

'מרחבי זיקה' ואופטימיזציה של שירותים אזוריים: המקרה של ערי הלויים בספר יהושע

דניאל פלזנשטיין

תקציר

התכנון האזורי המסורתי רואה באזור יחידה טריטוריאלית המוגדרת באמצעות גבולות מנהליים או תפקודיים. לעומת זאת, גישה "מרחבי הזיקה" מדגישה כי אזורים מתגבשים באמצעות האינטראקציות המתמשכות הנוצרות על ידי השימוש ברשת השירותים. גישה זו שונה מזו הניצבת בבסיס התוכנית האסטרטגית המרחבית לישראל 2050, המבוססת על קשרים פונקציונליים בין יישובים, אוכלוסיות ומוסדות העשויים לחצות גבולות מנהליים קיימים. מאמר זה מציג את מרחב הזיקה מפרספקטיבה היסטורית-אנליטית באמצעות בחינת מערכת ערי הלויים המתוארת בפרק כ"א בספר יהושע. בשונה ממחקרים היסטוריים, המחקר הנוכחי מתייחס למערכת זו כמקרה בוחן של תכנון אזורי על בסיס רשת של מוקדי שירות ציבוריים. הפריסה של ערי הלויים מתפרשת כניסיון ליצור רשת ארצית של שירותים ציבוריים אשר יצרה זיקות מרחביות בין שבטי ישראל מבלי לשנות את גבולות הנחלות שנקבעו מראש. לשם כך מיושמים שיטות אופטימיזציה שונות על ידי מודלים של מיקום-הקצאה (Location-Allocation models) בסביבת GIS. הממצאים מתייחסים לארבע פונקציות מטרה: מיזעור מרחקי נסיעה, מיקסום ביקוש, מיקסום שוויוניות ומיקסום הכיסוי. השוואת תוצאות האופטימיזציה מאפשרת להעריך את ביצועיה של המערכת המרחבית המתוארת במקרא ולבחון את האידון שבין יעילות, שוויוניות ואילוץ מוסדיים. תרומתם של המודלים החישוביים אינה מסתכמת בזיהוי מיקום מיטבי של שירותים, אלא גם ביכולתם להסביר כיצד רשתות שירות יוצרות מרחבי זיקה בתוך גבולות מינהליים נתונים. בכך מוצע גשר בין ספרות האופטימיזציה המרחבית לבין הדיון העכשווי בתכנון אזורי ויצירת אזורים פונקציונליים.

מילות מפתח

מרחבי זיקה

תכנון אזורי

אופטימיזציה מרחבית

מודלי מיקום-הקצאה

GIS

ערי הלויים

פלזנשטיין, ד'. (2026). 'מרחבי זיקה' ואופטימיזציה של שירותים אזוריים: המקרה של ערי הלויים בספר יהושע. תכנון, 23 (1).

1. הקדמה

יוממות, דפוסי מסחר או תעסוקה, אך הוא עשוי גם להיות תוצר של מדיניות ציבורית, כאשר המדינה יוצרת רשת של שירותים המחייבת אינטראקציה בין אזורים שונים.

הדיון הציבורי והמקצועי בישראל בעקבות התוכנית האסטרטגית המרחבית 2050 מדגיש בעיקר את המעבר מאזורים טריטוריאליים לאזורים תפקודיים (Aharonovitz, 2025; בר ושולמן, 2026). תשומת לב רבה מוקדשת לזרימות יוממות, לקשרי תעסוקה וליחסי גומלין בין רשויות מקומיות. לעומת זאת, תשומת לב מועטה יחסית ניתנה לאפשרות של יצירת מרחבי זיקה באמצעות פריסה מרחבית של שירותים ציבוריים. במילים אחרות, מוסדות ציבור אינם רק מספקים שירות אלא הם עשויים לעצב את דפוסי הקשרים בין אזורים שונים. מאמר זה בחון את רעיון זה באמצעות מקרה מקורי: מערכת ערי הלויים המתוארת בפרק כ"א של ספר יהושע.

אחד השינויים המרכזיים שעבר התכנון האזורי בעשורים האחרונים הוא המעבר מתפיסה טריטוריאלית של אזורים לתפיסה פונקציונלית. אם בעבר נתפס האזור בעיקר כיחידה גאוגרפית בעלת גבולות מנהליים מוגדרים, הרי שכיום הולכת ומתחזקת ההכרה כי הפעילות הכלכלית, החברתית והמוסדית מתקיימת במרחבים החוצים גבולות אלה (OECD, 2013). מערכות תחבורה, שוקי עבודה, שירותי בריאות, מוקדי תעסוקה ורשתות חברתיות יוצרים דפוסי אינטראקציה שאינם תואמים בהכרח את החלוקה המנהלית. מכאן צמחה ההבחנה בין המרחב המנהלי לבין המרחב הפונקציונלי וממנה גם מתפתח המושג 'מרחבי זיקה'. מושג זה אינו מתאר אזור המוגדר באמצעות סמכות שלטונית, אלא כמערכת של קשרים, תלות ואינטראקציות הנוצרת בין יישובים, מוסדות ואוכלוסיות. מרחב כזה עשוי להיות תוצאה של תהליכים כלכליים "מלמטה", כגון

המשך המאמר הוא כדלקמן: פרק 2 סוקר את השורשים התיאורטיים של מרחבי זיקה והסיבות לראות בערי הלוויים מנגנון ליצירת מרחב זיקה, מוצגות בפרק 3. הנתונים ויצירת שכבות המידע המשרתים את הניתוח מתוארים בפרק 4 ופרק 5 דן בשיטה החישובית והאופציות השונות לבחינת ארגון המרחב. ממצאי הבדיקה ומשמעותם נידונים בפרק 6 והמסקנות בפרק 7 מתייחסות לרלוונטיות של גישת מרחבי זיקה לתכנון האזורי העכשווי.

2. סקירת ספרות: ממרחבים פונקציונליים למרחבי זיקה

אם בעבר הדיון ב'אזוריות' התמקד בחלוקה המנהלית של המרחב, היום הולכת וגוברת ההתעניינות באזורים כמאגרים של זרימות של אנשים, הון, מידע ושירותים (Dalberto & Amaral 2023; Maghfira et al, 2025). גישה זו משתלבת היטב עם ההתפתחות של מושג 'מרחבי זיקה' הרואה את מהות האזור כתוצאה מאינטראקציות המתמשכות הנוצרות על ידי רשתות של שירותים ציבוריים. אולם למרות חשיבותו של מושג זה, מרבית המחקרים מתמקדים בזיקות הנוצרות באופן ספונטני כתוצאה מפעילות כלכלית, שוקי עבודה או תנועת אוכלוסייה (עמדי ופורת הירש, 2026; Beerli, 2025). תשומת לב מועטה יחסית ניתנה למנגנון של פריסה מתוכננת של מוסדות ושירותים ציבוריים.

