

מעקב ומיפוי שינויים בדגמי השימוש של קרקע חקלאית

עם שיגורם של לוויני המחקר מסדרת ERTS (Earth Resources Technology) LANDSAT-1 וממשיכו LANDSAT-2, נפתחו אופקים חדשים לחקר תופעות ותהליכים על פני כדור הארץ⁽¹⁾. בין תחומי המחקר השונים לא נפקד מקומו של תחום שימושי הקרקע. הפוטנציאל הגלום בהדמאות (Images) לווניים לשם הקמת מאגר נתונים ועדכון מערכות מידע קיימות, ואפשרויות השימוש בהן לצרכי מיפוי שימושי קרקע תוארו לאחרונה על ידי כותב שורות אלו⁽²⁾. הדמאות הלוויניים הינם תצלומים המתקבלים באמצעים אלקטרוניים מחישינים (Sensors) המותקנים בלוויין המחקר ומשדרים לתחנות קליטה קרקעיות באורכי גל שונים.

בישראל נעשה שימוש מזערי בלבד במידע זה לצרכי מחקר ומיפוי. למעשה, פרט למפות התצלום של ישראל ומפה גיאולוגית בהוצאת מחלקת המדידות⁽³⁾, מחקרים גיאוגרפים בודדים⁽⁴⁾ וכן מספר מחקרים בתחום חקר הימים והגיאולוגיה⁽⁵⁾ לא נעשה כל שימוש בהדמאות. אחת הסיבות היא המיכשור היקר הדרוש לניתוח אוטומטי של המידע המתקבל מהחלל. עם זאת, נסיונות להפיק מידע מתצלומי הלוויניים ללא מיכשור מסובך (בניתוח ידני או ידני-למחצה) הניבו פירות רבים.

הפקת מידע שימושי בתחומים רבים, ובעיקר בחקר ומיפוי שימושי הקרקע, ניתנת לביצוע באמצעים פשוטים גם בישראל. כדי להסב את תשומת לבם של העוסקים בחקר שימושי הקרקע בישראל לאפשרויות אלה, מנסה רשימה זו להציג את דרך הניתוח של הדמאות על ידי הדגמת מחקר העוסק בבדיקת אפשרויות השימוש בתצלומי הלוויין LANDSAT-1 למעקב ומיפוי השינויים, החלים בדגמי עיבוד של קרקע חקלאית. המחקר נערך על ידי המחבר וחבריו⁽⁶⁾ בארצות הברית, במימונה של רשות החלל האמריקאית (NASA). מלבד זה, מוצגת בקצרה שיטת ניתוח ומעקב משוכללת יותר, הניתנת גם היא ליישום בישראל. חלקה האחרון של הרשימה עוסק בהערכת היתרונות והחסרונות של השימוש בתחום חקר שימושי הקרקע ואפשרויות יישום המידע.

מבנה הדמאות הלוויין

לוויני LANDSAT, המקיפים את כדור הארץ במסלול כמעט מעגלי, משדרים מידע באמצעות שלוש מצלמות טלביזיה RBV ומערכת סריקה, המשדרת בארבעה אורכי גל שונים. מערכת הסריקה משגרת מידע מגובה של 919 קילומטר, וכל הדמאה מכסה שטח בן 185X185 קילומטר, עם חפיפה של כ-15 קילומטר בין הדמאות עוקבות. התמונה המתקבלת באמצעים אלקטרוניים מפורקת לקווי סריקה רחביים, וכל קו סריקה כולל 3300 יחידות תצלום (פיסקלים). כל יחידת תצלום מכסה שטח של 79X56 מטר,

ובסך הכל הדמאה אחת בערוץ שידור נתון כוללת כשבעה מיליון פיסקלים הנרשמים על גבי סרט מגנטי. כל נקודה, המצוייה מתחת למסלול טיסתו של הלוויין, נסרקה פעם אחת ל-18 יום. בדרך זו מספק הלוויין מידע שוטף לגבי פני כדור הארץ בפרקי זמן קצרים ועוקבים.

המידע, הנרשם על גבי הסרט המגנטי, הוא רב ביותר, לדוגמה, המידע הספרתי של הדמאה אחת משתרע על פני 2500 עמודי פלט של מחשב. לפיכך, סרט הצילום הוא האמצעי היעיל ביותר לאחסנת המידע, אם כי ניתן לערוך עיבודים אוטומטיים, מדוייקים יותר מעיבודים ידניים, באמצעות סרטי המחשב.

