא מיפוי עיתי ומרחבי של פעילות אנושית. בתחום זה נעשו ניסיונות לזהות ולסווג יחידות מרחביות בהתבסס על אופי הפעילות האנושית כפי שמשתקפת בנתוני הרשת הסלולארית. חוקרים ב-SENSEable City Lab ב-MIT פרסמו מספר מחקרים בתחום זה (Ratti et al., 2006; Reades et al., 2007; 2009). במסגרת המחקר זוהתה נוכחות מוגברת של פעילות בשעות העבודה בחלק מסוים של האנטנות הסלולאריות ובשעות הערב והלילה באנטנות אחרות. במחקר במילאנו החוקרים יצרו מפות המציגות את השינוי המרחבי והעיתי של הפעילות הסלולארית בעיר המדגישות את דפוסי היוממות ומוקדי התחבורה המרכזיים. מחקר נוסף אסף נתוני שימוש ברשת הסלולארית במשך שלושה חודשים במרווחים של 15 דקות, בשטח של 47 קמ"ר סביב העיר רומא, שחולק ל-2115 פיקסלים של 500x500 מ' (Reades et al., 2007; 2009; Calebrese et al., 2011). המחקר כלל ניתוח של הנתונים בשבעה אתרים שנבחרו בהנחה שקיים ביניהם שוני בדפוסי הפעילות. תוצאות המחקר הראו כי במהלך ימי שני-שישי כלל האתרים הם בעלי מאפיינים דומים, עם קצב ירידה מוגבר של הפעילות בימי שישי. בימי שבת וראשון ישנה ירידה בפעילות הסלולארית בכ-50%, כאשר קיימת שונות בין האתרים שנבחרו. השונות באה לידי ביטוי באופן ניכר יותר באתרים המאופיינים באוכלוסייה מתחלפת (לדוגמה, תיירים, יוממים), בהם ניתן לבצע סיווג על פי סוג האנשים (מקומיים או לא מקומיים). המחקר מלמד שקיים יחס ברור בין פעילות אנושית לבין נתוני רשת סלולארית ושניתן לאפיין מקומים של פעילות בהתבסס על נתוני הרשת הסלולארית.

המחקרים לעיל המבוססים על נתוני הרשת הסלולארית מדגימים את הפוטנציאל והיתרונות של השימוש במידע זה. השימוש במידע סלולארי מציע מידע עדכני במדגמים גדולים מאוד המאפשר לחקור מגוון רחב של תופעות

אנושיות בקנה מידה מרחבי ועיתי מגוון. השימוש בנתוני הרשת הסלולארית מאפשר איתור וניתוח של דפוסי ניידות ופעילות אנושית אשר אינם מוגבלים ליחידות גאוגרפיות מסורתיות וקבועות. עם זאת, מחקרים אלה מתמקדים במתודולוגיה להמרת ולהצגת נתונים מהרשת הסלולארית ופחות בתרומה תיאורטית בעלת משמעות בתחומי המחקר העירוני והתכנוני.

תיאור הנתונים

כפי שהוסבר לעיל, השימוש בנתוני הרשת הסלולארית לצרכי מחקר טומן בחובו יתרונות רבים בהשוואה למקורות המידע המסורתיים. עם זאת, חשוב להבין את האתגרים, המורכבות וההנחות המהוות חלק בלתי נפרד משימוש במידע זה. החלק הראשון של פרק זה, יכלול תיאור כללי של תהליך האיכון הסלולארי ואת האתגרים והנחות היסוד שנגשות בחלק מהמחקרים העושים שימוש במידע סלולארי. בחלקו השני יוצגו הנתונים הסלולאריים אשר בהם נעשה שימוש במאמר הנוכחי והסיבות לבחירתם.

- האתגרים בשימוש נתוני רשת סלולארית

הרשת הסלולארית כוללת כמויות עצומות של מידע המבוסס על תשתית סטאטית ומכשירי טלפון סלולאריים ניידים. בזמן פעילות (לדוגמה, שיחות, הודעות, העברת מידע וכיו) המכשיר הסלולארי מקושר לתחנת תקשורת הבסיס (Base Transceiver Station) המשמשת כנקודת גישה לרשת הסלולארית והנשלטת על ידי תחנת בקרה. השטח הנשלט על ידי תחנת התקשורת הוא "תא סלולארי" כאשר מספר תאים מקובצים הם LAC (Location Areas) והם נשלטים על ידי תחנת בקרה. כל פעולה אשר נעשית באמצעות שימוש במכשיר הסלולארי מתועדת במערכות של הרשת הסלולארית. הרישום במערכות המידע של הרשת הסלולארית כולל מגוון פרמטרים טכניים הכוללים בין היתר שלושה מרכיבים בסיסיים, זמן ביצוע הפעולה, תחנת תקשורת הבסיס אליה היה מחובר המכשיר הסלולארי ומספר מזהה חד-ערכי של המכשיר הסלולארי. תהליך האיכון הסלולארי הבסיסי ביותר מקשר את המכשיר למיקום של תחנת הבסיס אליה היה מחובר הטלפון.

השימוש בנתוני הרשת הסלולארית במחקר מבוסס על מספר הנחות וטומן בחובו מספר אתגרים טכנולוגיים ומתודולוגיים בתחומים הבאים: ייצוג/דגימה, רמת דיוק מרחבית ופרטיות.