השורשים התיאורטיים של מרחבי זיקה נמצאים בשני תת-תחומים אנליטיים שונים. הראשון הוא תחום האופטימיזציה המרחבית. באופן מסורתי, הבעיה של מציאת המיקום האופטימלי לצורך אספקת שירותים ציבוריים אינה נתפסת רק כתגובה למרחבים הפונקציונליים קיימים אלא מציאת מיקום 'מוצלח' גם מסוגל ליצור מרחבים אלה. חשיבה זו נעוצה במחקרי אופטימיזציה והיישום המרחבי של מודלים מיובאים מדיציפלינות חישוביות כגון חקר ביצועים ותכנות ליניארי (Church & ReVelle, 1974; Openshaw, 1998; Owen & Daskin, 1977). החיבור הטבעי בין כלי אופטימיזציה לבין יכולות ה-GIS הצעיד קדימה את חקר האופטימיזציה המרחבית. אינטגרציה זו התבצעה לא רק ביחס לויזואליזציה אלא גם ביצירת תשומות לתהליך המידול וההפקה של פתרונות חישוביים (Church & Murray 2010, Murray 2009). עם השנים הורחבו המודלים כך שיוכלו להתמודד עם מגוון רחב של פונקציות מטרה בעלות משמעות מרחבית. למשל יעדים כגון מזעור עלויות, מיקסום ביקוש, הבטחת כיסוי ושיפור שוויוניות כולם מתרגמים בקלות לבעיות מרחביות בהינתן נתונים בעלי עיגון מרחבי. מחקרים רבים מדגישים היום שאין פונקציית מטרה אחת "נכונה" בפתרון בעיות של מיקומו האופטימלי של שירות מרכזי, אלא שכל פונקציה מגלמת תפיסה שונה של מדיניות ציבורית (Daskin, 2013).

שורש תיאורטי נוסף לקיומם של מרחבי זיקה הוא עולם הידע הנשען על קיומו של שיווי משקל מרחבי (Glaeser, 1991).

על פי המקרא, ארבעים ושמונה ערי לויים פוזרו בין נחלות השבטים, והועמדו לרשות שבט לוי לצורך מילוי תפקידם הדתי, החינוכי, המשפטי והציבורי. בניגוד לערים אחרות, ערים אלה לא היו חלק ממערכת טריטוריאלית עצמאית אלא שובצו בתוך נחלותיהם של יתר השבטים.

מבחינה תכנונית, מדובר בתופעה ייחודית. מצד אחד, גבולות הנחלות היו נקבעים אקסוגנית ולא ניתן היה לשנות אותם. מצד שני, היה צורך להבטיח נגישות של כלל האוכלוסייה לשירותי הלוויים ולשמור על זיקתם של הלוויים לירושלים ולמרכז הפולחני בבית המקדש. משמעות הדבר היא שהמערכת נדרשה לאזן בין כוחות מנוגדים: ריכוזיות מול פיזור, יעילות מול שוויוניות ואינטרס לאומי מול שירות מקומי. הספרות המקצועית מנסחת מתח זה כמאבק בין כוחות התכנסות (centripetal forces) לכוחות התבדרות (centrifugal forces) (ראו למשל, Krugman, 1981; Fujita et al, 1999). הפריסה הכללית של ערי הלוויים אם כן אמורה לשקף איזון בין-אזורי ושיווי משקל מרחבי (Roback, 1981). במקרה של ערי הלוויים כוחות ההתכנסות פעלו לריכוז המערכת סביב המרכז הדתי והמינהלי (ירושלים), ובכך חיזקו את התיאום, הלכידות המוסדית והאחדות הלאומית. מנגד, כוחות ההתבדרות עודדו את הפיזור המרחבי של שירותי הציבור, במטרה להבטיח נגישות, צדק מרחבי ושילובם של כלל שבטי ישראל במערכת השירותים. התצורה המרחבית שהתקבלה אינה מבטאת לא ריכוז מלא ואף לא פיזור אחיד, אלא שיווי משקל מרחבי יציב, המאזן בין מטרות מתחרות. במובן זה, מרחב הזיקה שנוצר באמצעות רשת ערי הלוויים אינו תוצאה של ריכוזיות או של פיזור כשלעצמם, אלא של האיזון ביניהם. דווקא שיווי המשקל בין הכוחות המושכים אל המרכז לבין הכוחות הפועלים להנגשת השירותים בפריפריה הוא שאפשר את היווצרותו של מרחב זיקה משותף, תוך שמירה על החלוקה הטריטוריאלית של נחלות השבטים.

מנקודת מבט זו, ערי הלוויים אינן רק תופעה היסטורית אלא מערכת שירות אזורית. למעשה, ניתן לראות בהן רשת ארצית של מוסדות ציבור שנועדה ליצור זיקות בין יחידות טריטוריאליות נפרדות. השאלה המחקרית היא האם המערכת המרחבית המתוארת בפרק ב"א בספר יהושע מגלמת עקרונות של תכנון אזורי התואמת את הידע של תורת המיקום? ומה ניתן ללמוד ממנה על יצירת מרחבי זיקה באמצעות פריסת שירותים ציבוריים? גישה זו משנה גם את תפקידם של כלי האופטימיזציה שדרכם בודקים את היעילות של מערכת זו. מודלי מיקום-הקצאה (location allocation models) אינם משמשים כאן כדי לתכנן מערכת עתידית, אלא כדי להעריך את ביצועיה של מערכת קיימת. מאמר זה מציג שימוש רטרופקטיבי במודלים של אופטימיזציה מרחבית לא לצורך חיזוי אלא לצורך הבנת ההיגיון המרחבי של מערכת מוסדית היסטורית.

היה לפזרם באופן שווה בין כל השבטים. בפועל, המערכת המתוארת במקרא מבטאת שווי משקל מרחבי בין שני עקרונות מנוגדים: ריכוזיות מוסדית שמביאה להתכנסות מחד גיסא מול פיזור שירותים שמוביל להתבדרות מאידך גיסא.

הבחירה בפיזור ערי הלויים בין כל השבטים אינה יוצרת רק מערכת שירותים אלא גם יוצרת מערכת של אינטראקציות. תושבי כל נחלה מקיימים קשרים קבועים עם מוסדות דת, הוראה ושיפוט, הפועלים כחלק ממערכת כלל-ארצית. כך נוצרת רשת מוסדית המחברת בין יחידות טריטוריאליזם נפרדות. במונחים בני זמננו ניתן לראות בכך מנגנון ליצירת מרחב זיקה. הבחנה זו חשובה במיוחד משום שהיא מפרידה בין שלושה רבדים שונים של המערכת: המרחב המנהלי והמוסדי היוצר את גבולות השבטים ואת פריסתם של ערי הלויים, המרחב התפקודי היוצר את רשת השירותים והמוסדות ומרחב הזיקה המתפתח מהאינטראקציות המתמשכות הנוצרות באמצעות השימוש ברשת השירותים.

4. נתונים

המחקר האמפירי מבוסס על המידע המופיע בפרקים י"ג–כ"א בספר יהושע, המתארים את חלוקת הארץ ואת הקצאת ערי הלויים. בסיס הנתונים כולל כ-349 ערים המזהות בפרקי החלוקה (פרקים י"ג עד י"ט), מתוכן 48 ערי לויים המפורטים בפרק כ"א. אוכלוסיית הארץ נאמדה בכ-600,000 נפש, בהתאם לנתונים המקראיים. זיהוי מיקומן של הערים ושל גבולות השבטים מתבסס על אהרונ (1962) המספק את השמות והנצ. עבור כל אחת הערים.

המחקר מתבצע בסביבת GIS הנשענת על חמש שכבות מידע עיקריות: שכבת גבולות הנחלות, שכבת מיקומן של כלל הערים, שכבת מיקומן של ערי הלויים (מפה 1), שכבת מרכזי הכובד של כל נחלה (מפה 2) ושכבת ערכי הקרקע (מפות 3 ו-4).² שתי השכבות האחרונות הן שכבות מחושבות כאשר מטרותן היא יצירת אמות מידה (בייסליין) כדי להעריך תצורות שונות של אספקת שירותים וכדי לבחון היעילות של התצורה המתוארת במקרא.