תצלום מהלוויין המקובל הוא בגודל של 23.5x23.5 ס"מ, ולצורך מחקר ומיפוי נהוג להשתמש בתצלומי-שקף צבעוניים, כדי לאפשר כושר הפרדה גבוה בין השימושים השונים. לצרכי מחקר ופיענוח משתמשים בצילומים מערוצים שונים, בהתאם למטרת המחקר ונושאי הפיענוח. לדוגמה, השימוש בערוץ האינפרא-אדום נפוץ לזיהוי סוגים שונים של כיסוי פני קרקע (יערות מחטניים, נשירים, דגנים, מרעה וכיוצא בזה), וגדולה תרומתו לאיתור תופעות שאינן נראות בעין.

כיוון שאפשר לרכוש את תצלומי הלווינים ללא כל קושי ובמחיר זול יחסית (7 § לתצלום במחירי 1975), נדגים להלן שימוש אחד מרבים בתצלומים, בלי להזדקק למיכשור פיענוח מסובך. יחד עם זאת ראוי להדגיש, כי טכניקות הפיענוח משתכללות מיום ליום, ובשנות השמונים צופים את שיגורם של לוויני מיפוי מסחריים.

מעקב ידני של דגמי עיבוד קרקע

המחקר המוצג בזה התפתח ממחקר שימושי קרקע חקלאיים, אשר מטרתו היתה לבנות מאגר נתונים על היקף השטחים המעובדים במדינת מינסוטה בארצות הברית באמצעות הדמאות Landsat-1^(?). כוונת החוקרים היתה לבדוק את האפשרות להשתמש במידע המשוגר מהחלל לשם עידכון מאגר נתוני הקרקע של מינסוטה. בכך ניסו החוקרים למפות ולהעריך את היקף הקרקעות המעובדות באזור המחקר, ולהשוות את דיוק המיפוי באמצעות הדמאות עם דיוק המיפוי בדרך של תצלומי אוויר מקובלים.

שיטת החקירה

לצורך מיפוי השטחים המעובדים באמצעות הדמאות והערכת הדיוק, נבחרו ארבעה אזורים חקלאיים בדרום-מרכז מדינת מינסוטה. בכל אחד מהאזורים מגיע היקף האדמות המעובדות לכדי 95% מהשטח הכולל. באזורים אלה נערכו מספר סקרי קרקע בשנים 1972—1973, ולצורך המיפוי הנסיוני השתמשו בהדמאות מתאריכים קרובים לתאריכי הסקרים הקרקעיים. סקרי הקרקע שימשו למיפוי השדות המעובדים, וסיפקו מידע על מאפייני השדות, לצורך איתור מאפיינים המקשים על זיהוי והפרדה מדוייקים בין שטחים מעובדים לשטחים שאינם מעובדים.

