

נספח טכני

דו"ח מצב הטבע

ישראל 2022 | מגמות ואיומים

פרק א – שימושי קרקע בישראל (תכנית) – נספח טכני

מיכל קורן - michal.koren@hamaarag.org.il

רון חן - ron.chen@hamaarag.org.il

1. רקע

מפת התכנית היא קומפילציה של שכבות מידע ממקורות שונים המסודרות במודל היררכי שבו שכבות מסויימות מקבלות תעדוף על אחרות מבחינת תצוגה ומשמעות (למשל, במקרה ששכבה של שטח בנוי נמצאת בחפיפה עם שטח חקלאי, השטח ייחשב ויסומן כבנוי). השכבה הסופית היא רסטורית ומורכבת מיחידות (פיקסלים) בגודל 25X25 מ'. שכבות ווקטוריות ששימשו לעדכון המידע עברו המרה לראסטר לצורך הטמעתן במפה המעודכנת.

2. מקורות נתונים ומידע

קטגוריה	קוד מספרי במפת התכנית	היררכיה (ערכים 1-13, איזו שכבה יכולה לדרוס את המידע הקודם לה, ערך קטן יותר גבוה יותר בהיררכיה)	שם השכבה (לפי שם השכבה מספק הנתונים)	ספק הנתונים	תאריך העדכון האחרון	מאפייני השכבה
חקלאות	41 - חקלאות גד"ש 42 - חקלאות מטעים	1	שכבת הכשרות משרד החקלאות	משרד החקלאות	ינואר 2022	לאחר וולידציה של הכשרת שטח הוספו שטחי חקלאות שאושרו ע"י וועדת קרקעות ולא הופיעו בשכבת החקלאות.
חקלאות	41 - חקלאות גד"ש 42 - חקלאות מטעים	1	שכבות קודמות של משרד החקלאות	משרד החקלאות		שטחים שסומנו בעבר כחקלאיים בשכבת משרד החקלאות, אך לא סומנו כחקלאיים ב-2020, הוספו כשטחי חקלאות לאחר וולידציה.
בינוי	11	2	BLDG, PAVED_ROAD	בנט"ל (מפ"י)	ספטמבר 2020	שטח בין מבנים ביישובים הוגדר כבנוי/סלול על בסיס שימוש בשכבה פוליגונלית SETL_AREA שעודכנה ב-2013

מופר אחר	23	3	BLDG	בנט"ל (מפ"י)	ספטמבר 2020	מבני בנט"ל מסוג: מבנה אירעי, מכל, מבנה הרוס וסככה
מקווי מים	51 - מקווי מים טבעיים 52 - מקווי מים מלאכותיים	4	WATER_SUR FACE (BNTL); WaterReservoirs_Final_SPNI ; Waterbodies_ addition_Aug- sep_2020	בנט"ל (מפ"י), החברה להגנת הטבע, רשות הטבע והגנים ודיגיטציה של המארג	בנטל - ספטמבר 2020, מידע מרט"ג אוקטובר 2019, מידע מהמארג - ספטמבר 2020	השכבה מכילה מידע על גופי מים טבעיים (אגמים ונחלים גדולים) וכן גופי מים מלאכותיים (מאגרים ובריכות דגים)
מחצבות	22	5	quarries2018- 2019_by_ortho	דיגיטציה של המארג	2019	
מופר אחר - שטח כלוא בין כבישים קטן מ- 100,000 מ"ר	21	6	PAVED_ROA D, UNPAVED_R OAD	בנט"ל (מפ"י)	ספטמבר 2020	לפי חישוב של המארג על שכבות בנט"ל (מפ"י)
בינוי - כבישים	11	7	PAVED_ROA D	בנט"ל (מפ"י)	ספטמבר 2020	
מופר אחר - אזורים בהם כביש/מסילת רכבת מוגבה מעל רמפה	21	8	PAVED_ROA D, RAILWAY	בנט"ל (מפ"י)	ספטמבר 2020	נכללו רק הערכים הבאים מתוך הקטגוריה תצורת כביש/מסילה: גשר, מקורה, גשר 2, גשר 3
חוות סולאריות	25	9	מתקנים פוטו-וול טאי updated_i n_2021_04_2 2	מנהל התכנון עם טיוב של המארג	אפריל 2021	טיוב לצורך ניפוי של מתקנים שנוספו ב- 2020 בפועל
מיוער	35	10	IL_Stands	קק"ל	ספטמבר 2020	נכללו רק הערכים הבאים מתוך הקטגוריה COV_TYPE של עומדים המכילים עצים מחטניים: אורן ברוטיה/אורן גלעין/אורן ירושלים/אורן כנארי/ אורנים/ ארזים/ ברוש אריזוני/ ברוש מצוי/ מעורב א.ברוטיה - ברוש מצוי/ מעורב א.ירושלים - א.ברוטיה/ מעורב א.ירושלים - ברוש מצוי/ מעורב עצי מחט / מעורב עצי מחט - רחבי עלים
חקלאות	41 - חקלאות גד"ש 42 - חקלאות מטעים	11	Agri_2021_06	משרד החקלאות	יוני 2021	נתונים שעודכנו ב- 2021 אך בפועל הוסיפו מידע לגבי 2020 (מיפוי באיחור)

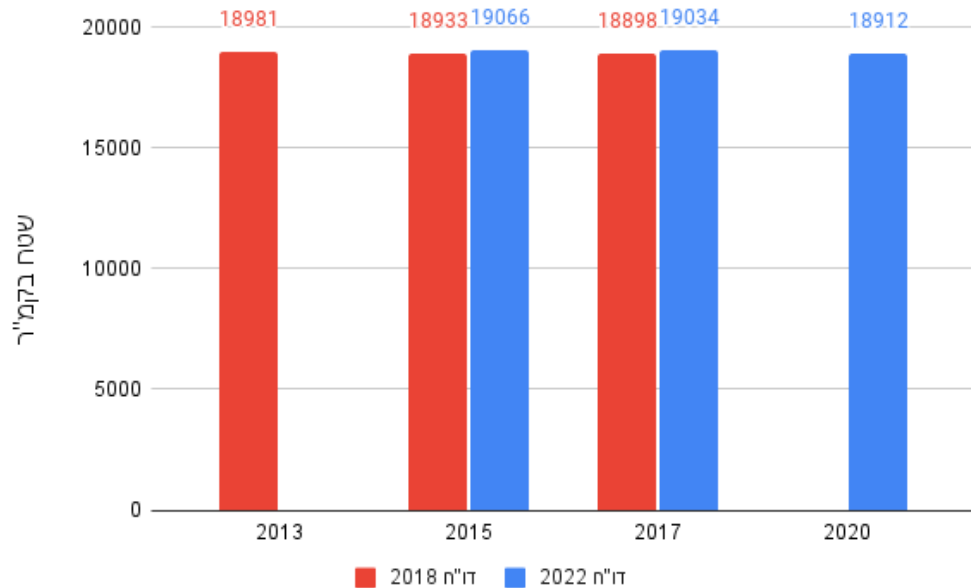
נתונים שעודכנו ב- 2021 אך בפועל הוסיפו מידע לגבי 2020 (מיפוי באיחור)	יוני 2021	משרד החקלאות	Agri_2021_06	12	12	חקלאות בינוי
כל שטח שלא הוגדר תחת קטגוריות שימושי הקרקע האחרים				13	30	טבעי
מפת התכנית של 2017 שימשה כבסיס שעליו נעשו עדכונים ל- 2020	21/06/2022	המארג	LandCover2017	13		כל הקטגוריות
	2013	המארג	לפי LandCover2017	13	23	מופר אחר - שטחים סגורים בבסיסים

3. אימות וטיוב הנתונים

נתוני מפת התכנית בדו"ח 2022 עברו תיקוף (ולידציה) מול אורתופוטו (תצלום אוויר). בעקבות פערים בין מועד העדכון של הנתונים למועד השינוי של השטח בפועל. הולידציה התמקדה באזורים שעברו שינוי (תוספת או גריעה של שטחים מהקטגוריה הנבחנת) בהשוואה למפות תכנית מהשנים הקודמות. על סמך הולידציה נעשה טיוב לקטגוריות שהשפעתן היחסית על השטחים הפתוחים גדולה יחסית: חקלאות ומאגרי מים. תהליך טיוב הנתונים נעשה גם עבור השנים 2015 ו-2017. חשוב להדגיש שתהליך הטיוב טרם הושלם עבור כל קטגוריות התכנית. בסוף התהליך התקבלו בעקבות הטיוב מספר הבדלים בין סכום השטחים שחושבו כשטחים פתוחים בדו"ח 2022 לבין אלה שפורסמו בדו"ח 2018.