שכבת מרכז הכובד מבוססת על הצנטרואיד הגיאומטרי של כל נחלה המחושב כ:

$$\bar{X}(\bar{Y}) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i X_i(Y_i)}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

כאשר, $\bar{X}(\bar{Y})$ מציינים את הקואורדינטות הגיאוגרפיים, n מייצג את מספר הערים בנחלה ו- w_i הוא משקל העיר המבוסס על המרחק מגבול הנחלה ($1/d_i^2$). בהעדר דרך

תחום ידע זה מדגיש כי פריסתם של שירותים ומוסדות משפיע על הריכוזיות האופיינית לפעילות כלכלית במרחב ועל יחסי הגומלין בין אזורים ביצירת שווי משקל מרחבי. עם זאת, רוב המחקרים מתמקדים במנגנונים כלכליים כגון שוקי עבודה, מחירי קרקע, אגלומרציה וניידות (Redding & Rossi-Hansberg, 2017). המקרה של ערי הלויים מרחיב את הדיון באמצעות בחינת תפקידם של מוסדות ציבוריים, שאינם פועלים על בסיס רווח כלכלי אך יוצרים בכל זאת מערכת מרחבית של אינטראקציות.

החיבור בין ספרות זו לבין המאמר הנוכחי הוא האופטימיזציה תחת אילוצים מוסדיים. מרבית מודלי המיקום מניחים כי ניתן לבחור את מיקום האופטימלי לאספקת שירותים ציבוריים מתוך מרחב אפשרויות רחב. אולם במקרים רבים של תכנון אזורי, ובמקרה הנדון כאן, המתכנן פועל בתוך אילוצים שאינם בשליטתו כגון גבולות טריטוריאליים, מסגרות מוסדיות או החלטות פוליטיות. במובן זה השורשים של מרחבי זיקה הם בשווי משקל מרחבי-מוסדי ולא רק ברצון להשיג הקצאה אופטימלית של שירותים ציבוריים. במצבים כאלה אין מדובר באופטימום 'חופשי' אלא בפתרון מסוג second-best (Lipsey & Lancaster, 1956). דווקא משום כך יש למקרה של ערי הלויים חשיבות עכשווית. הוא מדגים כיצד ניתן לעצב מרחב פונקציונלי גם כאשר המסגרת הטריטוריאליזם עצמה אינה ניתנת לשינוי.

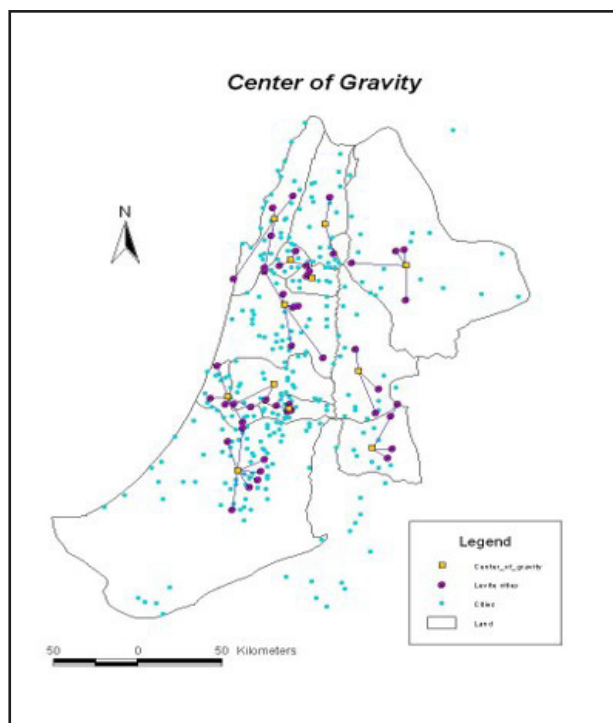
3. מערכת ערי הלויים כמנגנון ליצירת מרחב זיקה

כאמור, הדיון במרחבי זיקה נוטה בדרך כלל להתמקד במערכות כלכליות בעלות מבנה רישתי כגון שווקי עבודה, יוממות, תשתיות תחבורה או קשרי מסחר (קליין, 2026). לעומת זאת, מערכות שירות ציבורי נתפסות בדרך כלל כתוצאה של אותם מרחבים פונקציונליים ולא כמנגנון היוצר אותם. נקודת המוצא של מאמר זה שונה. הוא מציע לראות במערכת ערי הלויים דוגמה מוקדמת ליצירת מרחב זיקה באמצעות פריסה מתוכננת של מוסדות ציבור.

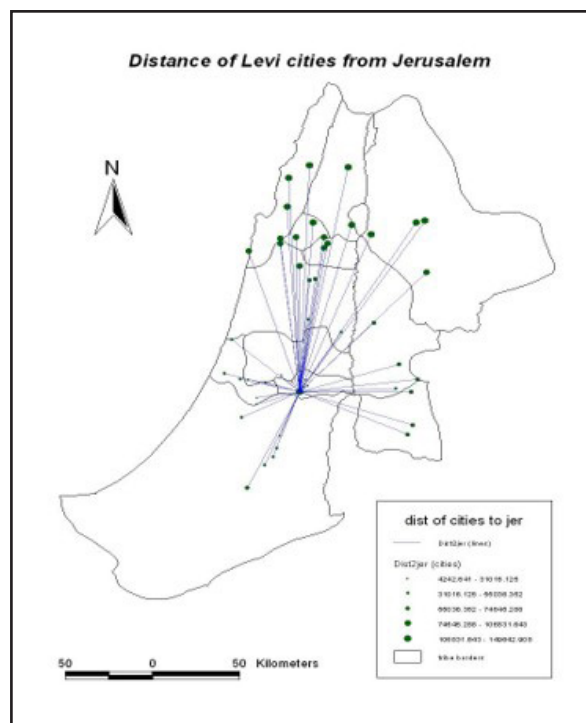
על פי ספר יהושע, לאחר השלמת חלוקת הארץ בין השבטים הוקצו ללויים ארבעים ושמונה ערים הפזורות בין כלל הנחלות. הלויים לא קיבלו נחלה טריטוריאליזם רציפה, אלא פוזרו במרחב הארצי וכפי שנרמז בספר בראשית בברכת יעקב ללוי, "אחלקם ביעקב ואפיצם בישראל" (בראשית מ"ט, ז'). תצורה זו אינה מקרית, אלא משקפת בחירה מוסדית שנועדה להבטיח כי שירותיהם של הלויים יהיו זמינים לכלל האוכלוסייה, תוך שמירה על זיקתם למרכז הפולחני בירושלים.¹

מן הבחינה התכנונית, מדובר בבעיה מורכבת. אילו היה היעד היחיד מזעור עלות/מרחק הנסיעה של הלויים לירושלים, ניתן היה לצפות לריכוזם באזור ההר המרכזי. אילו היה היעד היחיד שירות האוכלוסייה המקומית, ניתן