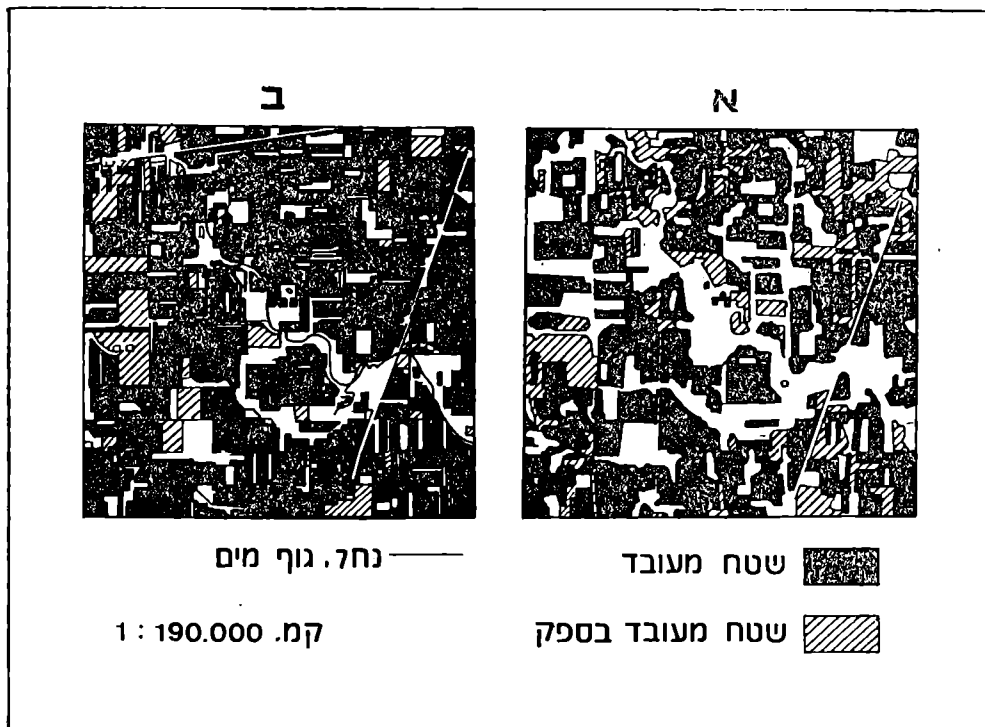
צילומי שקף אינפרא-אדומים נבחרו לצורך המיפוי הנסיוני, מכיוון שבאמצעותם ניתן היה להבחין ביתר קלות בשדות שנחרשו ונזרעו לאחרונה (בשל ניגוד הצבעים). תצלום השקף הונח על גבי שולחן אור ונסרק בעזרת מצלמה, כדי לקבל פסיפס שיקופיות צבעוניות של האזור המצולם מהחלל. השיקופיות הוקרנו על קיר, באופן שהתצלום המוקרן הותאם לקנה מידה של 1:62,500 — קנה המידה של מפות טופוגרפיות, אשר על בסיסן נערך המיפוי הקרקעי, וכן מיפוי באמצעות צילומי אוויר מקובלים.

המיפוי נערך על גבי גיליון חלק, והגדרת קבוצות שימוש הקרקע או מצבה נעשתה על פי יכולת ההפרדה הסובייקטיבית בין הצבעים השונים. מפות שימושי קרקע קיימות סיעו בהפרדת הצבעים הראשונית עד אשר נרכש נסיון אינטרפרטציה. יש לציין, כי הדיוק באינטרפרטציה ידנית של שטחים חקלאיים מעובדים, לעומת שימושי קרקע אחרים, מגיע לכדי 95%⁽⁸⁾. השוואת דגמי הקרקע המעובדת ודיוק המיפוי בין מיפוי ההדמאות, המיפוי מתצלומי האויר והמיפוי המבוסס על סקרי קרקע, נערכה על ביסס מפות בקנה מידה של 1:62,500.

מ מ צ א י ם

השוואת המיפוי על בסיס ההדמאות עם המידע הקרקעי העלתה, כי קיימים שינויים עונתיים במידת הדיוק במיפוי. המיפוי שנערך בתקופת הקיץ היה פחות מדויק מהמיפוי שנערך בשאר עונות השנה. בדיקת מאפייני השטח, על בסיס המידע הקרקעי, איפשרה לאבחן מספר גורמים לחוסר הדיוק באינטרפרטציה של צילומי הקיץ:

- א. ניגוד מינימלי של צבעים בתקופת הקיץ;
- ב. בתקופת הקיץ מרבית השדות היו יבשים. ככל שהשדה לח יותר, כך צבעו



ציור 1 השוואת מיפוי על בסיס תצלום לוויין (א), ותצלום אוויר (ב) בדרום מדינת מינסוטה, ארה"ב.

בתצלום הלווין כהה יותר, לפיכך קשה היה להבחין בין שדות מעובדים לשדות בלתי-מעובדים;

ג. גידולי קיץ מאוחרים או גידולי סתיו מוקדמים הובחנו לעיתים כשטחים בלתי מעובדים.