איור 1 מציג את ההבדלים שהתקבלו בין נתוני הדו"חות.



איור 1: היקף השטחים הפתוחים בישראל בדו"ח 2018 (באדום) ולאחר טיוב הנתונים בדו"ח 2022 (בכחול).

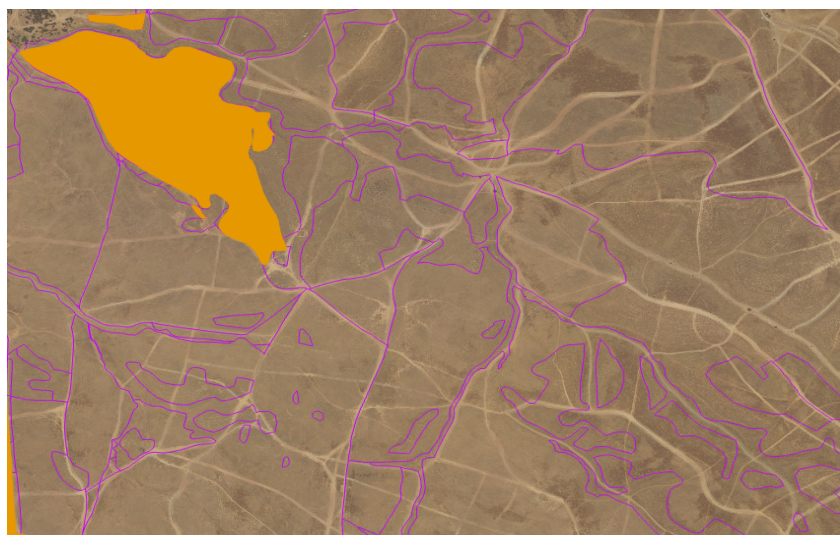
i. חקלאות

בבדיקת מיפוי השטחים החקלאיים מדו"ח 2018 נמצאו פערים גדולים בין מה שסומן כשטח חקלאי לבין השטחים החקלאיים בפועל. לפערים אלה ישנן מספר סיבות –

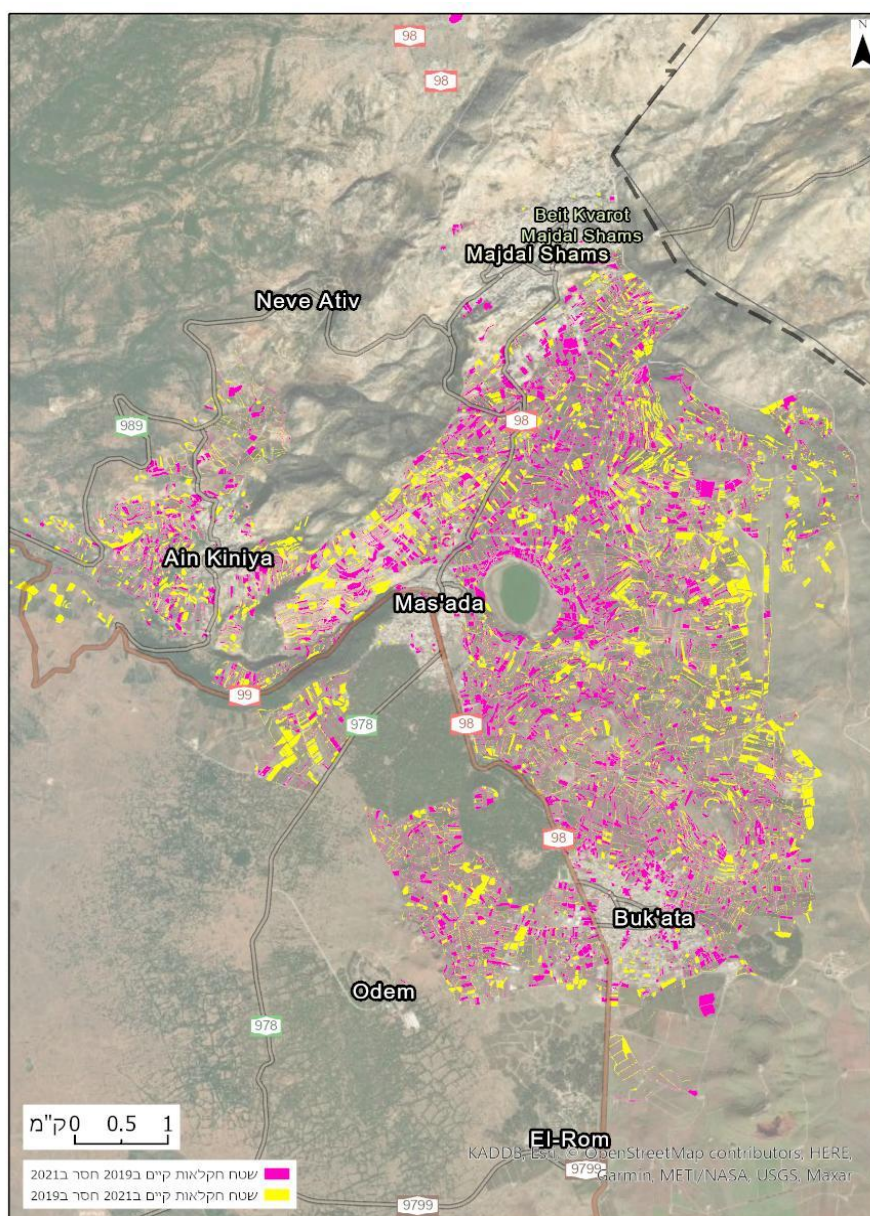
1. פער בזמן המיפוי בין המועד בו השטח הוכשר לחקלאות בפועל עד למועד בו הוא סומן כחקלאי במיפוי. פער זה ניתן לזהות רק כאשר משווים בין אורתופוטו לשכבת מיפוי מאותה שנה.
2. שטחים שאינם חקלאיים אך נראים כך בהתבוננות באורתופוטו. שטחים אלה סומנו בטעות כשטחים חקלאיים ובמיפוי מאוחר יותר הטעות תוקנה והם כבר לא סומנו ככאלה – למשל בשטחי נטיעות חדשים של קק"ל (במיוחד בצפון הנגב ביערות קציר נגר). טעויות סימון של שטחים חקלאיים ופערים הנוצרים מהם – למשל – דרכים חקלאיות שמסומנות בשכבה אחת כשטח חקלאי ובשכבה משנה אחרת אינן מסומנות.



דוגמא א: שטח נטיעות קציר נגר של קק"ל שסומן כשטח חקלאי ב-2015 אך לא סומן כשטח חקלאי ב-2017. פערם כאלה גרמו לחישוב מוטעה של אבדן שטחים חקלאיים בדו"ח 2018.