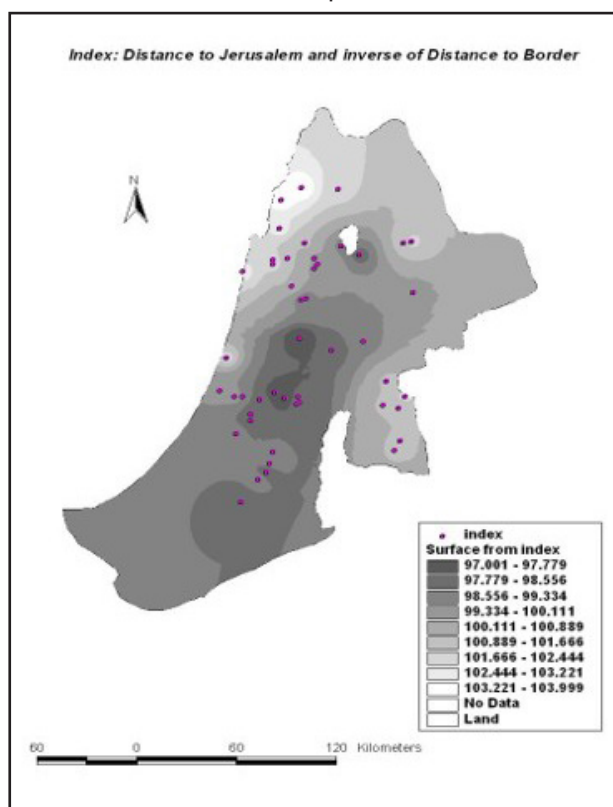
מפה 2: כלל הערים, ערי הלוויים ומרכז הכובד הגיאומטרי של כל נחלה



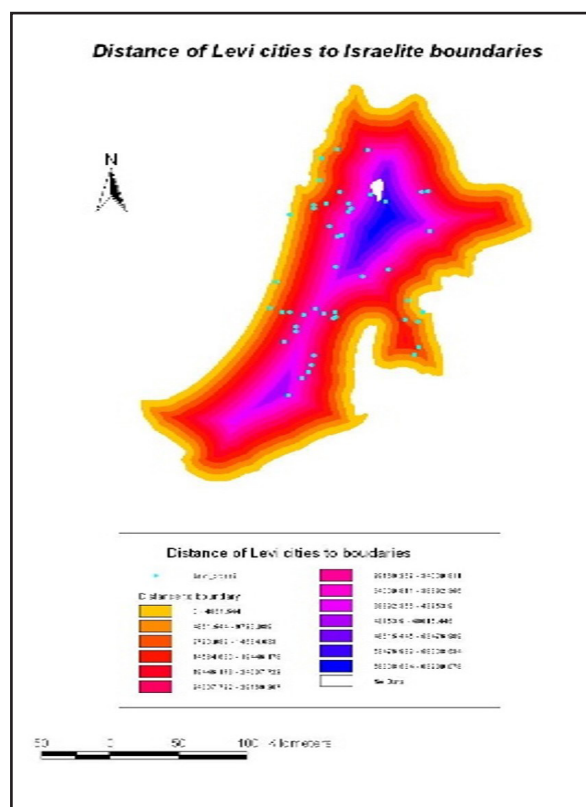
מפה 1: מרחק ערי הלוויים מירושלים



מפה 4: ערי הלוויים – שכבת ערכי הקרקע על בסיס מרחק מהגבול והקרבה לירושלים



מפה 3: ערי הלוויים – שכבת ערכי הקרקע



P_i = גודל הביקוש בעיר.
 T_{ij} = זמן/ עלות (חיכוך) הנסיעה בין נקודת ביקוש i למיקום מרכזי j . הוא מייצג את סכום ערכי ה- P_i הפרטניים.
 d_{ij} = המרחק האוקלידי בין i לבין j .
 $e^{-bd_{ij}}$ = פונקציית חיכוך המרחק בין i לבין j .
 a_{ij} = משתנה בינארי כאשר $a_{ij} = 1$ אם עיר הביקוש i מוקצה למיקום מרכזי j ו-0 אם אחרת.
 S = אילוף הכיסוי/ סף מקסימלי של השרות.

ארבע אופציות לארגון המרחב

עבודה זו משתמשת בארבע אלגוריתמים שונים כאשר בבסיס כל אחד קיימת תפיסה ייחודית ביחס לאספקת שירותים.

(א) מיזעור מרחקי נסיעה (P-median): גישה זו מבקשת למזער את סך מרחקי הנסיעה של המשתמשים אל מרכזי השרות. היא מייצגת תפיסה של יעילות מערכתית, שבה המשאב המרכזי הוא זמן או עלות ההגעה. מיזעור המרחק/ עלויות הגעה מתקיים בתנאים הבאים:

$$Z_A = \sum_{i=1}^n P_i d_{ij} / \sum_{i=1}^n P_i$$

אופציה זו בדרך כלל דורשת פתרון איטרטיבי ומושפעת על ידי המקומות המרוחקים. היא מחשבת את המיקום הרצוי בקו ישיר וכמרכז החיצוני ולא כמרכז הגיאומטרי של אזור השרות.

(ב) מיקסום ביקוש/נוכחות (Maximum Attendance): מודל זה ממקם את השרותים במקומות שבהם צפוי מספר המשתמשים הגדול ביותר. זוהי תפיסה כלכלית מובהקת, המעדיפה ריכוז אוכלוסייה ועלולה להתעלם מאזורים מרוחקים. אופציה זו רגישה מאוד לגודל הפרמטר b (מקדם השפעת המרחק).

$$Z_A = \sum_{i=1}^n T_{ij} = \sum_{i=1}^n P_i e^{-bd_{ij}}$$

(ג) מיקסום שוויוניות (Minimax): גישה זו ממזער את מצבו של המשתמש המרוחק ביותר. היא מעניקה משקל עודף לפריפריה ומבטאת תפיסה של צדק מרחבי, גם במחיר של ירידה מסוימת ביעילות הכוללת.

$$Z_A = \max |d_{ij}|$$

להקצות את האוכלוסיה ליישובים השונים כדי ליצור צנטרואידים משוקללי-אוכלוסיה, אנו משתמשים במשקל פרוקסי היוצר שונות בין היישובים על בסיס מחירי קרקע (price gradient). אנו מניחים כי שני משתנים משפיעים על ערך הקרקע: הקרבה לירושלים המעלה את הערך הקרקע והקרבה לגבול המורידה אותו. על בסיס זה נוצרת שכבה מחושבת המייצגת את משקל ערך הקרקע במקום משקל גודל האוכלוסיה.

חישוב בייסליין זה מאפשר לבצע ניתוחים מרחביים ולבחון חלופות שונות למיקום מרכזי השרות. עבודה זו אינה באה לשחזר את המיקום ההיסטורי המדויק של כל יישוב, אלא לבחון את ההיגיון המרחבי של המערכת כולה. לכן, גם במקרה של אי-ודאות בזיהוי נקודתי של עיר מסוימת, אין בכך כדי לפגוע במסקנות העקרוניות, הנשענות על הדפוס המרחבי הכולל. האופטימיזציה מתבצעת באמצעות פונקציה ייעודית הקיימת בהרחבה של ה-Network Analysis ב-ArcGIS Pro.

5. מתודולוגיה: אופטימיזציה מרחבית כמודל לניתוח מערכות שירות

בבסיס המחקר עומדת ההנחה כי מערכת ערי הלוויים ניתנת לניתוח באמצעות מודלים של אופטימיזציה מרחבית (מיקום-הקצאה). מודלים אלה פותחו במקור לצורך תכנון מערכות שירות מודרניות, כגון בתי חולים, תחנות כיבוי אש, בתי ספר ומרכזי חירום. מטרתם היא למצוא את פריסת המתקנים המיטבית ביחס לפונקציית מטרה מוגדרת מראש. במחקר הנוכחי תפקידם שונה. אין הם משמשים כדי לקבוע היכן יש למקם את הערים, אלא כדי לבחון עד כמה המערכת הקיימת מתקרבת לפתרונות הנחשבים כיום ליעילים או לשוויוניים. זהו שימוש רטרופקטיבי במודלים של אופטימיזציה. בכך הוא שונה מן השימוש המקובל בספרות.