דיוק רב יותר הושג במיפוי האביב, כאשר בצילומים נראו בבירור גידולי החורף טרם איסופם. ציור 1 מציג את המיפוי מצילומי הלווין והמיפוי הקרקעי של אחד מארבעת אזורי המחקר. תוואי הדרכים הראשיות והנהר המצויים באזור נראים יפה במפת הלווין. חוסר בהירות מובחן בקביעת הגבולות שבין השטחים המעובדים לבין השטחים הבלתי מעובדים. בעייה זו קיימת גם במיפוי מפורט של שימושי קרקע באמצעות הדמאות וגם במיפוי ברמה אזורית⁽⁹⁾. מכיוון שסקרים קרקעיים לצורך השגת מידע בהיקף אזורי או ארצי הם יקרים וצורכים זמן לא-מעט — שתי האלטרנטיבות להשוואה הן תצלומי האויר ותצלומי הלווין. בהקשר זה נערכה השוואה בין הערכות של היקף השטחים המעובדים, כפי שהתקבלו משני סוגי המיפוי (לוח 1). הערכת היקף השטחים המעובדים יכולה להתבצע על בסיס עונתי או על בסיס שנתי כפי שמודגם בציור 2.

לוח 1:

השוואה בין הערכות היקף השטחים המעובדים על פי תצלומי אויר (תצ"א) ותצלומי לוויין בדרום מרכז מינסוטה בארה"ב (באחוזים)

אזור מחקר	שטח מעובד		מעובד בספק		שטח אחר		אזור מחקר	תצ"א	תצ"א
	טטייה	לוויין	טטייה	לוויין	טטייה	לוויין			
1	74.0	72.7	1.3	2.7	6.9	9.6	23.2	17.6	5.6
2	66.3	60.7	5.6	9.4	4.9	14.3	24.7	24.8	0.1
3	70.2	71.0	0.8	2.0	8.8	10.8	27.8	18.0	9.8
4	71.1	66.8	4.3	1.3	15.5	16.8	21.6	16.2	5.4
סטטייה ממוצעת (%)		3.0		9.0				5.2	

מקור: Stern et al., 1975.

מנתוני לוח 1 מסתבר, כי מידת הדיוק בהערכת היקף השטחים המעובדים משתנה מאזור לאזור. את השינוי במידת הדיוק יש ליחס למאפייני השטחים המעובדים. צפיפות משתנה של גידולים חקלאיים, שינויים בצבע העלים, וזווית החזרה משתנה של האור מפני הקרקע הם חלק ממאפיינים אלה. לדוגמה, שטחים חרושים יבשים יופיעו בגוונים מאד בהירים, שטחים מיוערים יופיעו בגוונים אדומים-כהים, ואילו שדות מרעה יופיעו בגוונים אפור. לפיכך, חוסר הדיוק הרב ביותר התגלה בהערכת היקף השטחים שזיהויים כ"מעובדים" הועמד בספק (לוח 1). בקטיגוריה זו התקבלה הסטייה הממוצעת הגבוהה ביותר בהשוואת התוצאות של שתי שיטות המיפוי. יחד עם זאת אפשר לקבוע, כי דרגת הדיוק בהערכת היקף השטחים המעובדים וזיהויים היא גבוהה ביותר.

תוצאות אלה עודדו את החוקרים לערוך השוואת עלויות בין סוגי המיפוי השונים (לוח 2). ארבעה אזורי המחקר כוללים שטח בן 373 קמ"ר. במיפוי על פי סקרי קרקע

נדרשו 128 שעות עבודת שדה ו-20 שעות עבודת משרד להכנת המפות של ארבעת האזורים לעונה אחת. לעומת זאת, במיפוי המתבסס על צילומי אוויר נדרשו רק 12 שעות עבודת שדה (למעט חמש שעות טיסה) וחמישים שעות מיפוי משרדי. המיפוי המתבסס על תצלומי הלווין הצריך, שבע שעות מיפוי משרדי בלבד. התחשיבים הכספיים המופיעים בלוח 2 מדגישים עד כמה זול הוא המיפוי מתצלומי הלווין.

לוח 2:

השוואת עלות מיפוי שימושי קרקע חקלאיים בשלוש שיטות שונות (בדולרים)

שיטת מיפוי	סקר קרקע	תצ"א	הדמאות
סה"כ מיפוי 373 קמ"ר	1761	643	59
מיפוי מיל מרובע (2.56 קמ"ר)	12.23	4.46	0.41

המיפוי הזול והמהיר, על פי תצלומי הלווין, מאפשר גם מעקב אחר שינויים מרחביים בדגם הקרקעות המעובדות, כפי שמוצג בציור 2. יש לשער, כי גם ההיקף המצומצם של הקרקע המעובדת בתקופת הקיץ תרם לחוסר הדיוק באינטרפרטציה של צילומי עונה זו, בעוד שבתקופת החורף הלחה ובאביב (תקופת הגשמים והשטפונות במינסוטה) הדגם זוהה בדיוק רב יותר.