דוגמא ב: שטח אש (מערב לכיש, מצפון לדבירה) שעבר פעולות פיזיות לצמצום שרפות וסומן בטעות כשטח חקלאי בשנת 2015 אך לא ב-2017.



דוגמא ג: דגם "פסיפס" במיפוי חקלאי שבו בשנה אחת מסומנים חלק מהשטחים החקלאיים ובשנה אחרת שטחים אחרים.

כדי להעריך נכונה את השינוי שנערך בשטחים החקלאיים בין השנים 2017-2020 נבדקו כל השטחים שסומנו כחקלאיים בשנה אחת (2017) אך לא בשניה (2021) מול אורתופוטו. נמצא שיש פער גדול (עשרות קמ"ר) במיפוי ושטחים חקלאיים "חדשים" כביכול, היו גם בשימוש חקלאי כבר ב-2017 והפער נוצר בשל מיפוי מאוחר. בנוסף, התקבלה ממשרד החקלאות שכבה של וועדות קרקע שאושרו לחקלאות אך לא מופו בשכבה הרשמית. המארג ערך בדיקה של שטחים אלה כדי לבדוק כמה מהם כבר הוכשרו לחקלאות ומתי. שטחים שהתברר כי הוכשרו לחקלאות שימשו לחישובים של התכנית אך לא לעדכון של המפה בדו"ח. שכבת החלקות שזוהו כקרקעות שהוכשרו בין השנים 2017 ל-2021 שמורה במארג תחת השם `agri new plots between 2017to2021.shp`. קטגוריה `check2021` במידע הטבלי של השכבה מכילה ערכים 1 או 12. ערך 1 מציין שטחים שכל שטחם חקלאי ו-12 מציין שטח שרק חלקו חקלאי.

ii. גופי מים ומאגרים

נעשתה עבודת תיקוף של צוות המארג. תחילה זוהו גופים עם החזר ספקטרלי של מים בחישה מרחוק. לאחר מכן, נופו בתוכנת ArcGIS גופי מים שמופיעים בשכבת מאגרי המים של החברה להגנת הטבע. הגופים שנותרו חולקו בין אנשי הצוות שבדקו באופן וויזואלי (אל מול אורתופוטו) האם מדובר בגוף מים ובמקרה של זיהוי נכון מיפו באופן ידני את מאגר המים (המיפוי בחישה מרחוק לא מדויק מספיק לעדכון של מפת התכנית). הוולידציה והמיפוי הנל' בוצעו רק על חלק מהגופים שזוהו כגופי מים בחישה מרחוק. שכבת הגופים שמופו בדרכ זאת שמורה במארג תחת השם `Waterbodies_addition_Aug-sep_2020`.

בנוסף, בבדיקה מול אורתופוטו 2016 נמצאו פערים במיפוי של מאגרי מים במפת התכנית של 2017. השלמה של הפערים בוצעה באמצעות בדיקת תוספת מאגרי המים בין השנים 2020 ו-2017 אל מול אורתופוטו מ-2016. מאגרים שהתברר כי היו כבר קיימים כבר ב-2016 צורפו למיפוי של 2017. שכבת הגופים ששימשה לתיקון של מאגרי המים במפת התכנית של 2017 שמורה במארג תחת השם `WATER_SURFACE_2020to2017_delta.shp`.

בנוסף, בכל מיפוי יש לבדוק מול אורתופוטו עדכני את מיקום **חופי ים המלח** המשתנים מדי שנה. הירידה בקו המפלס מייצרת שטחים יבשתיים (המסומנים במפת התכנית כ"טבעיים" כביכול) חדשים, במקביל לצמצום שטח האגם.

1 רקע

מפת כיסוי צומח מציגה את מצב הצומח הטבעי הירוק בקיץ בכל שנה בה קיימים נתונים בין השנים 1985-2020, בזמן המינימום השנתי (סוף הקיץ). המשמעות היא בעיקר הצגה של צומח מעוצה, אך גם מינים עשבוניים (כמו קנה מצוי) שירוקים בקיץ, או צומח אחר במקומות שנותרו לחים מספיק על מנת לקיים צומח ירוק גם בשיא הקיץ.

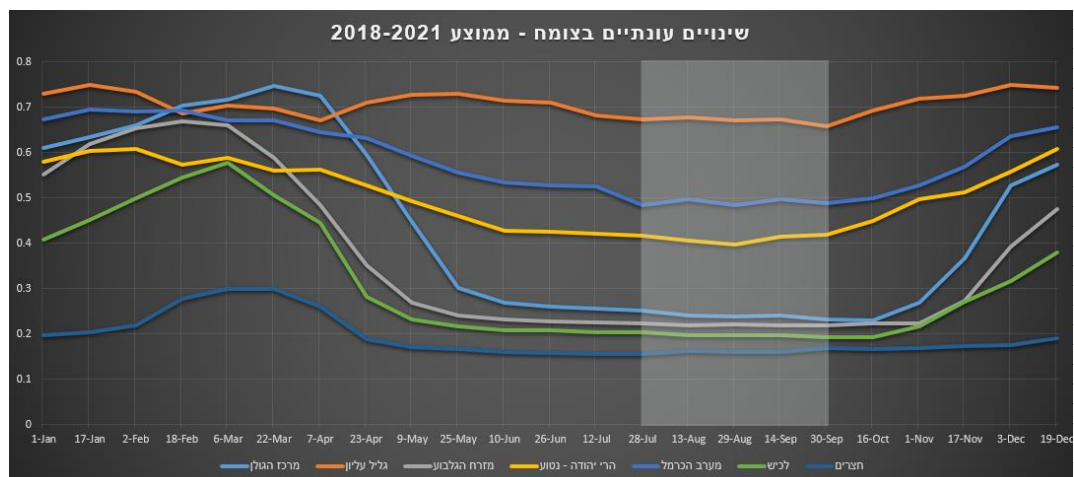
2 נתונים

1. הדמאות לאנדסאט-5 ולאנדסאט-8 מתוקנות אטמוספירית מתוך Google Earth Engine (ניתן להשתמש גם בכל מקור אחר שמספק את אותו התוצר).
2. שכבה ראסטרי של ערכי סף של NDVI לפי מיפוי שנעשה במארג בעבר (פירוט בהמשך).
3. שכבת ממ"ג של שטחים בנויים וחקלאיים, מתוך מפת התכסית של המארג.

3 שיטות

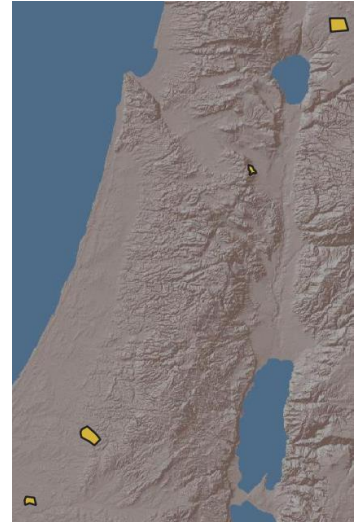
3.1 קביעת תאריכי לקיחת נתונים לניתוח

לצורך מיפוי כיסוי צומח חושב ערך NDVI על תמונות לאנדסאט-5 ולאנדסאט-8 מתוקנות אטמוספירית מהשנים 1985-2020. על מנת לקבוע את הזמן המתאים למיפוי צומח ירוק עד, נבדקו נתוני NDVI שנתיים במיצוע על פני שלוש שנים לפי תוצר מיפוי צומח של מודיס. הסיבה לבחירה במודיס היא תוצר ה-NDVI שלו: תוצר מכויל בעל יחס אות לרעש נמוך, שממוצע הדמאות יומיות של 16 הימים שקדמו לתאריך הפקת התוצר¹. תוצר זה אינו מתאים למיפוי מדויק של כיסוי צומח, שכן הוא בעל רזולוציה גסה של 250 מ' /פיקסל ובנוסף קיים רק משנת 2000, בעוד שנתוני לאנדסאט-5 קיימים באופן רציף משנת 1985. כפי שניתן לראות באיור 1 זמני המינימום הם בחודשים אוגוסט-ספטמבר.