ייצוג/דגימה: אחת מהנחות היסוד בנוגע לשימוש בנתוני הרשת הסלולארית היא כי בשל שיעורי החדירה הגבוהים של הטלפונים הסלולאריים גודל הדגימה מספק תמונת מצב מדויקת מההיבט הסטטיסטי של כלל אוכלוסיית המחקר. עם זאת, למרות שיעור החדירה הגבוה של מכשירי הסלולארי במדינות המפותחות, אשר במקרים מסוימים אף עולה על גודל האוכלוסייה (Deville et al. 2014), אין ממצאים אמפיריים לגבי היחס בין השימוש במכשירים הסלולאריים לבין מאפיינים סוציו-אקונומיים של האוכלוסייה (כגון, מעמד סוציו-אקונומי, גיל, ומגדר). יתרה מכך, קיימת בעייתיות נוספת בשימוש בנתונים היות שנתונים אלה מתקבלים רק כאשר מבוצעת פעילות כלשהי במכשיר הסלולארי. למרות הגידול בפעילות האקטיבית,

אשר מתבצעת באופן אוטומטי בחלק מהמכשירים החכמים (לדוגמה, הורדת דואר אלקטרוני), לא כל המכשירים הסלולאריים פעילים כל הזמן. כתוצאה מכך, חלק מהאוכלוסיה הינה "שקופה" ולא נלקחת בחשבון במסגרת ניתוח הנתונים.

רמת דיוק מרחבית: התאים הנכללים ברשת הסלולארית שונים זה מזה בגודלם, וכתוצאה מכך היכולת לדייק בקביעת המיקום המרחבי תלויה בצפיפות הרשת (Ahas et al. 2010). בנוסף, נתוני הרשת הסלולארית משויכים לאנטנה ספציפית המהווה נקודה במרחב ולכן אינם מייצרים כיסוי מרחבי מלא. לאור זאת, פותחו מגוון אינטרפולציות מרחביות המבצעות שינויים והתאמות למידע שתפקידן לייצר כיסוי מרחבי מלא עם מגוון רחב של מדדי דיוק (Calabrese 2007, Ahas 2010).

פרטיות: כמפורט לעיל, המאפיינים העיקריים של נתוני הרשת הסלולארית כוללים זמן, מיקום ומספר מזהה ייחודי. לאור זאת, קיימת חשיבות רבה לנושא הפרטיות כאשר נעשה שימוש בנתוני רשת סלולארית. על מנת להתמודד עם אתגר זה, פותחו מספר שיטות על מנת לשלול בעיות הנובעות מנושא הפרטיות שעלולות לעלות כתוצאה מהשימוש בנתונים אלה. אחד הפתרונות הפשוטים שפותחו הינו השימוש ביחידות מדידה של עוצמת השימוש במערכת הסלולארית. מידע מסוג זה אינו כולל את שלושת המרכיבים שפורטו לעיל. מידע זה כולל את עוצמת הפעילות באנטנות בלבד, ולכן אינו מעורר בעיות בנושא פרטיות.

על מנת להתמודד עם נושא הפרטיות, חוקרים אשר משתמשים בנתוני רשת סלולארית אשר כוללים את שלושת המרכיבים שפורטו לעיל, הופכים, למעשה, את המידע לאנונימי על ידי נקיטה במספר צעדים. בראשית התהליך "מערבבים" את המספר המזהה הייחודי. פעולה זו יוצרת חייץ בין המספר המזהה של המכשיר לבין המספר הקיים במערכת. בנוסף, לאחר "עירבוב" המספר המזהה כל הניתוחים והתוצאות מבוצעות על נתונים וערכים מצטברים ומשויכים לאנטנה סלולארית מסוימת. המידע שמתקבל כתוצאה מתהליך זה אינו מאפשר איתור ושיוך הנתונים למכשיר מסוים ולכן אינם כוללים מידע אישי.

- נתוני טרנדאייט

המידע והנתונים הסלולאריים אשר נעשה בהם שימוש במסגרת מחקר זה נרכשו מחברת טרנדאייט. טרנדאייט, סטארט-אפ ישראלי, המספק מידע אנונימי, עדכני ורציף על מגמות ואפיונים של קהלי יעד שונים באמצעות טלפונים סלולאריים. טרנדאייט פיתחה אלגוריתמים המשמשים להערכת כמות האנשים הנוכחים במיקום מסוים והאפיון הגאו-דמוגרפי שלהם.