חפיפת הדגמים המרחביים העונתיים של הקרקעות המעובדות מאפשרת יצירת מפה המציינת את היקף השטחים המנוצלים לעיבוד חקלאי במשך השנה. מיפוי ברמת פירוט גבוהה יותר יאפשר איתור מהיר של שטחי בור ושטחים בלתי מנוצלים אחרים.

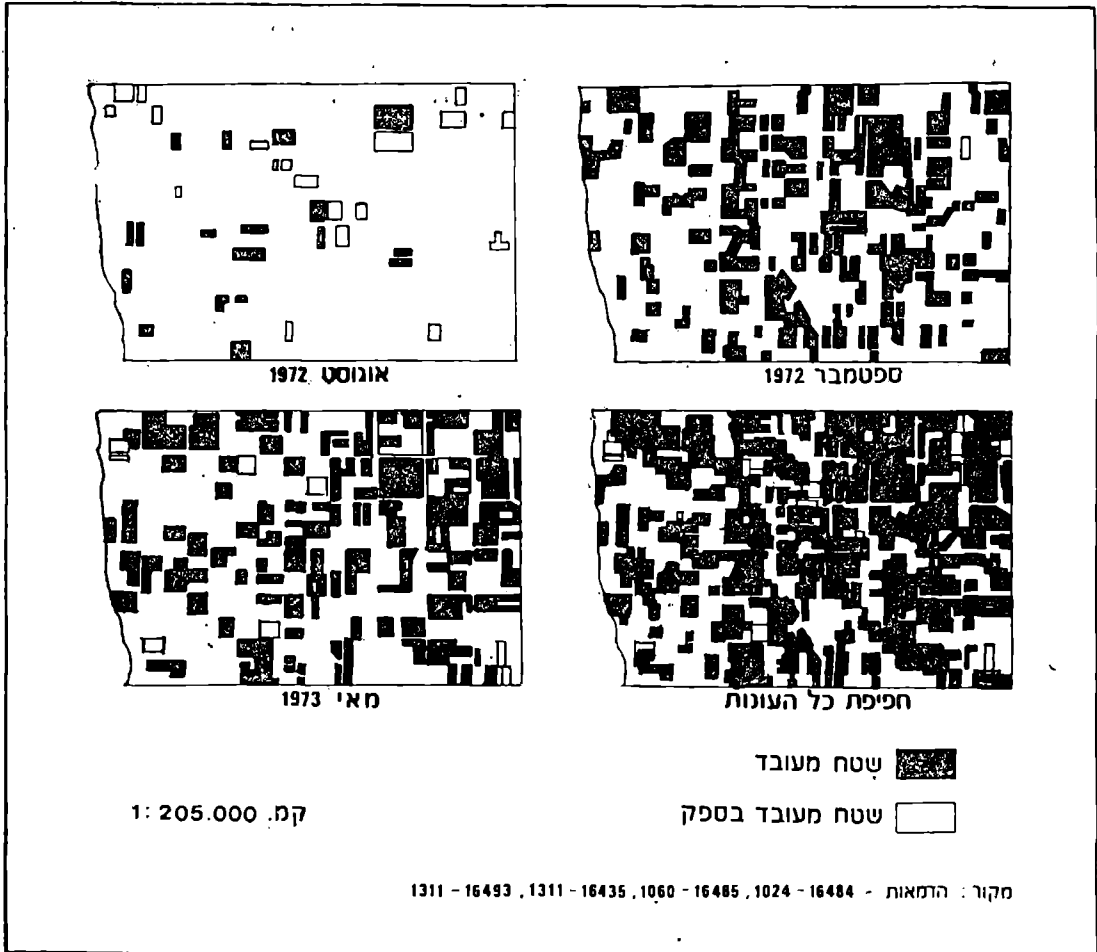
הערכה

לאור ממצאי המחקר, נראה השימוש בתצלומי הלווין, כמקור לאיסוף נתונים לצרכי תכנון ומחקר ברמה האזורית והארצית, כמבטיח ביותר. מחקר זה שופך אור על גזרה