איור 1: ממוצע שינויים עונתיים בצומח במספר אזורים נבחרים. הנתונים על פי NDVI 16-יומי של מודיס, על כן כל תאריך מייצג את 16 הימים שקדמו לו.

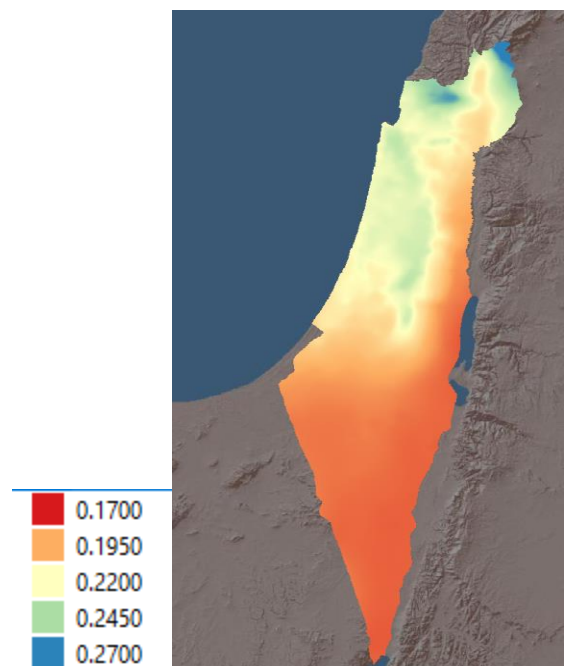
¹ Kamel et al., "MODIS Vegetation Index User's Guide."



איור 2: אזורי הבתות שמיוצגים בגרפים שבאיור 1

3.2 קביעת ערכי סף לפי נתוני משקעים

בהמשך לעבודה שנעשתה במארג בעבר ולפרסום של רוני דרורי על הקשר שבין כמות משקעים וערכי $NDVI^2$. ערכי ה- $NDVI$ המכילים עברו שיקלול לצורך סטנדרטיזציה על ידי חלוקה בראסטר ערכי הסף לצומח ירוק (איור 3), כך שכל פיקסל בעל ערך של 1 ומעלה מוגדר כצומח ירוק.



איור 3: מפת ערכי סף של $NDVI$ בהתאם לכמות משקעים שנתיית ממוצעת

² Drori et al., "Precipitation-Sensitive Dynamic Threshold."

3.3 כיול והרמוניזציה בין לאנדסאט-8 ולאנדסאט-5

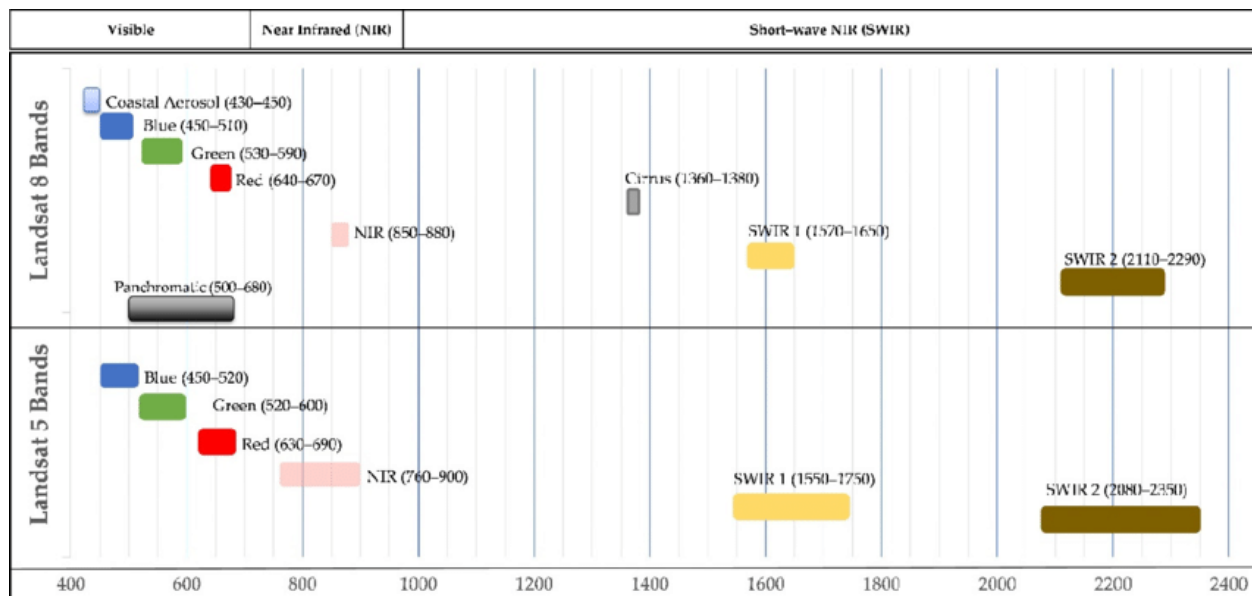
בתוך טווח הזמן הנבדק (1985-2020) תכנית לאנדסאט של נאסא כללה שלושה לוויינים:

1. לאנדסאט-5 שהיה פעיל מ 1984 עד 2010.
2. לאנדסאט-7 ששוגר ב 1999 אבל החל מ 2003 שידר מידע פגום ועל כן לא נעשה בו שימוש בתוצר זה, מלבד לצורך כיול כפי שמוסבר בהמשך.
3. לאנדסאט-8 שמשדר מידע מ 2013 ועד היום.

לצורך יצירת סדרת זמן רציפה היה הכרח ליצור הרמוניזציה בין נתוני לאנדסאט-5 לנתוני לאנדסאט-8 באמצעות כיול בין הנתונים שהתקבלו. צורך זה נובע מסיבה אחת ידועה היטב – הקונפיגורציה הספקטראלית, כפי שמפורט בהמשך, אך מכיוון שייתכן שישנן שונות בין הנתונים שמכורן פחות ידוע, על הכיול להתבצע על בסיס אמפירי ולא תיאורטי.

כפי שניתן לראות באיור 4, על אף שערוצי לאנדסאט-5 מכילים באופן מלא את ערוצי לאנדסאט-8, הן רוחב הערוץ והן מרכז הערוץ אינם זהים. הדבר בולט בשני הערוצים המשמשים לחישוב NDVI – הערוץ האדום והערוץ האינפרה אדום הקרוב (NIR). מצב זה בהכרח ייצור שונות בערכי ה NDVI שיתקבלו, גם אם היה מדובר במדידת מעבדה.

מעבר לכך, איכות החישובים ואיכות פעולות הכיול של נאסא עברו פיתוח משמעותי במהלך השנים ועל אף שקשה לכמת באופן מלא ומדויק את כלל ההשפעה של שינויים אלה על הערכים המתקבלים בסופו של דבר בחישוב, ניתן להניח בסבירות גבוהה מאוד שנתוני לאנדסאט-8 מדויקים יותר מנתוני לאנדסאט-5.



איור 4: השוואה בין ערוצי לאנדסאט-5 ולאנדסאט-8 (KC, Wagle, and Acharya 2021). ניתן לראות כי מרכזי הערוצים ורוחב הערוצים שונה בין שני הלוויינים.