הבחירה בחברת טרנדאייט כמקור המידע בעבודת מחקר זה מושתתת על ארבעה גורמים עיקריים. ראשית, הטכנולוגיה של טרנדאייט מאפשרת קבלת מידע על כלל האוכלוסיה במיקום מוגדר מתוך מאגר מידע של חברה סלולארית אחת גדולה. כתוצאה מכך, האתגרים שהוצגו לעיל, ביחס לבעיות הדגימה והצגת כלל האוכלוסיה, מקבלים מענה. שנית, בהתבסס על ניתוח דפוסים ומאפיינים מרחביים ועיתיים משתנים, המידע המתקבל מטרנדאייט כולל פילוח דמוגרפי של האוכלוסיה (מיקום מגורים, סיווג סוציו-אקונומי). מידע זה כאמור הינו חיוני להבנה מעמיקה יותר של האוכלוסייה המבקרת

באזור המחקר. יתרון נוסף, הוא שיטת האיכון הסלולרי בו משתמשת החברה. על פי המידע שהתקבל מהחברה, תהליך זה משפר את רמת הדיוק המרחבית באופן משמעותי, ויכול להגיע עד לרזולוצייה של כ-200x200 מטר. הסיבה הרביעית לבחירה בנתוני חברת טרנדייט היא קיומם של שלושה סוגי נתונים:

- 1. מערכת זמן אמת (Real Time):** מציגה תמונת מצב רגעית (snapshot) לכל יחידה במרחב (מינימום 200X200 מטר) וזמן במדינת ישראל. תמונת המצב כוללת את כמות האוכלוסייה, מקום המגורים (אזור סטטיסטי, ישוב וכדומה), פיזור אוכלוסייה (היכן נמצאים תושבי המיקום הנבחר), ומעמד סוציו-אקונומי.
- 2. מערכת ניתוח מגמות היסטוריות (trendit Histography):** מבוססת על בסיס הנתונים של מערכת זמן האמת. המערכת מספקת נתונים היסטוריים של תמונות מצב רגעיות החל מפברואר 2011 אודות כמות אוכלוסייה והתפלגותה על בסיס מקום המגורים ומצב סוציו-אקונומי עבור כל מדינת ישראל.
- 3. מערכת מצרפית של טרנדייט (trendit accumulative system):** מאפשרת ניתוח רציף של אוכלוסיית יעד המבקרת ביעד מסוים גם כאשר לא נעשה שימוש אקטיבי ברשת. המערכת המצרפית מאפשרת להעריך את גודל האוכלוסייה המבקרת, לאפיין את משך הביקור, זמן התחלת וסיום הביקור, הגדרת מקום המגורים ואפיון סוציו-אקונומי של האוכלוסייה המבקרת.

מקרה מבחן - מועסקים במע"ר מטרופולין תל-אביב

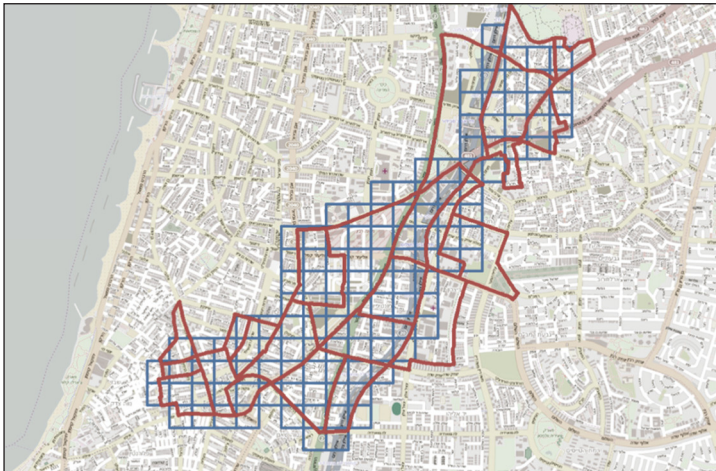
כפי שהוסבר לעיל, מטרתו של מאמר זה הינה להציג את האפשרויות והתרומה הפוטנציאלית הקיימת בשימוש בנתונים סלולאריים לצרכי תכנון. במסגרת זאת נבחן את איכות ואמינות הנתונים הסלולאריים ונציג ניתוח מסודרת וחדשני של המע"ר המטרופוליני של תל-אביב באמצעות נתונים אלה.

המע"ר כמרכז הפעילות העירונית והמטרופולינית היה נושא למחקרים רבים בערים בארה"ב החל ממצחית המאה הקודמת. המחקרים עסקו במגוון נושאים כגון תיחום המע"ר, ניסיונות להחייאתו, תעסוקה ומגורים, תכנון, והכוחות הפוליטיים המעצבים אותו (Birch, 2002; Ford, 2003; Hutton, 2004; Murphy and Vance, 1954; Strom, 2008). אולם עד כה לא התאפשרה בחינה של"המע"ר בפעולה", בגלל היעדר מקורות נתונים מתאימים ומהימנים. במילים אחרות, לא ניתן היה למצוא מקורות נתונים שיתעדו את ההתנהגות העתית של האוכלוסייה המבקרת במע"ר.

המע"ר של תל-אביב הוגדר לראשונה במחקרו של אריה שחר במחצית שנות השישים ככזה התופס בעיקר את שטחה של שכונת אחוזת בית ההיסטורית (שחר, 1968). התרחבות הפעילות הכלכלית בעשורים שלאחר מכן הרחיבה את שטחו, תחילה בתחומי העיר תל-אביב ולאחר מכן גם מעבר לתחומי השיפוט המוניציפליים של העיר (צ'רני, 2005; קיפניס, 2009). מבחינה תכנונית, תוחם המע"ר המטרופוליני בראשית המאה ה-21 במסגרת תכנית המתאר של מחוז תל-אביב (תמ"מ 5) שאושרה בשנת 2010. עמוד השדרה של המע"ר הוא ציר

האיילון ודרך בגין והוא משתרע בין אזור שדרות רוטשילד בדרום-מערב לבין אזור הבורסה ברמת גן בצפון-מזרח (איור 1).