לוח 3:

הערכת עדיפותו (של שלוש שיטות למיפוי שימושי קרקע

שיטת מיפוי	סקר קרקע	תצ"א	הדמאות
דיוק בזהוי שימוש בקרקע	1	2	3
דיוק בקביעת גבולות	1	2	3
שטח כיסוי	3	2	1
יחידת חקירה מרחבית	1	2	3
זמינות מידע (עדכון שוטף)	3	2	1
משך המיפוי	3	2	1
מחיר המיפוי	3	2	1
	עדיפות		
(*) העדיפויות הן:	1	3	
גבוהה	בינונית	נמוכה	



ציור 2 : שינויים עונתיים בדנמי קרקע מעובדת בדרום מרכז מינסוטה, ארה"ב.

צרה בלבד בחקר שימושי הקרקע. להרחבת היריעה בדבר השימוש בהדמאות לחקר שימושי קרקע מופנה הקורא לעבודותיהם של Nunnally⁽¹⁰⁾, Simpson et al.⁽¹¹⁾ ואחרים. ממצאי המחקר הנדון מציינים, כי יתרונות השימוש בתצלומי הלווין בשיטה ידנית הם בעיקר בהיקף השטח הניתן למיפוי מתצלום בודד, האפשרות לקבל מידע שוטף (כאמור, כל נקודה על פני הכדור נסרקת אחת ל-18), פרק הזמן המינימלי הדרוש למיפוי ומחירו הנוול (לוח 3). מגבלת השימוש העיקרית לאיסוף מידע ברמה מפורטת היא דרגת הדיוק הנמוכה בקביעת הגבולות בין השימושים השונים. את רמת הדיוק בזהווי, ובמקצת גם את הדיוק בקביעת הגבולות, ניתן לשפר על ידי אינטרפרטציה ידנית למחצה, בלי להשתמש בציוד יקר ובשיטות סטטיסטיות מורכבות כפי שמתואר להלן.

שכלול אפשרויות המעקב

דרגת דיוק גבוהה יותר באינטרפרטציה של שימוש הקרקע ניתנת להשגה תוך שימוש במידע ספרתי. במקרה זה, הפרדת צבעי התצלום נעשית באמצעות מכשיר, הקורא את כמות האור העוברת דרך תצלום השקף או ישירות, באמצעות המידע הספרתי המתקבל מהלווין ומתורגם לסרטים מגנטים. באמצעות "קורא אור" ומערכת טלביזיה במעגל סגור, שמצלמתה משמשת להעברת האור, ניתן בצורה זולה יחסית לערוך הקבצות ספרתיות לצורך זיהוי קבוצות שימושי קרקע. על מנת לקבל קריאות אור מפני השטח יש למקם את מוקד המצלמה בנקודות נתונות או לערוך קריאת אור רציפה באמצעות Densitometer. בשתי השיטות יש להשוות את הממצאים עם מידע קיים כדי להעריך את רמת הדיוק. הגדרת טווח המספרים (הקבצות ספרתיות) המייצגים שימוש קרקע נתון, ניתנת להיעשות באמצעות השוואות רבות בין קריאות ה"אור העובר" ובין שימוש הקרקע, תוך התבססות על סקר או מדגם קרקעי. אפשר להשתמש גם בשיטות סטטיסטיות פשוטות, כגון שיטת הריבועים הפחותים על מנת להעריך את הסטיות האפשריות בעת ההקבצה. בשיטת ההקבצה הספרתית המבוססת על קריאות אור, האינטרפרטציה אמינה ומדוייקת יותר, ואינה תלויים בגורמים סובייקטיביים של עורך המפה. שיטות הקבצה מתקדמות יותר מתבססות על בניית היסטוגרמות רב מימדיות (מימד לכל ערוץ צילום כאשר צילומים מכל ארבעת ערוצי מיכשור הסריקה המותקן בלווין באים לידי שימוש) של קריאות אור ספרתיות לאורך כל פיקסל של הצילום. חוקרים אחרים יישמו שיטות סטטיסטיות מורכבות יותר כגון Maximum Likelihood לבניית קלסיפיקציה של שימושי קרקע (12).