אחד המאפיינים המרכזיים של מערכת ערי הלוויים הוא שהאופטימיזציה אינה מתבצעת במרחב חופשי. גבולות השבטים ומספרי הערים כבר נקבעו אקסוגנית. לכן מדובר במצב של second-best spatial optimization, שבו המתכנן איננו מחפש את הפתרון הטוב ביותר אלא את הפתרון האפשרי בתוך מערכת אילוצים מוסדיים נתונה. נקודה זו רלוונטית במיוחד גם לתכנון אזורי בן זמננו. מרבית בעיות התכנון אינן מתחילות מדף חלק. גבולות ערים ומחוזות, בעלויות קרקע ותשתיות קיימות מהווים אילוצים שאינם ניתנים לשינוי. לפיכך, המקרה של ערי הלוויים משמש אנלוגיה טובה לבעיות התכנון האזורי העכשוויות.

במודלים להלן ערך פונקציית המטרה (objective function) כלומר יעד השרות אותו ממזערים או ממקסמים, מסומן כ- Z_A . אילוצי האופטימיזציה מוגדרים כדלהלן:

התוצאות מוצגות בצורה ויזואלית במפות 5-8. מפות 5 ו-6 אכן מצביעות על מיקומים אופטימליים פנים-נחלתיים שונים עבור כל שבט, אבל התמונה הכוללת היא עקבית. ראה למשל הפתרונות הדומות מאוד למיקום פונקציה מרחבית בנחלות יהודה ומנשה. הפתרונות במפה 7 (כיסוי מקסימלי) דומות לאלה של מצב ברירת המחל (מרכז הכובד הגיאומטרי) ומדגישות את השוויוניות בפריסה של ערי הלויים. השוואת כלל הפתרונות (מפה 8) מצביעה על מרחב תמרון פנים-נחלתי קטן יחסית אפילו בשבטים בעלי גיאומטריה מאתגרת כגון השבטים אשר ונחלת שבט מנשה אשר בעבר הירדן.

דירוג הנחלות לפי התוצאות מופיע בלוח 1 (עמוד 14). ניכרת יציבות יחסית בדירוגים שבהם הדגש המרכזי הוא ביעילות המערכת (מיזעור המרחק ומיקסום הביקוש) וקרבה מסוימת גם לדירוג של מיקסום הכיסוי. זאת כאשר אילוץ כיסוי נקבע עם רף נמוך יחסית של $S=3$. למרות שכל אחת מהפונקציות מבטאת תפיסה שונה של ארגון מרחבי, ההבדלים בין הפתרונות אינם גדולים כפי שניתן היה לצפות. דירוגי השבטים נשארים יציבים יחסית בין מרבית החלופות, ורק מספר קטן של שבטים משנה את מיקומו באופן משמעותי.

ממצא זה חשוב מכמה טעמים. ראשית, הוא מעיד כי התצורה המרחבית של ערי הלויים אינה רגישה במיוחד לבחירת פונקציית המטרה. במונחים של אופטימיזציה, מדובר בפתרון שהוא יחסית עמיד. מספר קריטריונים שונים מובילים למסקנות דומות באשר לאיכות המערכת. שנית, יציבות זו מלמדת כי המערכת אינה ממקסמת יעד יחיד בלבד. אילו הייתה מבוססת אך ורק על יעילות של נגישות היה צפוי פער גדול יותר בין פתרונות המבוססים על מזעור מרחק לבין פתרונות המבוססים על שוויוניות. העובדה שאין זה המצב, מצביעה על כך שהמערכת מצליחה לשלב מספר מטרות בו-זמנית.

המשמעות הרחבות של הממצאים הן כדלהלן:

יעילות לעומת שוויוניות: ההשוואה בין ארבע פונקציות המטרה חושפת כי זה אחד המתחים המרכזיים במערכת. הניתוח מצביע על כך שמערכת ערי הלויים קרובה יותר לפתרונות המבטאים תפיסת שירות ציבורי מאשר לפתרונות המבוססים על מקסום ביקוש בלבד. בפרט, פונקציות השוויוניות והכיסוי מניבות תוצאות הדומות יחסית לדפוס ההתפלגות המקראי. ממצא זה עולה בקנה אחד עם אופיים הציבורי של מוסדות הלויים. תפקידם לא היה למקסם ביקוש או הכנסות, אלא להבטיח זמינות של שירותי דת, הוראה ושיפוט לכלל האוכלוסייה.

ריכוז מול פיזור מרחבי: אין עדות שהמערכת ערי הלויים סוטה באופן קיצוני מאחת מפונקציות המטרה. לפיכך ניתן לומר כי הפריסה המתוארת בספר יהושע ממוקמת באזור יציב של מרחב הפתרונות, שבו מספר יעדים שונים מובילים

(ד) מיקסום כיסוי (Maximum Coverage): מודל זה שואף להבטיח שלכלל האוכלוסייה תהיה גישה לשירות במסגרת מגבלת מרחק מוגדרת. זוהי תפיסה המאפיינת מדיניות ציבורית, שבה מושם דגש על הבטחת סף רמת שירות מינימלית (S) לכלל התושבים.

$$Z_A = \sum_{i=1}^n a_{ij} P_{ij}$$

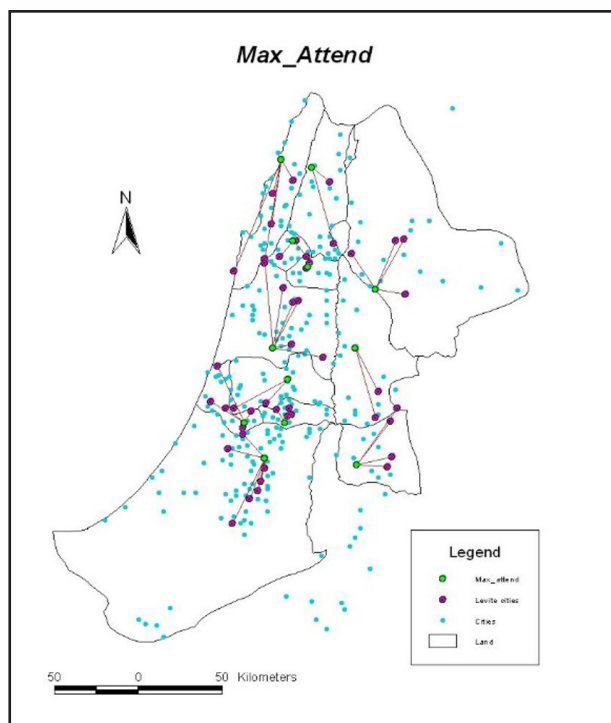
$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } d_{ij} \leq S \\ 0 & \text{if } d_{ij} > S \end{cases}$$

לרוב, מחקרי ה-Location-Allocation משווים בין ביצועי האלגוריתמים במונחים של עלויות, מרחקים או זמן חישוב. במחקר הנוכחי מוצעת פרשנות שונה. אנו מניחים כי כל אחת מפונקציות המטרה מייצגת גישה שונה ליצירת מרחבי זיקה. לכן, ההשוואה ביניהן איננה רק השוואה בין פתרונות חישוביים, אלא בין ארבע תפיסות שונות ביחס לאספקת שירותים. המשמעות של שינוי פרשני זה היא שמודלי אופטימיזציה לא משמשים רק ככלי לקבלת החלטות מושכלות אלא גם ככלי להבנת הערכים והעקרונות המגולמים במערכות המרחביות. אם כן, עולה כי מערכת ערי הלויים אינה יכולה להיבחן במונחים של יעילות בלבד. היא פועלת תחת אילוצים מוסדיים, משרתת מטרות ציבוריות מרובות, ומבקשת לאזן בין קרבה למרכז הדתי, נגישות לשירותים ולכידות בין השבטים. משום כך, ההשוואה בין ארבע פונקציות המטרה אינה רק תרגיל חישובי, אלא מסגרת לניתוח הדרכים השונות שבהן רשת שירותים ציבוריים יכולה ליצור מרחב זיקה.