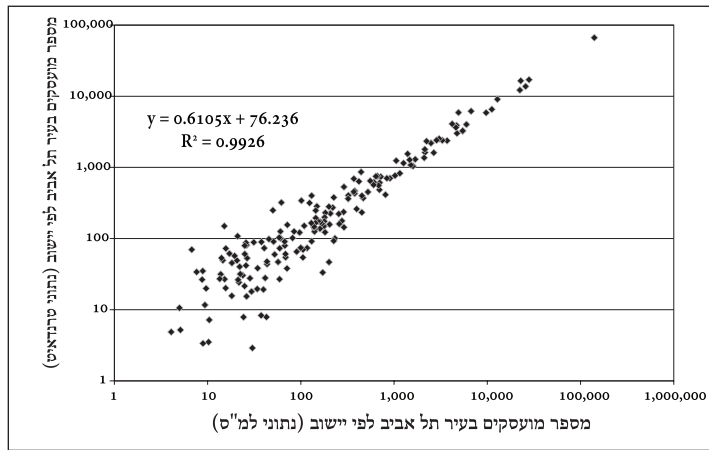
במסגרת מאמר זה נאסף מידע אודות כלל האוכלוסייה המבקרת במע"ר המטרופוליני במהלך חודש מייצג בו אין חגים או אירועים מיוחדים (יוני 2013). על מנת לבחון את מאפייני אוכלוסיית המועסקים במע"ר הוגדרו המאפיינים העיתיים של המבקרים באזור. הגדרת מועסקים על פי נתוני טלפונים סלולאריים היא בעייתית משום שאין מידע על הפעילות של האנשים. אולם אפשר להניח ששהות ממושכת באזור שהוא עסקי בעיקרו קשורה לתעסוקה ומי ששוחה באזור פרק זמן ממושך עושה זאת כחלק מתעסוקתו. לפיכך, אוכלוסיית המועסקים הוגדרה כאוכלוסייה המבקרת בין השעות 06:00-20:00 במע"ר ושאורך הביקור שלה נע בין ארבע ל-12 שעות.



איור 1: מע"ר מטרופולין תל-אביב

בחינת אמינות הנתונים

לשם בחינת מהימנות הנתונים בוצעה השוואה בין נתוני חברת טרנדהאט לגבי המועסקים בעיר תל-אביב ומקום מגוריהם של המועסקים לבין אותה אוכלוסייה בהתבסס על נתוני מפקד האוכלוסין האחרון (2008). השוואה איששה את קיומו של מתאם גבוה מאוד בין הנתונים (איור 2). לפיכך, ניתן להסיק כי נתוני חברת טרנדהאט הינם אמינים והם עשויים לשמש כמקור נתונים מהימן לבחינת הפעילות המרחבית במע"ר מטרופולין תל-אביב.



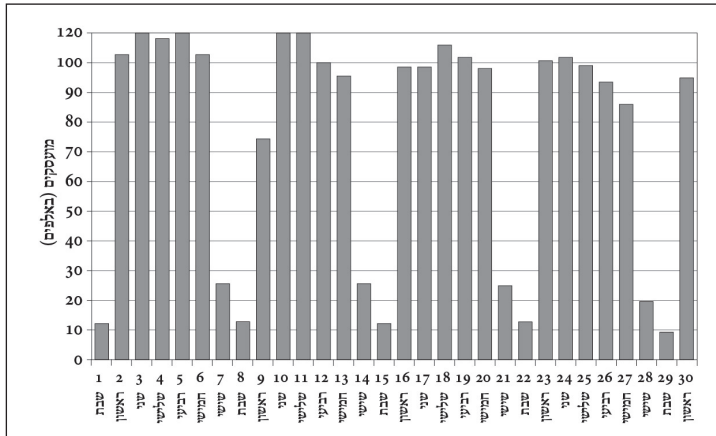
איור 2: מספר המועסקים בעיר תל-אביב לפי יישוב מגורים : השוואה בין נתוני מפקד האוכלוסין (2008) ונתוני טרנאדיט (2013)

- ניתוח תופעות "מקובלות"

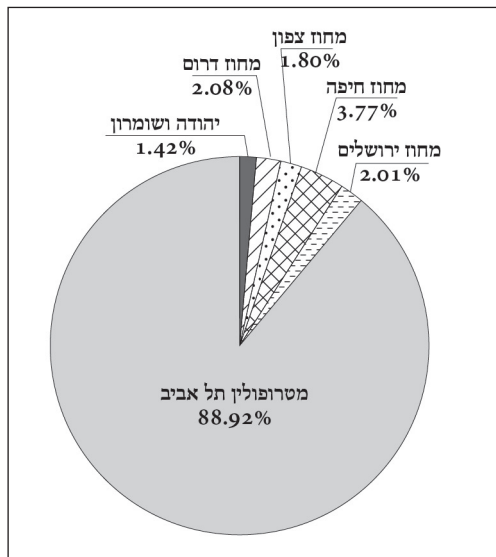
בשלב הבא התמקדנו באוכלוסיית המועסקים במע"ר מטרופולין תל-אביב. באופן לא מפתיע, המספר הגדול ביותר של מועסקים במע"ר הוא בימי העבודה (ראשון-חמישי) אז מספרם הממוצע מגיע ל- 110 עד 120 אלף ביום. מספר העובדים במע"ר קטן באופן משמעותי ל-25 עד 30 אלף בימי שישי ולמחצית ממספר זה בשבתות (איור 3). בנוסף ניתן לראות כי לקראת השבוע האחרון של יוני מספר המועסקים פוחת בהדרגתיות.