אפשרויות יישום

מבין היישומים שנחקרו באשר לשימוש במידע המופק מהדמאות הלווין, נודעת חשיבות מרובה לאפשרות של עדכון המאגרים של נתוני קרקע. מכיוון שניתן למקם כל ידיעת מידע במרחב, הרי שמערכת המידע האצורה בהדמאות היא ביסודה "מערכת מידע גיאוגרפית" (13). מערכות אלה מיועדות להחליף את מאגר המידע האצור במפות המקובלות, כאשר יש לעבד ולנתח בצורה כמותית כמות גדולה של נתונים מרחביים.

ניתוח זה ייעשה באמצעים אוטומטיים בהתבסס על יחידת מידע מרחבית מוגדרת. כושר ההפרדה של תצלום הלווין יגביל כמובן את יחידת המידע המרחבית של מאגר הנתונים. אחת ממערכות המידע אשר לגביהן נבדקה אפשרות השימוש בהדמאות ועדכון האינפורמציה היא מערכת המידע של מדינת מינסוטה (14) (Minnesota Land Management Information System).

מערכת זו מבוססת על 14.4 מיליון יחידות מידע מרחביות בנות 40 אקר כל אחת, המתאימות לניתוח ברמה הנפתית המצומצמת (County-base), ברמה האזורית וברמה הארצית. המערכת כוללת תשע קטיגוריות של שימושי קרקע: שטחי יער, מים, ביצות, שטחים מעובדים, מרעה ושטח פתוח, אזור עירוני – מגורים, אזור עירוני – שימושים אחרים, תחבורה ושטחים אחרים. הסתבר, כי לשימוש בהדמאות הן לעדכון שימושי קרקע עירוניים והן חקלאיים יש פוטנציאל רב. ההבחנה בין שתי קבוצות השימושים העירוניים (לעיל), לדוגמה, אפשרית בכל ישוב מגודל 7000 נפש ומעלה. דיוק רב יותר הושג בזיהוי דגם שימושי הקרקע החקלאיים.

במסגרת הבדיקות להקמת מאגר נתוני קרקע בישראל⁽¹⁶⁾, ראוי לתת את הדעת גם לשילוב מקור מידע זה בבנייה אינטואיטיבית שימושי קרקע. השינויים הרבים בדגם שימושי הקרקע אינם מאפשרים, בדרך כלל, את עדכונו השוטף באמצעות תצלומי אוויר או סקרי קרקע. למרות שהמידע המתקבל מלוויני המחקר פחות מדויק בשיטות עיבוד ידניות וידניות למחצה מזה של מקורות המידע המקובלים — השימוש בו לצורך עדכון שוטף של דגם שימושי קרקע הוא בהישג יד, מהיר וזול.

הערות

1. U.S. Department of Interior, *Studying the Earth from Space*, : ראה סקירה אצל Washington, D.C., 1970.
2. שטרן, אליהו. "פוטנציאל השימוש בלוויני מחקר למיפוי שימושי קרקע", *אופקים בגיאוגרפיה*, 3, 1977, עמ' 33-43.
3. מפות ישראל בקנה מידה 1:500,000 ו-1:750,000 המהוות פסיפס תצלומים מהלוויין LANDSAT-1 ומפה גיאולוגית של ישראל (בעריכת המכון הגיאולוגי) על רקע תצלומי הלוויין בהוצאת אגף המדידות.
4. לדוגמה, גביש דב, "מחקר אזורי-כפרי באמצעות תצלומי לוויין", תקצירי הרצאות שניתנו בכנס חצי היובל למחלקה לגיאוגרפיה בירושלים, ירושלים, 1976.
5. לדוגמה, Otterman, J., Lowman, P.D. and Salmonson, V.V., "Surveying Earth Resources by Remote Sensing from Satellites", *Geophysical Survey*, Vol. 2, 1976, pp. 367-431.
6. Stern, Eliahu et al., *Wildlife Habitat Change and Seasonal Cultivation*, University of Minnesota, Center of Urban and Regional Affairs, Minneapolis, 1975.
7. Graber, Linda et al., "ERTS-1 Application to the Mapping of Agricultural Land Use in Minnesota", in Sizer et al., *Application of ERTS-1 Imagery to State-Wide Land Information System in Minnesota*, 1973, pp. 17-25.
8. Brown, D., *ERTS-1 Capabilities for Land Use Mapping in Minnesota*, Progress Report prepared for Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, 1964.
9. שטרן, שם, ע' 36.
10. Nunnally, N.R., "Interpreting Land Use from Remote Sensor Imagery", in Estes, E. and Senger, L.W. (eds.), *Remote Sensing: Techniques for Environmental analysis*, Hamilton Publishing Co., California, 1974, pp. 167-189.
11. Simpson, R.B. et al., *Investigation of Land Use of Northern Megalopolis Using ERTS-1 Imagery*, Dartmouth College Project in Remote Sensing, 1974.
12. Latham, P. James, *Urban Pattern Recognition and Image Color Discrimination with TV Waveforms and Computerized Matrix Analysis and Mapping*, Department of Geography, Florida Atlantic University, 1974.
13. וראה גם, Tomlinson, R.F. (ed.), *Geographical Data Handling*, Symposium Edition, IGU Commission of Geographical Data Sensing and Processing, Ottawa, 1972.
14. Mei-Ling Hsu et al., "Computer Applications in Landuse Mapping and the Minnesota Land Management Information System", Paper presented at the NATO Advanced Study Institute on Display and Analysis of Spatial Data, 1973.
15. לדוגמה, דונסקי, נ., "סקר רורבות הקרקע באזור תל-אביב — מבחן מוקדם להקמת מאגר נתוני קרקע", קרקע, חוברת 13, יולי 1977, עמ' 8-15.