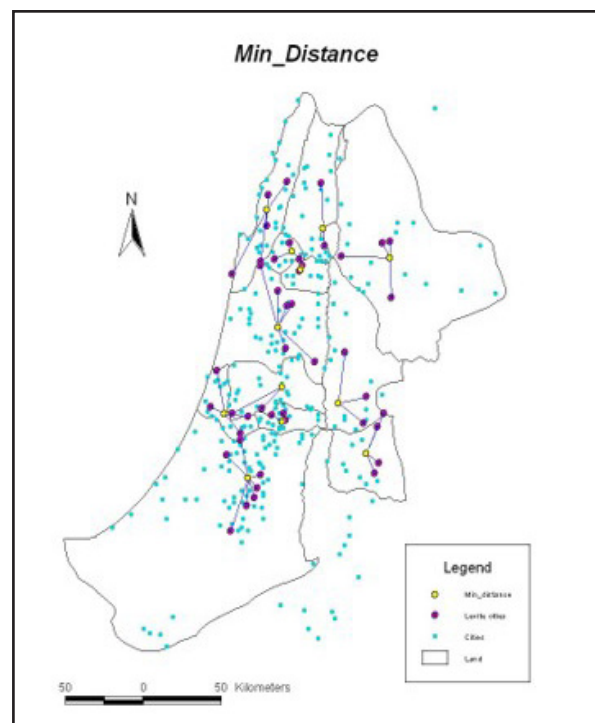
6. ממצאים

סעיף זה מציג את תוצאות האופטימיזציה ומשווה בין ארבע החלופות. המטרה היא לבחון האם המערכת המתוארת בספר יהושע אכן משקפת תצורה מרחבית יציבה, המאזנת בין יעילות, שוויוניות ולכידות אזורית. שלש אופציות של ארגון המרחב (מיזעור המרחק, מיקסום הביקוש ומיקסום הכיסוי) נבחנים מול אופציית ברירת המחל (הבייסליין) של מציאת מרכז הכובד (הצנטרואיד הגיאומטרי) של הנחלה. האופציות של מיזעור המרחק ומיקסום הביקוש הן מוטות-יעילות. הראשונה היא בעלת הטייה למקומות מרוחקים והשנייה מתעלמת מהם. האופציה של מרכז הכובד היא מוטת-שוויוניות ו'מענישה' את הרוב על מנת לספק שירותים למיעוט. לבסוף, האופציה של מיקסום הכיסוי תלויה לגמרי בערך של אילוץ הכיסוי. הצבת רף גבוה מביאה אופציה זו לכיוון היעילות ולעומת זאת, הצבת רף רופף יותר מביאה לתוצאות דומות לאופציית מרכז הכובד.

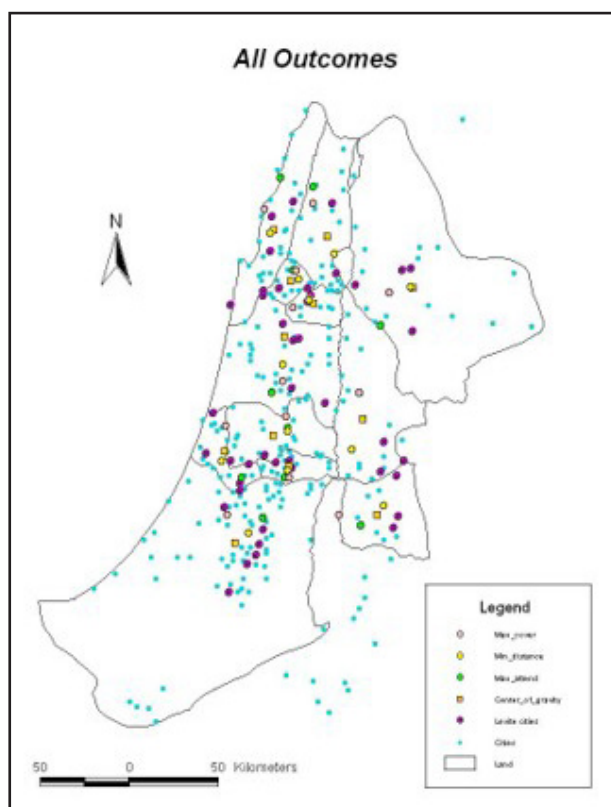
מפה 6: פתרון ביקוש/נוכחות מקסימלית



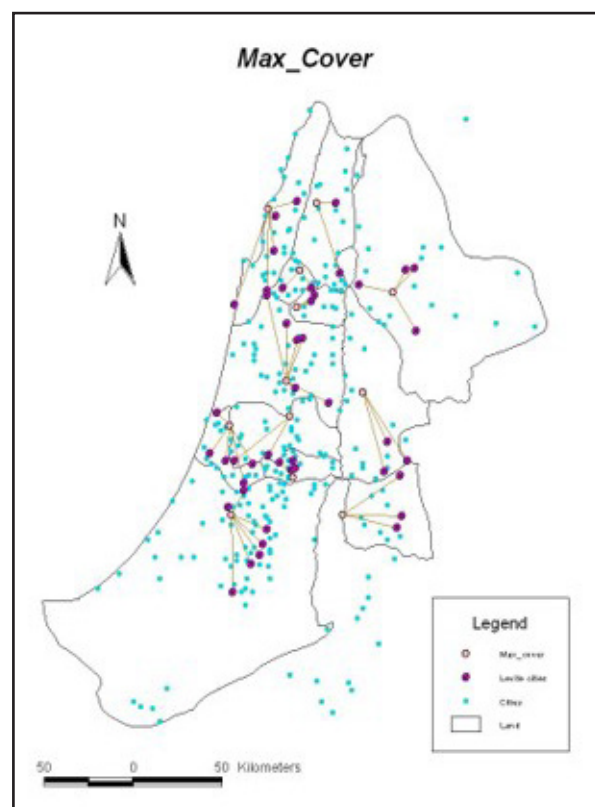
מפה 5: פתרון מיזעור עלות/מרחק



מפה 8: כלל הפתרונות



מפה 7: פתרון כיסוי מקסימלי



לוח 1: דירוג הנחלות לפי האופציות של ארגון המרחב

מיקום ביסוי	מיקום שוויוניות	מיקום ביקוש/ נוכחות	מזעור מרחק נסיעה	נחלה
1	4	1	1	יהודה
8	2	9	2	בנימין
3	3	2	3	מנשה (2)
2	5	5	4	נפתלי
4	6	3	5	גד
7	7	4	6	אפרים
5	12	7	7	אשר
6	9	6	8	מנשה
10	10	8	9	ראובן
11	11	10	10	דן
12	1	11	11	יששכר
9	8	12	12	זבולון

התכנון האזורי היא בין אזורים המתהווים באופן אורגני באמצעות אינטראקציות כלכליות וחברתיות (bottom-up), לבין אזורים המעוצבים באמצעות החלטות מוסדיות ומדיניות ציבורית (top-down) (Healey, 2006). מרבית הספרות על אזורים פונקציונליים עוסקת בסוג הראשון: שווקי יוממות ועבודה ורשתות מסחר נתפסים כתוצרים של התנהגות מצטברת של יחידים ופירמות. לעומת זאת, מערכת ערי הלוויים מייצגת מנגנון שונה לחלוטין. מרחבי הזיקה הנוצרים הם תוצאה של החלטה מוסדית על פריסת רשת שירותים.