בנוסף, חשוב להדגיש שאיכות נתוני לאנדסאט-5 הלכה והשתפרה עם השנים, מלבד שנים מסוימות שנמצאו כבעלות אחוז שונות גבוה בפרמטרים מסוימים שהוביל לתוצאות לא מדויקות³, כדוגמת 1995, אשר בניתוח זה הוצאה מחוץ לנתונים בשל כך.

³ Zhang and Roy, "Landsat 5 Thematic Mapper Reflectance and NDVI 27-Year Time Series Inconsistencies Due to Satellite Orbit Change."

הכיוול הבין-חיישני התבצע על סמך בדיקות אמפיריות שנעשו בזמני ואזורי חפיפה בין מעברים של לאנדסאט-5 ולאנדסאט-7 ואז בין לאנדסאט-7 ולאנדסאט-8.

על פי Vogelmann וחוב⁴ ההבדלים ב NDVI מחושב בין לאנדסאט-5 ו 7 הם זניחים ומתבטאים בעיקר בערכי קצה ($R^2=0.95$). הבדיקה שלהם נעשתה על נתונים מאזורים משותפים בשנת 1999.

על מנת לכייל בין נתוני לאנדסאט-5 ו-8 נעשה שימוש בקוד Google Earth Engine כפי שמופיע בבלוג ("Landsat n.d "ETM+ to OLI Harmonization | Google Earth Engine"), בו הכותב המיר לקוד את התוצאות שמצאו⁵ על ההבדלים בין שני החיישנים.

אפשרות אחרת, במידה ולא משתמשים בקוד זה ומעוניינים רק ב NDVI ולא בכיוול הערוצים הבודדים, היא להשתמש במשוואות הרגרסיה ל NDVI בפני השטח שכתובות בתוצאות המאמר לעיל:

$$OLI = 0.0149 + 1.0035 * ETM$$

$$OLI = 0.0235 + 0.9723 * ETM +$$

$$ETM = 0.0029 + 0.9589 * OLI$$

משוואה SEQ משוואה: 1: ARABIC * כיול NDVI בפני השטח בין החיישנים השונים: ETM. לאנדסאט=ETM+, 5-לאנדסאט, 7- OLI לאנדסאט-8

3.4 כלים להוצאת מידע מספרי ממספר ראסטרים יחד

בכל תוכנת GIS קיימים כלים לניתוח סטטיסטי מרחבי של ראסטר, אולם לרוב הם מוגבלים לניתוח של ראסטר בודד. במקרה הנוכחי ייצרנו כ-35 ראסטרים, על כן, לצורך הניתוח יצרנו ראסטר יחיד רב ערוצי, בו כל "ערוץ" הוא למעשה שנה. לצורך החיתוכים הסטטיסטיים יש לפלח את הראסטר הרב-ערוצי וניתן לעשות זאת במספר כלים:

המפות משמשות לחיתוכים סטטיסטיים אותם ניתן לעשות במספר דרכים:

1. ישירות דרך Google Earth Engine לטבלה או לגרף לפי אזורי עניין (במקרה זה לא צריך להוריד את הראסטרים ולבנות ראסטר רב-ערוצי).
2. דרך תוכנת ENVI לאחר בנייה של קובץ רב ערוצי.
3. דרך תוכנת QGIS לאחר בנייה של קובץ רב ערוצי: יש להתקין תוסף (plug-in) שנקרא Zonal Statistics (multiband).
4. ייתכן שניתן גם דרך ARCGIS או R, אך זה לא נעשה בדו"ח זה.

4 תוצר גולמי

התוצר הגולמי הוא סדרת מפות ראסטריות, אשר כל מפה מייצגת את זמן סוף הקיץ של שנה אחת. לצורך תצוגה ארצית יש להשתמש במפות שעברו סטנדרטיזציה לערכי סף בהתאם לכמות המשקעים, כפי שמתואר כאן, בעוד

⁴ Vogelmann et al., "Effects of Landsat 5 Thematic Mapper and Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus Radiometric and Geometric Calibrations and Corrections on Landscape Characterization."

⁵ Roy et al., "Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 Reflective Wavelength and Normalized Difference Vegetation Index Continuity."

שאם רוצים להתמקד באזור קטן ניתן להשתמש במפות NDVI גולמי. התוצר של הוצאת המידע המספרי הוא קובץ CSV או EXCEL אשר מועבר להמשך ניתוח נתונים.

5 ניתוח נתונים

עיבוד הנתונים וניתוחם בוצע בסביבת R.

בחינת מגמת שינוי בכיסוי צומח לאורך זמן

על מנת לבחון האם ישנה מגמה שינוי ב-NDVI (המעיד על כיסוי צומח) לאורך זמן נבחנו מספר מודלים ליניאריים פשוטים בהם המשתנה המוסבר היה NDVI והמשתנה המסביר היה השנה:

$$NDVI \sim year$$

1. כלל הנתונים, ללא הפרדה ליחידות שונות.
2. נתוני NDVI לאורך כל השנים 1985-2020, לכל יחידה. לכל יחידה חושב מודל נפרד.
3. נתוני NDVI לאורך השנים 1985-2002 (שנים מוקדמות) ובין השנים 2003-2020 (שנים מאוחרות), לכל יחידה. לכל יחידה וכל תקופה (שנים מוקדמות/מאוחרות) חושב מודל נפרד.

בחינת הקשר (מתאם) בין כיסוי צומח לבין משקעים

הקשר בין NDVI לבין משקעים נבחן באמצעות מתאם ספירמן (Spearman's rank correlation) דו-צדדי עם רווח בר-סמך של 0.95.

קוד R למודלים:

https://github.com/Hamaarag/DMT_2021/blob/main/Vegetation_Coverage/R/models.R

קודים וגרפים בריפוזיטורי בגיטהאב:

https://github.com/Hamaarag/DMT_2021/tree/main/Vegetation_Coverage

- Drori, Ron, Harel Dan, Michael Sprintsin, and Efrat Sheffer. "Precipitation-Sensitive Dynamic Threshold: A New and Simple Method to Detect and Monitor Forest and Woody Vegetation Cover in Sub-Humid to Arid Areas." *Remote Sensing* 12, no. 8 (2020): 1231.
- Kamel, D., A. B. Munoz, S. Ramon, and A. Huete. "MODIS Vegetation Index User's Guide." *Vegetation Index and Phenology Lab of The University of Arizona, The University of Arizona: Tucson, AZ, USA*, 2015.
- Roy, David P., V. Kovalskyy, H. K. Zhang, Eric F. Vermote, L. Yan, S. S. Kumar, and A. Egorov. "Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 Reflective Wavelength and Normalized Difference Vegetation Index Continuity." *Remote Sensing of Environment* 185 (2016): 57–70.
- Team, R. Core. "R: A Language and Environment for Statistical Computing," 2013.
- Vogelmann, James E., Dennis Helder, Ron Morfitt, Michael J. Choate, James W. Merchant, and Henry Bulley. "Effects of Landsat 5 Thematic Mapper and Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus Radiometric and Geometric Calibrations and Corrections on Landscape Characterization." *Remote Sensing of Environment* 78, no. 1–2 (2001): 55–70.
- Zhang, H. K., and David P. Roy. "Landsat 5 Thematic Mapper Reflectance and NDVI 27-Year Time Series Inconsistencies Due to Satellite Orbit Change." *Remote Sensing of Environment* 186 (2016): 217–33.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

פרק ג – שרפות – נספח טכני

עידו ליבנה ido.livne@hamaarag.org.il

1 רקע

מיפוי שריפות לצורך הפקת דו"ח זה התבסס על זיהוי של שטח שרוף באמצעות צילומי לוויין ברזולוציה בינונית, כפי שיפורט בהמשך. במהלך העבודה על הנתונים נבחנה האפשרות להשתמש בתוצרי הלוויין [MODIS](#) לצורך ביצוע המיפוי: למודיס יש תוצר שנקרא Burned area ואשר נותן מידע על אזורים שרופים לפי זיהוי אופטי של השטח השרוף בצירוף זיהוי תרמי של שריפה. אולם לאחר בחינה של תוצר זה אל מול אבחנות מהתבוננות בהדמאות לוויין ברזולוציה גבוהה, נמצא שהתוצר אינו אמין גם כאשר מדובר בשריפות גדולות ולא נמצא מתאם גבוה בין הזיהוי הויזואלי לבין הזיהוי האוטומטי של MODIS. על כן הוחלט לא להשתמש בתוצר זה.