רשימה ביבליוגרפית

1. Wehrwein, G.S., 1942, "The Rural Urban Fringe", *Economic Geography*, 18 (3), p. 217.
2. Murphy, R.E., 1966, *The American City*, McGraw-Hill, N.Y.
3. Sinclair, R., 1967, "Von Thunen and Urban Sprawl", *AAAG*, 57.
4. עמירן ד' ושחר א', תשל"א, "אגד הערים של תל-אביב", ארץ-ישראל י', 198—217.
5. גביש ד' תשל"ד, התמורות הניגלות בשימושי קרקע-כפרית כתוצאה מהתפשטות השטח מחקרים, ט' החברה לחקירת ארץ-ישראל ועתיקותיה, עמ' 86.
5. גביש ד' תשל"ד, התמורות הניגלות בשימושי קרקע-כפרית כתוצאה מהתפשטות השטח הבנוי, עבודת גמר לתואר מ.א. המחלקה לגיאוגרפיה. ירושלים, עמ' 64. וכן ר' בהערה 5. הערה: המחברים מודים למר מנחם פלור, מרכז הועדה לשמירה על קרקע חקלאית במשרד הפנים בירושלים, על האינפורמציה שהעמיד לרשותנו ועל הערותיו המועילות.
7. Ayery, G., 1965, "Measuring Land-Use Changes on USDA Photographs", *Photogrammetric Engineering*, 31, 620-624.
Bortholomew, H., 1955, *Land Uses in American Cities*, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass.
Dill, Jr., H.W., 1959, "Use of the Comparison Method in Agricultural Airphoto Interpretation", *Photogrammetric Engineering*, 25, 44-49.
Wibberley, G.P., 1959, *Agriculture and Urban Growth, A Study of the Competition for Rural-Land*. M. oseph, London.
8. Lee, T.C. and G.G. Judge and A. Zellner, 1970, "Estimating of the Parameters of the Markov Probability Model from Aggregate Time Series Data", Amsterdam-London.
Sonis, M., 1972, "Behaviour of the States of Lenear Economic Systems", Tel-Aviv University.
9. Feller, W., 1966, *An Introduction to Propability Theory and its Applications*, Vol. I, New York.

משרד החקלאות, תכנון חקלאי ורשות הפיתוח.

אוניברסיטת תל-אביב, המחלקה לגיאוגרפיה.

מכון לחקר שימושי קרקע.

יצא לאור מחקר בשפה האנגלית, 247 עמ' :

"שיווי משקל בשימושי קרקע בעיר ובכפר"

מאת: ש. פוהירילס, א. פוזננסקי, א. שמואלי, א. שסקין, ש. זרחי.

המעוניינים מתבקשים לפנות: ת.ד. 7816, ירושלים.