תכנון תחת אילוצים: הממצאים מדגישים את תפקידם של אילוצים מוסדיים. מרבית מודלי האופטימיזציה מניחים שניתן לבחור את המיקום ה'אופטימלי' של מרכזי שירות באופן חופשי. אולם במציאות, מצב כזה נדיר. רשויות מקומיות, גבולות מחוזות, בעלויות קרקע, שיקולים פוליטיים ותשתיות קיימות מגבילים את מרחב הפעולה של המתכנן. במובן זה, מערכת ערי הלוויים מהווה דוגמה מוקדמת למה שמכונה כ-second best spatial planning (Faludi, 2000). האופטימום מושג לא באמצעות שינוי המרחב אלא באמצעות התאמת רשת השירותים למרחב נתון. גישה זו רלוונטית במיוחד גם לישראל של ימינו. הדיון סביב יצירת מרחביים תפקודיים במסגרת התוכנית האסטרטגית המרחבית 2050 אינו עוסק בשינוי גבולות הערים אלא ביצירת מנגנוני שיתוף פעולה החוצים אותם.

לתוצאות דומות. מחד גיסא, ריכוז השירותים במספר מצומצם של יישובים מאפשר ניצול יתרונות לגודל, צבירת ידע, התמקצעות והפחתת עלויות. מאידך גיסא, פיזור השירותים משפר את הנגישות, מחזק את הפריפריה ומקטין פערים מרחביים. מערכת ערי הלוויים אינה בוחרת באחד מן הקטבים. היא משלבת ביניהם. המרכז הרוחני והמוסדי נותר מרוכז בירושלים, אך השירותים עצמם (קרי, ערי הלוויים) מפוזרות בתוך הנחלות ואינן מתקבצות לאורך הגבול הקרוב ביותר לירושלים.

אינטרס לאומי לעומת שירות מקומי: אילו כל שבט היה פועל באופן עצמאי ומבקש למקסם את רווחתו, ניתן היה לצפות לפריסה שונה של הערים, המתמקדת בראש ובראשונה בצורכי האוכלוסייה המקומית. אולם הפריסה בפועל משקפת יעד רחב יותר: שמירה על מערכת מוסדית אחידה כלל-ארצית. הלוויים אינם משרתים רק את העיר שבה הם מתגוררים, אלא את החברה כולה. לפיכך, מיקומם נקבע מתוך ראייה כלל-ארצית ולא מתוך אופטימיזציה מקומית. במובנים עכשוויים מדובר ביצירת איזון בין אינטרסים מקומיים לבין רווחה חברתית כוללת. המערכת המתגלה מבטאת תפיסה שלפיה שירותים ציבוריים מסוימים אינם יכולים להיות מתוכננים ברמת העיר הבודדת משום שהם מייצרים רשת כלל-לאומית.

תכנון היררכי (Top-down) לעומת תכנון אורגני (Bottom-up): אחת ההבחנות המרכזיות בספרות

אינטראקציות יומיומיות של מטופלים, צוותים רפואיים ומערכות הפניה.

תופעה דומה קיימת בתחום ההשכלה הגבוהה. אוניברסיטאות ומכללות אזוריות אינן רק מוסדות חינוך. הן מהוות מוקדים ברשת של תנועת סטודנטים, חוקרים, עובדים ועסקים. סביב מוסדות אלה מתפתחות מערכות תחבורה, שוקי דיור, מרכזי חדשנות ושיתופי פעולה בין רשויות מקומיות. במקרים רבים, השפעתם המרחבית של מוסדות אלה גדולה בהרבה מהשטח המוניציפלי והאזורי שבו הם ממוקמים. גם כאן הרשת מעצבת מרחבי זיקה באמצעות פריסה מושכלת של מוסדות ציבור. דוגמא נוספת נוגעת לשירותי חירום וביטחון אזרחי. מערכות של תחנות כיבוי אש, מוקדי רפואה דחופה, מרכזי שליטה ומתקני חילוץ מתוכננות כך שיבטיחו כיסוי מרחבי מיטבי תוך עמידה במגבלות של זמן תגובה, זמינות משאבים ושוויון בנגישות. ברשת זו, אזורי הפעולה של השירותים נקבעים על פי אינטראקציות מתמשכות. כתוצאה מכך נוצרת רשת אזורית של תלות הדדית, שבה תושבי רשויות שונות נשענים על אותה מערכת שירותים.

שלוש הדוגמאות ממחישות כי שירותים ציבוריים אינם רק מגיבים למרחבים פונקציונליים קיימים אלא משתתפים באופן פעיל בעיצובם תכנון מיקומם משפיע על דפוסי הנדידות ועל תחושת השייכות האזורית. בכך הם ממחישים את הטענה לפיה מרחבי זיקה יכולים להיווצר לא רק באמצעות אינטראקציות כלכליות ספונטניות, אלא גם באמצעות תכנון מוסדי של רשתות שירות ציבוריות. מנקודת מבט זו, מערכת ערי הלוויים אינה חריגה היסטורית, אלא דוגמה מוקדמת לעיקרון תכנוני בעל מסר רלוונטי גם היום. בעוד שהשירותים עצמם השתנו לאורך הדורות, ההיגיון המרחבי נותר דומה. יצירת רשת של שירותים ציבוריים מחזקת קשרים בין יחידות טריטוריאליים שונות ומעצבת מרחבי זיקה.

הערות

1. ברוח המחקר הנוכחי, בוחנים Epstein et al (1992) את היעילות שבגיאוטרמה המרחבית של פריסתן של שש ערי מקלט בתקופת כיבוש יהושע. שש ערים אלו כלולות בתוך 48 ערי הלוויים.
2. תודתי נתוני לעדי בן נון, מנהל הטכני של מרכז ה-GIS במחלקה למדע המרחב, האוניברסיטה העברית, על עזרתו בהכנת שכבות המידע ועיבודן.

מקורות

- אהרונ, י. (1962). *ארץ ישראל בתקופת המקרא*. יד יצחק בן צבי, ירושלים.
- בר, ר' ושלומן, ל. (2026). *תוכניות אזוריות בישראל: מחזון אסטרטגי לתכנון בפועל*. תכנון, 23(1).
- עמדי, ג' ופורת-הירש, נ. (2026). *אזורי יוממות בישראל*. תכנון, 23(1).

מערכת שירותים ציבוריים אזורית היא אחד המנגנונים המרכזיים שבאמצעותם ניתן לממש תפיסה זו.