ההגדרה המרחבית של מטרופולין תל-אביב מבוססת על מפקד האוכלוסין האחרון (2008). על פי הגדרה זאת המטרופולין כולל את מחוזות תל-אביב והמרכז של משרד הפנים ואת אזור טבעי אשדוד. בסך הכל התגוררו במטרופולין בסוף 2013 למעלה מ-3.6 מיליון תושבים (הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2014). מבחינת מקום ההגעה של המועסקים למע"ר, רובם מגיעים מיישובי מטרופולין תל-אביב (כ- 90% חלקם היחסי של תושבי מחוז חיפה המועסקים במע"ר של מטרופולין תל-אביב (4%) הינו פי שניים ממחוז ירושלים (כ-2%) למרות היותו מרוחק יותר וקטן יותר מבחינת גודל האוכלוסייה המתגוררת בו (איור 4).

בחינה של התפלגות המועסקים במע"ר שהם תושבי מטרופולין תל-אביב מראה כי 26.5% מהמועסקים מגיעים מגלעין המטרופולין. בהתבוננות על טבעות המטרופולין נראית בבירור השפעת חיכוך המרחק. שיעור המגיעים למע"ר קטן ככל שמתרחקים מהעיר תל-אביב: כ-33% מהמועסקים מגיעים מיישובי הטבעת הפנימית, 25% מהטבעת התיכונה ו-15% מהטבעת החיצונית (איור 5). בנוסף ניתן לראות כי מספר המועסקים במע"ר המתגוררים בגזרה המזרחית והדרומית הוא דומה (כ-30% כל אחד) וחלקה היחסי של הגזרה הצפונית נמוך יותר (כ-15%). חלוקה זאת של המועסקים תואמת במידה רבה את ההתפלגות המרחבית של האוכלוסייה לפי גזרות (הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2014; איור 6).

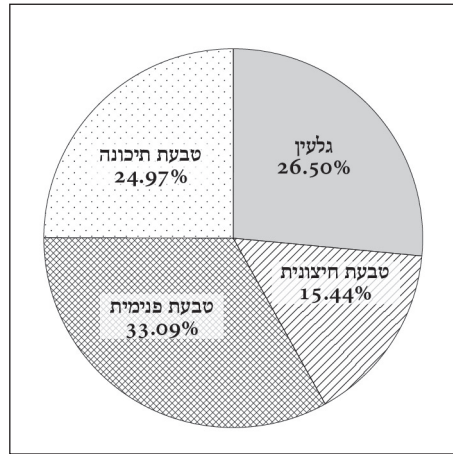


איור 3: מספר מועסקים במע"ר מטרופולין תל-אביב, יוני 2013

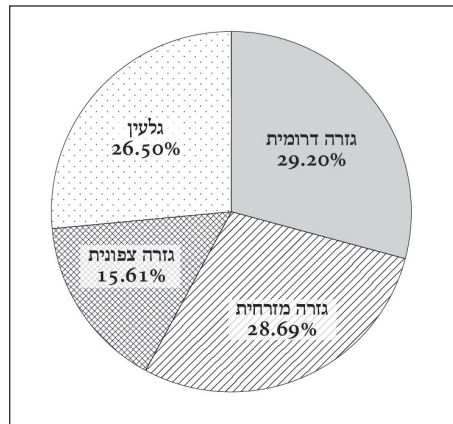


איור 4: התפלגות מועסקים במע"ר מטרופולין תל-אביב לפי מחוז מגורים (ימי אמצע שבוע)

אשבל, צ'רני ורזין : דינמיקה עתית במע"ר של תל אביב בראי נתונים סלולאריים



איור 5: התפלגות תושבי מטרופולין תל-אביב המועסקים במע"ר המטרופוליני (ממוצע ימי אמצע שבוע), לפי טבעות



איור 6: התפלגות תושבי מטרופולין תל-אביב המועסקים במע"ר המטרופוליני (ממוצע ימי אמצע שבוע), לפי גזרות

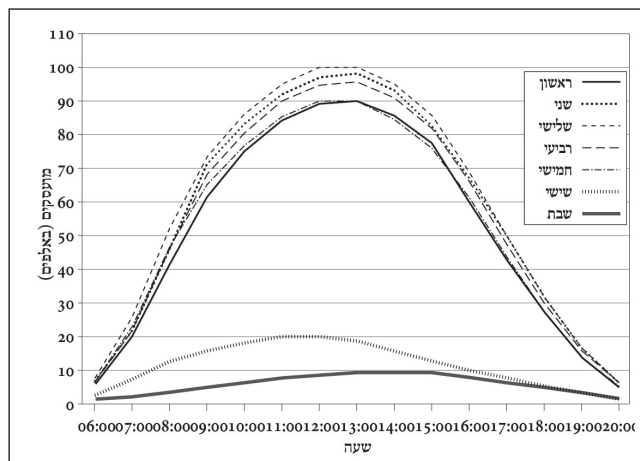
עד לשלב זה הוצגו נתונים המאששים את מה שכבר ידוע (הבדלים בהיקפי הפעילות בין ימי חול לסופי שבוע, ומקום המגורים של המועסקים במע"ר) בהתבסס על מפקדי האוכלוסין, בדיקות עקיפות והערכות מלומדות. למרות זאת, נתונים אלה חשובים ובעלי עניין מסיבה אחת מרכזית: תדירות האיסוף שיטות האיסוף המסורתיות התבססו על מקורות מידע בעלי תדירות איסוף נמוכה מאוד. נתוני כלל המועסקים במע"ר המטרופוליני העדכניים ביותר הקיימים כיום בגופי התכנון השונים מבוססים על מפקד האוכלוסין משנת