המיפוי שנעשה בו שימוש הוא עבודה של גב' עדנה גוק מרט"ג, אשר עורכת מיפוי זה כחלק מעבודת הדוקטורט שלה.

2 מקורות נתונים ומידע

2.1 חישה מרחוק

1. הדמאות LANDSAT 8 מהשנים 2015-2019, רזולוציה מרחבית: 30 מטר, הדמאה אחת כל 16 יום.
2. הדמאות SENTINEL 2 מהשנים 2018-2021, רזולוציה מרחבית: 10 מטר, הדמאה כל 14 יום או כל 5 ימים במידת הצורך (מצב בו יש אירועי שריפות מוכרים ומדווחים על ידי רשות הכבאות/רט"ג/קק"ל).

2.2 ממ"ג

לצורך הפקת המפות נעשה שימוש בשלוש שכבות ממ"ג:

1. שכבת גבולות ישראל - המרכז למיפוי ישראל.
2. נתונים מדיווחים של פקחי שטח – רט"ג.
3. נתונים מדיווחים של פקחי שטח – קק"ל (שטחי קק"ל בלבד).

3 שיטות

3.1 הפקת חומרי הגלם

הנתונים הראסטריים הופקו משכבה מתוקנת אטמוספירית של לאנדסאט 8 וסנטינל 2 באמצעות Google Earth Engine.

3.2 זיהוי אזורים חשודים כשרופים

השלב הראשון במיפוי הוא זיהוי אזורים החשודים כשרופים, כאשר לצורך כך מופעל על ההדמאות מדד NBR (Normalized Burn Ratio) (Lutes et al. (2006), עם סף זיהוי נמוך על מנת לכלול את כל האזורים האפשריים להימצאות שטח שרוף. הסף הושאר נמוך על מנת לא להשמיט אזורים שנשרפו בפועל אך לא התקבלו באלגוריתם (False negative). ההדמאות נבדקו בהפרש של 14 יום במידת האפשר (לאנדסאט כל 16 יום) וכאשר היו אירועי שריפות ידועים הבדיקה התרחשה בפערי הזמן המינימליים האפשריים (סנטינל – כל 5 ימים)

3.3 מיפוי השטח השרוף

לאחר שנפו כל האזורים אשר אינם חשודים כשרופים, התבצעה בדיקה ויזואלית השוואתית בין שתי הדמאות משני פרקי זמן (16 יום או פחות). הבדיקה התבצעה כאשר ההדמאה מוצגת בקונפיגורציית ערוצים של אניפרה-אדום, אדום, ירוק (CIR) על מנת להדגיש את הניגודיות בין צמחייה לבין שטח שרוף. הבדיקה הוויזואלית אומתה באמצעות מידע שנאסף מהשטח על ידי פקחי רט"ג וקק"ל. לאחר זיהוי אזור שרוף הוא מופה באמצעות דיגיטציה ידנית ונשמר כשכבה וקטורית עם נתוני תאריך הצילום.

4 מקורות

Lutes, Duncan C., Robert E. Keane, John F. Caratti, Carl H. Key, Nathan C. Benson, Steve Sutherland, and Larry J. Gangi. 2006. "FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System." Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 1 CD. 164.

- פרק ד – רמות ההגנה על השטחים הטבעיים והמיוערים – נספח טכני

- רקע

כל הנתונים בפרק מבוססים על חיתוכים בין שכבות שונות (ראה פירוט).

- מקורות נתונים ומידע

קטגוריה	ספק הנתונים	תאריך העדכון האחרון	מאפייני השכבה
שטח טבעי ומיוער	המארג	9/2020	על בסיס מפת התכנית שהופיעה בדו"ח מצב הטבע 2022
שמורות טבע וגנים לאומיים	רשות הטבע והגנים	ספטמבר 2021	שכבה וקטורית ובה מוגדרת הרמה הסטטוטורית של השטח – בתכנון/מופקד/מאושר/מוכרז
יערות קק"ל	קרן קיימת לישראל	יוני 2021	שכבה וקטורית ובה מוגדרת הרמה הסטטוטורית של השטח
חקלאות	משרד החקלאות	יוני 2021	נתונים שעודכנו ב- 2021 אך בפועל הוסיפו מידע לגבי 2020 (מיפוי באיחור)
שטחי אש	מפ"י	ינואר 2022	
תמ"א 1			

רמת הגנה גבוהות:

- שכבת שמורות וגנים בתוכניות מפורטות נבחרו רק שמורות בסטטוס מוכרז או מאושר.
- שטחי יער הכלולים בתמ"א 1 ושטחי יער בתוכניות מפורטות שאושרו בוועדות התכנון – לבקש מיוסי שחר (או בעל תפקיד מקביל בקק"ל) להפיק שכבה כזאת. כמו כן שכבת [שמורות יער](#).

רמת הגנה בינונית:

- שכבת שמורות וגנים בתוכניות מפורטות נבחרו רק שמורות בסטטוס מופקד והחלטה להפקדה.
- שטחי יער קק"ל שמחוץ לתמ"א 1 שהחלו לגביהם הליכי תכנון (שטח שהופקד לדין בוועדות התכנון) – לבקש מיוסי שחר (או בעל תפקיד מקביל בקק"ל) להפיק שכבה כזאת.

שטחים חסרי הגנה: כל שאר השטחים הפתוחים שלא הופקדו לדין בוועדות התכנון. כולל שטחים שהחלו לערוך לגביהם תכנון מפורט אך טרם הופקדו ושטחים שרט"ג מציעה שימשו כשמורות או גנים לאומיים או שטחים שקק"ל מציעה שימשו כיערות וטרם החלו לגביהם הליכי תכנון. נכללו גם שטחי שמורות יער מחוץ לתמ"א 1 ולתוכניות המפורטות של קק"ל.