7. מסקנות

נקודת המוצא של מחקר זה היא שפריסת שירותים ציבוריים אינה רק תגובה למרחבים פונקציונליים קיימים אלא עשויה להיות מנגנון ליצירת מרחבי זיקה. על בסיס השוואת ארבע פונקציות מטרה של אופטימיזציה מרחבית נמצא כי המערכת המתוארת בספר יהושע מתאפיינת ביציבות יחסית ביחס למספר קריטריונים שונים. ממצא זה מצביע על כך שאין היא מבטאת מקסום של יעד יחיד, אלא איזון בין יעילות, שוויוניות ולכידות מרחבית. התרומה התאורטית של המחקר היא בהצעת מסגרת מושגית חדשה להבנת המושג 'מרחבי זיקה'. במקום לראותם כתוצר של אינטראקציות כלכליות בלבד, מוצע לראותם גם כתוצר של תכנון מוסדי. רשתות שירות ציבוריות יוצרות קשרים מתמשכים בין אוכלוסיות, ובכך מעצבות אזורי זיקה גם כאשר הגבולות המנהליים נקבעים אקסוגנית.

מנקודת מבט זו, מערכת ערי הלוויים אינה רק הסדר דתי או מנהלי. היא מייצגת ניסיון מוקדם לעצב מרחב ארצי באמצעות רשת של מוסדות ציבור, תוך איזון בין צורכי המרכז לבין צורכי הפריפריה. בכך היא מספקת דוגמה היסטורית ייחודית לאחת השאלות המרכזיות של התכנון האזורי בן זמננו: כיצד ניתן ליצור מרחבי זיקה החוצים גבולות מבלי לשנות את הגבולות עצמם.

השלכה זו רלוונטית במיוחד לדיון סביב התוכנית האסטרטגית המרחבית 2050. אם אכן מרחבי זיקה נוצרים באמצעות מערכות שירות ולא רק באמצעות גבולות מנהליים, הרי שמדיניות של פריסה מושכלת של מוסדות ציבור יכולה לשמש כלי מרכזי בעיצוב אזורי זיקה חדשים ובהעמקת שיתופי הפעולה בין ערים. במובן זה, האופטימיזציה המרחבית אינה רק טכניקה חישובית לשיפור את היעילות אלא גם מסגרת תאורטית להבנת האופן שבו מוסדות ציבור מעצבים את המרחב האזורי.

אף שהמחקר מתמקד במקרה היסטורי, עקרונותיו רלוונטיים לסוגיות מרכזיות בתכנון העכשווי. בעשורים האחרונים מתרחבת ההכרה כי אזורי פונקציונליים אינם נוצרים רק באמצעות כוחות שוק, אלא גם באמצעות פריסה מתוכננת של מערכות שירות ציבוריות. לדוגמא, בתי חולים אזוריים, מרכזים רפואיים ומרכזי טראומה מהווים עוגנים מרחביים שאינם משרתים רק את העיר שבה הם ממוקמים אלא אוכלוסיות המגיעות ממספר רב של מקומות אחרים. תכנון מיקומם מבוסס בדרך כלל על איזון בין יעילות, נגישות ושוויוניות. אלה פונקציות מטרה שנבחנו במחקר זה. אזור השירות (catchment area) של בית החולים מגדיר בפועל מרחב זיקה חדש, שאינו חופף בהכרח לגבולות מנהליים ורשת בתי החולים יוצרת מרחבי זיקה באמצעות

Owen, S. H., & Daskin, M. S. (1998). Strategic facility location: A review. *European Journal of Operational Research*, 111(3), 423-447.

Redding, S. J., and Rossi-Hansberg, E. (2017). Quantitative Spatial Economics. *Annual Review of Economics*, 9(1), 21-58.

Roback, J. (1982). Wages, Rents, and the Quality of Life. *Journal of Political Economy*, 90(6), 1257-1278.

דניאל פלדנשטיין הוא פרופסור מן המניין במחלקה למדע הרחב באוניברסיטה העברית. תחומי המחקר שלו הם גיאוגרפיה כלכלית, מדעי האזור וכלכלה עירונית ואזורית. מחקריו משתמשים בכלי סימולציה ואקונומטריקה מרחבית. עבודותיו נוכחיות עוסקות בעמידות עירונית מול סיכונים טבעיים גדולים, דינמיקה של שינוי בשוקי דיור, מידול ההתפשטות הפנים-עירונית של הקורונה ובניית מודל שווי משקל מרחבי מלא עבור המשק הישראלי. באוניברסיטה העברית הוא שימש כמנהל המכון ללימודים עירוניים ואזוריים, מנהל הקדמי של המרכז לגיאוגרפיה חישובית, מנהל התוכנית הבינלאומית בערים חכמות ואינפורמטיקה אורבנית וכראש המחלקה לגיאוגרפיה.

daniel.felsenstein@mail.huji.ac.il

קליין, ע'. (2026). חלוקה לאזורי זיקה - הצעת מתודולוגיה רישתית ומבוססת ניתוח אשכולות לחלוקה לקהילות. *תכנון*, 23(1).

Aharonovitz, I. K. (2025). Thinking New Regionalism in Israel- Concepts, Challenges, and Directions. *Geography Research Forum*, 44, pp. 1-7.

Beeri, I. (2025). Local Government Rising: The Emergence of New Regionalism in Israel. *Geography Research Forum*, 44, 8-34.

Church, R. L. and Murray, A. T. (2009). *Business Site Selection, Location Analysis, and GIS* (pp. 209-233). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Church, R., & ReVelle, C. (1974, December). The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*, 32, pp. 101-118.

Dalberto, C. R., and Amaral, P. (2023). Identifying Brazilian functional regions: a network approach, 1980-2010. *Regional Studies*, 58(5), 999-1017.

Daskin, M. S. (2013). *Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications* (2nd ed.). Hoboken, NJ: Wiley.

Dijkstra, L., Poelman, H., and Veneri, P. (2019). *The EU-OECD Definition of a Functional Urban Area*. OECD Regional Development Working Papers 2019/11, OECD, Paris

Epstein, S., Wilamowsky, Y., and Dickman, B. (1992). Cities of Refuge: A Facility Location Problem. *Higayon: Studies in Rabbinic Logic*, 2, 9-18.

Faludi, A. (2000). The Performance of Spatial Planning. *Planning Practice & Research*, 15(4), 299-318.

Fujita, M., Krugman, P., and Venables, A. J. (1999). *The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade*. MIT Press, Cambridge MA.

Glaeser, E. L. (2008). *Cities, Agglomeration, and Spatial Equilibrium*. Oxford University Press. Oxford.

Healey, P. (2006). *Collaborative Planning: Shaping Places in Fragmented Societies* (2nd ed.), Palgrave Macmillan, Basingstoke.

Krugman, P. (1991). Increasing Returns and Economic Geography. *Journal of Political Economy*, 99(3), 483-499.

Lipsey, R. G., and Lancaster, K. (1956). The General Theory of Second Best. *The Review of Economic Studies*, 24(1), 11-32.

Maghfira, Z. W., Sutriadi, R., & Perdana, A. B. (2025). Assessing Urban functional area delineation: POI data and kde analysis in pekanbaru. *Computational Urban Science*, 5(1), 33.

Murray, A. T. (2010). Advances in location modeling: GIS linkages and contributions. *Journal of Geographical Systems*, 12(3), 335-354.

Openshaw, S. (1977). Optimal zoning systems for spatial interaction models. *Environment and Planning A*, 9(2), 169-184.

OECD. (2013). OECD Regions at a Glance 2013: Annex A- Defining Regions and Functional Urban Areas. OECD Publishing, Paris.