2008. משנת 2008 ועד לשנת 2013 (בהם נאספו הנתונים הסולאריים) עבר מטרופולין תל-אביב בכלל והמע"ר בפרט תמורות רבות וכתוצאה מכך נתוני המפקד אינם בהכרח משקפים בצורה מהימנה את אוכלוסיית המועסקים במע"ר כפי שהיתה קיימת בשנת 2013. שימוש בנתונים סולאריים עדכניים מאפשר עדכון לפי דרישה (On Demand) של הנתונים הנדרשים ומאפשר תכנון וניהול של המרחב בהתבסס על נתונים עדכניים.

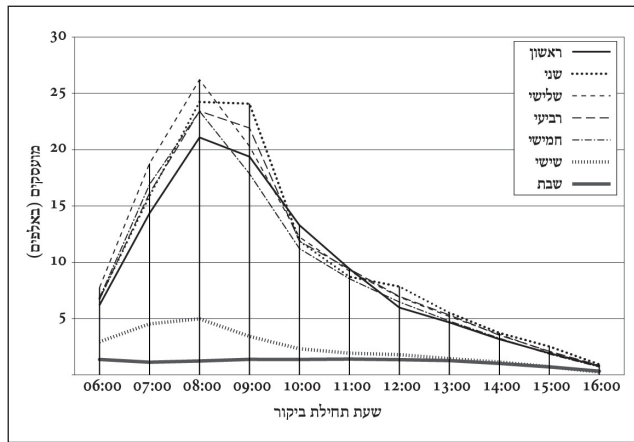
ניתוח מבוסס על כלים חדשניים

מעבר ליכולת עדכון הנתונים באמצעות מידע המתקבל מטלפונים סולאריים, קיימים יתרונות/יכולות נוספים לנתונים אלה אשר טרם נחקרו, שעשויים להיות בעלי משמעות רבה לאופי בו מתכננים את הפעילות העירונית ומנהלים אותה. התדירות העיתית הגבוהה בה נאסף המידע הסולארי מאפשרת ניתוח וזיהוי של תופעות בקנה מידה של ימים ושעות ופותרת צוהר לדפוסי פעילות ברזולוציה שלא הכרנו עד כה.

איור 7 מציג את מספר המועסקים הממוצע לפי יום בשבוע ושעה הנמצאים במע"ר. למרות העובדה ששעת השיא בה נוכח מספר המועסקים הגדול ביותר במע"ר זהה בכל ימי אמצע השבוע (00:13), קיימת שונות מסויימת במספר המועסקים בכל אחד מימי אמצע השבוע. ימים שני-רביעי הם בעלי מספר הנוכחים הגבוה ביותר כאשר ביניהם ביום שלישי מספר המועסקים הוא הגבוה ביותר (כ-100 אלף). בהשוואה, בימי ראשון וחמישי מספר המועסקים הנוכחים במע"ר נמוך בכ- 15%. בנוסף ניתן לראות כי בכל ימי השבוע המע"ר מתמלא בכ-60,000 מועסקים במהלך השעות המוקדמות (בין 00:06-09:00).