מבירור של מיכל לגבי שטחי יער בתוכניות מפורטות שאושרו בוועדות התכנון: שכבת ייעודי קרקע של קק"ל, פילטר לפי (a) סטטוס 7 שמשמעותו (תוכנית מאושרת) ולפי (b) שדה הייעוד, כאשר סוננו הערכים ברשימה הזאת:

קוד הייעוד	שם הייעוד
112	דרך יער ראשית, ישן
710	יער
711	יער נטע אדם
712	יער טבעי
713	יער פארק
820	דרך קיימת / מאושרת
940	דרך נוף
1721	חניון לילה
5663	יער נטע אדם מוצע
5664	יער נטע אדם קיים
5665	יער טבעי לטיפול
5666	יער פארק מוצע
5667	יער פארק חופי
5669	יער טבעי לשימור
5670	יער פארק קיים
6212	יער טבעי לטיפול על פי תוכנית
9975	אזור לשימור קרקע, מים, חי וצומח משולב בחקלאות, ישן
62121	יער טבעי לשימור על פי תוכנית
62411	יער נטע אדם קיים על פי תוכנית
62421	יער נטע אדם מוצע על פי תמ"א 22 לשיקום מחצבה או מטמנה
62422	יער נטע אדם מוצע על פי תוכנית
62511	יער פארק קיים על פי תוכנית
62521	יער פארק מוצע על פי תמ"א 22 לשיקום מחצבה או מטמנה
62522	יער פארק מוצע על פי תוכנית

1. פרק ה – רציפות וקיטוע בשטחים הפתוחים – נספח טכני

אור קומאי - orr.comay@hamaarag.org.il

רון חן - ron.chen@hamaarag.org.il

רציפות

2. רקע

כימות רציפות השטחים הפתוחים לפי "מדד הרציפות" שפותח במכון דש"א (דמותה של ארץ) ועמיתים נוספים¹. מדד זה מכמת את המרחק של השטחים הפתוחים מגורמי הפרעה וקיטוע אנושיים – יישובים, כבישים, מסילות ברזל, בסיסי צבא, אזורי תעשייה וכו'. המדד נותן משקל שונה לגורמי ההפרעה לפי עוצמת הפעילות שבהם וחומרת הקיטוע המיוחסת להם. ליישובים עירוניים ולכבישים מהירים, למשל, ניתן משקל הפרעה גבוה יותר מאשר ליישובים כפריים ולכבישים צדדיים. לכל תא שטח פתוח מחושב ערך המשקל את המרחק הגיאוגרפי מההפרעות בסביבתו עם משקלן היחסי (פירוט נוסף על אופן החישוב מופיע בנספח הטכני). האלגוריתם משתמש בנתוני בנט"ל (בנק נתונים טופוגרפי לאומי – בסיס נתוני תבליט ותכנית של המרכז למיפוי ישראל).

3. מקורות נתונים ומידע

מקור המידע העיקרי הוא הבנט"ל, מוצר של המרכז למיפוי ישראל (מפ"י). הבנט"ל כולל שכבות של בניינים (אזרחיים), כבישים ומסילות ברזל. מקור מידע נוסף הוא שכבת הרשויות המקומיות (עיריות, מועצות מקומיות ומועצות עיריות) של הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (למ"ס), כולל את מספר התושבים לפי אומדן גודל האוכלוסייה לשנת 2018. שכבת הבסיסים הצבאיים והמתקנים הביטחוניים נוצרה ע"י מכון דש"א באמצעות פענוח תצלומי לוויין בשנת 2010 ולא עודכנה מאז.

4. הסבר טכני

שלבי ייצור שכבת הרציפות

1. סיווג הרשויות המקומיות לפי מספר תושביהן: מעל 20,000 – עיר; 10,000 עד 20,000 – פרבר גדול; 2,000 עד 10,000 – פרבר בינוני; פחות מ-2,000 – ישוב כפרי. מספר התושבים נקבע לפי הלמ"ס.
2. גרעת בניינים חקלאיים, זמניים או הרוסים משכבת הבניינים של הבנט"ל, באמצעות השדה FTYPE. קוד :SQL
FTYPE <> 15 And FTYPE <> 16 And FTYPE <> 17 And FTYPE <> 28 And FTYPE <> 32
3. חיתוך שטחי הגדה המערבית ורצועת עזה משכבת הבניינים.

4. נגרע מהשכבה כל בניין שלא מופיע גם בשכבת הבנט"ל העדכנית ביותר (למשל, כאשר מנתחים עבור שנת 2015, נגרע ממנה בניינים שלא מופיעים בבנט"ל 2020). מטרתה של פעולה זו היא לעדכן את המפות הישנות יותר במיפוי חדש ומדויק יותר. כך, במפות חדשות שכבת הבינוי מדויקת יותר, ועל כן משתמשים בה כדי לגרוע מצולעים שהופיעו כשטח בנוי במפות ישנות יותר. פעולה זו מושתתת על ההנחה ששטח המוגדר כבנוי במפה אינו חוזר להיות שטח טבעי (ואף לא שטח חקלאי), ועל כן, אם שטח מסוים הוגדר כבנוי בשנה X ושוב כטבעי בשנה $X+5$, הרי שההגדרה בשנה X היא שגויה ויש לתקנה. מדי 10 שנים יש לבצע תיקוף מדגמי של שטחים ש"הוחזרו" להיות טבעיים על ידי פעולה זו ולוודא באמצעות תצלומי לוויין שהם אכן היו טבעיים לאורך כל רצף השנים הנדון.
5. גריעת כל הבניינים שחופפים בשטחם לשכבת ההפרעות המצולעות שנוצרה ע"י מכון דש"א בשנת 2010. שכבה זו כוללת משקלי הפרעות.
6. מיזוג שכבת הבניינים עם שכבת ההפרעות שנוצרה ע"י מכון דש"א. התוצר הוא שכבה הכוללת ישויות עם משקלי הפרעות (כפי שניתנו ע"י מכון דש"א בעת יצירת השכבה המקורית) וישויות ללא משקלי הפרעות (בניינים שנוספו מאז 2010).
7. שיוך משקל הפרעה לכל ישות חסרת משקל, לפי סיווג הרשות המקומית בה היא נמצאת: עיר – 100; פרבר גדול – 75; פרבר בינוני – 50; ישוב כפרי – 25. נשים לב שהמשמעות היא שאפילו מבנים תעשייתיים עשויים לקבל משקל הפרעה נמוך אם הם נמצאים בישוב כפרי (למשל, אזורי תעשייה של מועצות אזוריות) בעוד שאפילו מבנים צמודי קרקע ומוקפים בגינות גדולות עשויים לקבל משקל הפרעה גבוה אם הם נמצאים בעיר (למשל, שכונת וילות בבאר שבע או כל עיר גדולה אחרת).
8. יצירת שכבת חיץ (buffer) בת 50 מ' בין בניינים, ומיזוג הישויות להן משקל זהה. המטרה היא ליצור שטחים בנויים רצופים במקום בניינים בודדים. ללא שלב זה, שכונות חדשות (בהן כל בניין מופיע לחוד בבנט"ל) לא יזוהו כשטחים בנויים בעת המעבר לשכבה שריגית (סעיף י') שבה אורך צלע התא הוא 100 מ', כי אין כמעט אף תא כזה שמכוסה ברובו בבניין (בערים יש שטחים לא מבוטלים של כבישים, מדרכות, חניות, גינות ציבוריות וכו').
9. גריעת שכבת חיץ בת (מינוס) 50 מ' בין הישויות שנוצרו בסעיף ח'. המטרה היא לא להפריז בהיקף השטח הבנוי.
10. המרת שכבת ההפרעות המצולעות לשכבה שריגית (raster) בה גודל כל תא 100 מ' על 100 מ'. האלגוריתם קובע את משקל ההפרעה בכל תא לפי משקלן של הישויות המכסות את רוב שטחו. למשל, אם בתא מסוים יש ישויות בעלות משקל הפרעה 50 (שטחים בנויים בפרבר בינוני) המכסות 30% משטחו וישויות נוספות בעלות משקל הפרעה 100 (שטחים בנויים בעיר) המכסות 50% משטחו, משקל התא ייקבע כ-100.
11. שיוך משקל הפרעה לכבישים הסלולים ולמסילות הברזל מבנט"ל לפי תפקוד הכביש ותצורת מסילת הברזל. אלו הן שכבות ההפרעות הקוויות. משקל ההפרעה תלוי בסוג הדרך ובתצורת הכביש (תצורה רגילה = כביש על הקרקע, גשר, גשרון, גשר אירי, מנהרה או מקורה), לפי השדות FUNC ו-ROAD_FORM בבנט"ל, בהתאמה. גשרים קיבלו משקל הפרעה של 10 ומנהרות קיבלו משקל הפרעה של 0 (כלומר, לא נחשבו