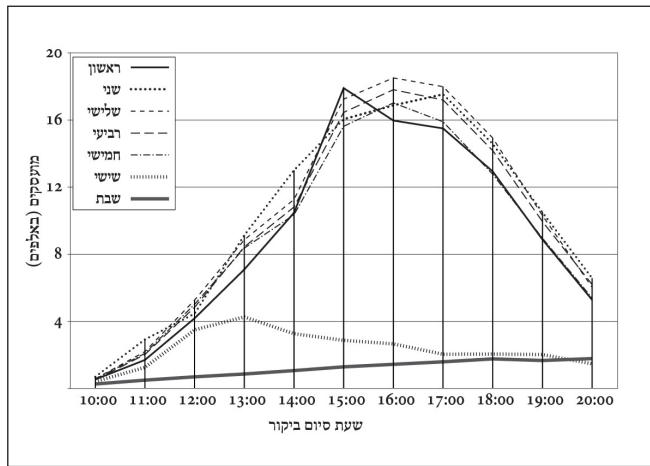


איוור 7: מספר מועסקים נוכחים במע"ר המטרופוליני לפי יום בשבוע ושעה ביום



איור 8: מספר מועסקים ממוצע במע"ר המטרופוליני לפי יום בשבוע ושעת התחלת הביקור

מעבר למספר המועסקים הנוכחים במע"ר מאפשרים הנתונים הסלולאריים לבחון באיזה שעות נכנסו ויצאו המועסקים את האזור. איור 8 מציג את מספר המועסקים הממוצע ליום ושעה בשבוע על בסיס שעת הכניסה למע"ר. בכל ימי אמצע השבוע השעה 08:00 היא השעה בה הקבוצה הגדולה ביותר של מועסקים מתחילה את יום עבודתה במע"ר. בנוסף, בכל ימי אמצע השבוע, מספר המועסקים המתחילים את יום עבודתם ב-09:00 גבוה יותר ממספר המתחילים בשעה 07:00. בימי שני מספר המועסקים המתחילים את יום עבודתם בשעה 08:00 ו-09:00 כמעט זהה. בשאר ימי אמצע השבוע מספר המועסקים המתחילים את יום עבודתם אחרי השעה 08:00 יורד בצורה חדה. איור 9 מציג את מספר המועסקים הממוצע לפי יום בשבוע ושעת סיום עבודתם. התנהגות המועסקים כפי שבאה לידי ביטוי בשעת הסיום היא בעלת שונות גבוהה יותר מאשר בשעת ההתחלה. שעות סיום העבודה המרכזיות ברוב ימי אמצע השבוע מתפרשות על פני חמש שעות (14:00-19:00) עם שיא של כשעתיים (שלוש עד חמש אחה"צ). לעומת זאת, שעות התחלת העבודה המרכזיות מתפרסות על פני שעתיים (07:00-09:00) עם שיא בשעה 08:00. בנוסף לכך ניתן לראות כי מספר המסיימים בשעות השיא אינו כולל "פסגה" ברורה כפי שבולטת בשעות ההתחלה. לבסוף, ניתן לראות שלוש קבוצות מובחנות של ימי אמצע השבוע. יום ראשון הוא היום היחיד בו ניתן לזהות שעת שיא ברורה לסיום העבודה (15:00) המוקדמת בשעה לפחות משאר ימי אמצע השבוע. ימים שלישי עד חמישי מציגים מבנה דומה של שעות השיא לסיום יום העבודה. בימים אלה שעות השיא מתחילות בסביבות השעה 15:00 ומסתיימות בשעה 19:00. יום שני מציג תמונת סיום שונה. שעות השיא אומנם מתחילות בשעה 15:00 אך "פסגת" היציאה היא רק בשעה 17:00 – כשעה מאוחר יותר מאשר בימים שלישי-חמישי.



איור 9: מספר מועסקים ממוצע במע"ר המטרופוליני לפי יום בשבוע ושעת סיום הביקור

סיכום

מאמר זה הציג את פוטנציאל השימוש בנתונים סטטיסטיים לצורך ניתוח תופעות מרחביות. היתרונות של השימוש בנתונים מהרשת הסלולארית נובעים מתדירות עדכון הנתונים ומהרזולוציות שניתן להגיע אליהן בהתאם לצרכי המחקר. במקום להתבסס על נתוני מפקד האוכלוסין האחרון שנערך בשנת 2008 ונתוני התפרסמו כמה שנים לאחר מכן ליחידות מחקר שנקבעו מראש, יכולים החוקרים באמצעות מידע מהרשת הסלולארית לקבל נתונים עדכניים כמעט בזמן אמת, ולקבוע את היחידות המרחביות אותן הם מעוניינים לבחון.

השוואה של נתוני חברת טרנדאיט לנתוני מפקד האוכלוסין (2008) הצביעה על התאמה סטטיסטית גבוהה המאששת את אמינות הנתונים הסלולאריים. התאמה זאת מקבלת משנה תוקף במסגרת ניתוח מאפייני המועסקים ופעילותם במע"ר. הנתונים הסלולאריים מצביעים על בין 110-120 אלף מועסקים במע"ר כאשר רובם המוחלט (קרוב ל-90%) מגיע מיישובי המטרופולין. קבוצת המועסקים הגדולה ביותר (למעלה מרבע מכלל המועסקים) מגיעה מגלעין המטרופולין (העיר תל-אביב) והנתונים מספקים הוכחה אמפירית להשפעת חיכוך המרחק על הקשר בין מקום המגורים למקום התעסוקה. במסגרת הניתוח המבוסס על הכלים החדשניים, הוצגה השוואת העיתית בפעילות המועסקים וזאת ברזולוציה יומית ושעתית. בימי אמצע השבוע, שעת השיא מבחינת נוכחות מספר המועסקים הינה 13:00-12:00. השיא הוא בימי שלישי כאשר הימים ראשון וחמישי מציגים את מספר המועסקים הנמוך ביותר בשעות השיא. בנוסף, ניתן לראות כי יש נוכחות פחותה באופן משמעותי בשעת השיא בימי שישי ופחותה אף יותר בשבתות. ניתוח שעות הכניסה והיציאה של המועסקים מגלה "חלון" צר של שעות התחלה (07:00-09:00) עם שיא מודגש בשעה 08:00. לעומת זאת, שעות היציאה פרושות על פני כחמש שעות עם שיא המתפרש על פני שעתיים (15:00-17:00).

תרומת השימוש בנתונים סלולאריים לשדה התכנון היא בשני תחומים עיקריים: עדכניות ורזולוציה מרחבית ועיתית מפורטת. הטמעת השימוש במידע סלולארי בתכנון מאפשרת עדכון נתונים לפי דרישה, הגדרת יחידות מרחביות במגוון רזולוציות ללא מגבלות של יחידות איסוף מידע סטנדרטיות וקביעת יחידות הזמן (דקות, שעות ימים) התואמות את התופעה, וכל זאת בהתאם לצרכי התכנון. השימוש בנתונים סלולאריים, הכוללים היקף עצום של תצפיות על הפעילות האנושית במרחב ובזמן, הוא חלק מהמגמה העולמית של שימוש ב-Big Data. מגמה זאת מקדמת את ה"דמוקרטיה" של המידע ומאפשרת גמישות בבחירת ממדים של מרחב-זמן. תמורות אלה צפויות לתרום לתהליך מושכל יותר של קבלת החלטות תכנוניות אשר יתבסס על הבנה מעמיקה ופרטנית של יחסי האדם עם סביבתו.

מקורות

- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2014. שנתון סטטיסטי לישראל מס' 65, ירושלים: הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה.
- צ'רני, י., 2005. מרכז העסקים הראשי של תל-אביב בראשית המאה ה-21, אופקים בגאוגרפיה, 64-65, ע"מ 228-237.
- קיפניס, ב., 2009. תל-אביב כ"עיר עולם": מוקד ברשת גלובלית ו'ראש ענק' במרחב הישראלי. בתוך ב. קיפניס (עורך), תל-אביב-יפו: מפרבר גנים לעיר עולם, חיפה: פרדס, ע"מ, 227-260.
- שחר, א., 1968. מרכז העסקים הראשי של תל-אביב-יפו, מחקרים בגיאוגרפיה של ארץ-ישראל, 6, ע"מ 137-160.
- Ahas R., Aasa A., Silm S., Tiru M., 2010. Daily rhythms of suburban commuters' movements in the Tallinn metropolitan area: case study with mobile positioning data. *Transportation Research Part C*, 18, 45-54.
- Becker A.R., Caceres R., Hanson K., Loh M. J., Urbanek S., Varshavsky A., Volinsky C., 2011. A tale of one city: using cellular network data for urban planning. *Pervasive Computing, IEEE*, 10, 18-26.
- Becker R. A., Caceres R., Hanson J.K., Isaacmna S., Loh M.J., Martonosi M., Rowland J., Urbanek S., Varchavsky A., Volinsky C., 2013. Human mobility characterization from cellular network data. *Communications of the ACM*, 56, 74-82.
- Birch, E., 2002. Having a longer view on downtown living. *Journal of the American Planning Association*, 68, 5-21.
- Bolla R., Davoli, F., 2000. Road Traffic estimation from location tracking data in the mobile cellular network. *Wireless communications and network conference, IEEE*, 3, 1107-1112.
- Calabrese F, Colona M., Lovisolo P, Parata D, Ratti C., 2007. Real time urban monitoring using cellular phones: a case-study in Rome", SENSEable working paper, <http://SENSEable.mit.edu/papers/pdf/CalabreseRatti2007SCLWorkingPaper.pdf>

- Deville P., Linard C., Martin S., Gilbert M., Stevens R.F., Gaughan E.A., Blondel D.V., Tatem J.A., 2014. Dynamic Population mapping using mobile phone data. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111.
- Ford, L., 2003. *America's New Downtowns: Revitalization or Reinvention?* Baltimore and London: Johns Hopkins University Press.
- Hutton, T., 2004. Post-industrialism, post-modernism and the reproduction of Vancouver's central area: retheorizing the 21st-century city. *Urban Studies*, 41, 1953-1982.
- International Telecommunication Union, 2014. World Telecommunication Development Conference (WTDC-2014): Final Report. (Dubai: ITU).
- Murphy, R. and Vance, J., 1954. Delimiting the CBD. *Economic Geography*, 30, 189-222.
- Novak J., Ahas R., Aasa A. Silm S., 2013. Application of mobile phone location data in mapping commuting patterns and functional regionalization: a pilot study of Estonia. *Journal of Maps*, 9, 10-15.
- Phithakkitnukoon S., Smoreda Z., Oliver P., 2012. Socio-geography of human mobility: a study using longitudinal mobile phone data. *PLoS one*, 7: e39253. doi:10.1371/journal.pone.0039253
- Ratti C., Frenchman D., Pulselli M. R., Williams S., 2006. Mobile landscapes: using location data from cell phones for urban analysis. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 33, 727-748.
- Reades J., Calabrese F. Sevtsuk A., Ratti C., 2007. Cellular census: explorations in urban data collection. *Pervasive Computing, IEEE*, 6, 30-38.
- Reades J., Calabrese F., Ratti C., 2009. Eigenplaces: analyzing cities using the space-time structure of the mobile phone network. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36, 824-836.
- Steenbruggen J., Borzacchiello T.M., Nijkamp P., Scholten H., 2011. Mobile phone data from GSM networks for traffic parameter and urban spatial pattern assessment: a review of applications and opportunities. *Geojournal*, 78, 223-243.
- Steenbruggen J., Tranos E., Nijkamp P., 2014. Data from mobile phone operators: a tool for smarter cities? *Telecommunications Policy*, 39, 335-346.
- Strom, E., 2008. Rethinking the politics of downtown development. *Journal of Urban Affairs*, 30, 37-61.