- כהפרעות כלל), ללא תלות בסוג הדרך. סוגי הדרכים ומשקליהם הם: כבישי אגרה = 100, דרך מהירה = 100, ארצית = 75, אזורית = 25, מקומית = 10, עורקית = 10, רחוב מאסף = 10 ורחוב מקומי = 10.
12. המרת שכבות ההפרעות הקוויות לשכבות שריגיות בהן גודל כל תא 100 מ' על 100 מ'.
13. מיזוג שכבות ההפרעות השריגיות לשכבת הפרעות אחת.
14. הרצת מודל הרציפות של דש"א על שכבת ההפרעות המאוחדת. המודל מחשב את המרחק הגיאוגרפי בין כל תא לא מופר (שטחים פתוחים, כולל חקלאיים) לבין תאים מופרים (בנויים, סלולים, או בתוך מתקנים בטחוניים). לאחר מכן, מוגדר מרחק משוקלל מכל משקל הפרעה (למשל, 100 עבור ערים, 75 עבור פרברים גדולים וכו') כמרחק הגיאוגרפי כפול 100 חלקי משקל ההפרעה. לבסוף, כל תא מקבל את המרחק המשוקלל הנמוך ביותר מכל משקלי ההפרעה. למשל, אם המרחק המשוקלל של תא כלשהו מהפרעות במשקל 100 הוא 200 מ' משוקלל, אבל מרחקו מהפרעות במשקל 75 הוא 150 מ' משוקלל, ערכו ייקבע כ-150 מ' משוקלל.

הקוד בו נערך שימוש בפרק זה מצורף למסמך זה בנפרד.

קיטוע

1. רקע

ישנם מדדים רבים הבודקים את השפעת החלוקה של תא שטח גדול לכתמים נפרדים – הן מבחינת הרכב הנוף (אופן פיזור הכתמים) הן ברמת הכתמים מבחינת יכולת התפקוד של כל כתם בנפרד להוות מערכת אקולוגית ברת קיימא.

מדדי הקיטוע שנבחרו בדו"ח מצב הטבע 2022:

5. צפיפות הכתמים – ככל שהשטח הטבעי מקוטע יותר, מספר הכתמים ליחידת שטח גדל.
6. צפיפות השוליים של הכתמים – הצפיפות מחושבת לפי היחס בין היקף הכתמים לשטחם. הערך יעלה ככל שהשטח הטבעי מחולק לכתמים רבים יותר, וככל שלכתמים יש צורה מוארכת ושוליים מפורצים יותר. ככל שיחס זה גבוה יותר, השטח הטבעי חשוף יותר להשפעות שוליים.
7. מספר הכתמים המינימלי המהווה לפחות 70% מהשטח הטבעי ביחידת הניטור – מדד זה מאפשר להעריך את מידת הכתמיות של השטח הטבעי ביחידה תוך צמצום ההשפעה של כתמים קטנים, הנוצרים לעיתים עקב פערי מיפוי. ככל שמדד זה נמוך יותר ושטח היחידה גדול דיו, הדבר מעיד על קיומו של שטח טבעי משמעותי רציף ביחידה.
8. חלקו של הכתם הגדול ביותר מהשטח הטבעי/מיוער ביחידה – חלק זה מאפשר להעריך את מידת הכתמיות ביחידה בדומה למדד מס' 3. מדד זה משמש כלי לצורכי שמירת טבע לשם זיהוי כתמים שהשמירה עליהם חשובה במיוחד.
9. שטח הליבה הכולל ביחידה ושינויים בו לאורך זמן – שטח ליבה הוגדר כשטח הרחוק לפחות 100 מטר משולי הכתם. כך, ככל ששטח טבעי מתפרס על פני מספר קטן יותר של כתמים ואורך השוליים שלו קצר יותר, שטחי הליבה שהוא מכיל יהיו גדולים יותר. מתוך מגוון המדדים שנבחנו במארג, מדד זה הוכיח את עצמו כמדד יציב יחסית וחסין מתנודות שעשויות להיגרם מחוסר עקביות במיפוי, ולכן נבחר כדי לבחון את השינויים בקיטוע בין השנים 2015–2020.

2. מקורות נתונים ומידע

נתוני המקור הם שכבות ראסטר שיוצרו מתוך מפת התכסית של המארג מהשנים 2015, 2017 ו-2020.

3. הסבר טכני

החישוב בוצע באמצעות חבילת landscapemetrics בתוכנת RStudio

(RStudio Team, 2019; R Core Team, 2022) בסביבת עבודה R (Hesselbarth et al., 2019).

נתוני המקור הם שכבות ראסטר (שריג) שיוצרו מתוך מפת התכסית של המארג מהשנים 2015, 2017 ו-2020. כל שכבה נגזרה לפי יחידה אקולוגית מסוימת (סך של 9 יחידות כפי שמתואר, לדוגמה, באיור 2 בפרק ה' העוסק ברציפות בדו"ח), ובה הופיעו השטחים הטבעיים והמיוערים עם ערך 1 והשטחים האחרים עם ערך 0. גודל פיקסל בראסטר זה הוא 25 מ' * 25 מ'. שכבות המקור אשר שימשו לחישוב שמורות במסד הנתונים של המארג תחת פרק התכסית (פרק א' בדו"ח מצב הטבע 2022).

הקוד המצורף מייצר טבלה המכילה מדדים רבים המתארים את הקיטוע ביחידות האקולוגיות השונות. המדדים בהם נעשה שימוש בדוח הם השדות הבאים בטבלה (ראה הסבר נפרד על המדדים בעמוד הבא):

1. צפיפות הכתמים (p_density_n_km) – 2patch density)
2. צפיפות השוליים של הכתמים (edge_density_km_km) - 2edge density)
3. מספר הכתמים המינימלי המהווה לפחות 70% מהשטח הטבעי ביחידת הניטור – p_contig_num
4. חלקו של הכתם הגדול ביותר מהשטח הטבעי / המיוער ביחידה (LPI = Largest Patch Index) – מדד זה לא ניתן כפלט סופי בטבלה המיוצרת על ידי הסקריפט, וחושב בנפרד בקובץ האקסל המצורף (תחת העמודה LPI בגליון 0.7_contig) על פי הנוסחה הבאה: $2p_area_max_km2 / unit_area_tot_km$
5. שטח הליבה הכולל ביחידה ושינויים בו לאורך זמן – מדד שטח הליבה הכולל הוא השדה 2p_core_tot_km. השינויים לאורך זמן חושבו כשינויים באחוזים בין נקודות זמן סמוכות, כאשר 2015 משמשת כשנת הייחוס. הגרף (איור 6 בעמ' 80 בדו"ח) מציג את השינוי המצטבר באחוזים. חישוב זה מופיע בקובץ האקסל המצורף, בגליון temporal graphs בתאים E:31A1 ובגליון perc_diff תחת עמודה R.

10. מקורות

- Levin N, Lahav H, Ramon U, Heller A, Nizry G, Tsoar A, Sagi Y. (2007). Landscape continuity analysis: A new approach to conservation planning in Israel. *Landscape and Urban Planning* 79: 53–64.
- Hesselbarth, M. H. K., Sciaini, M., With, K. A., Wiegand, K., & Nowosad, J. (2019). landscapemetrics: an open-source R tool to calculate landscape metrics. *Ecography*, 42, 1648–1657.
- R Core Team. (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*.
<https://www.R-project.org/>
- RStudio Team. (2019). *RStudio: Integrated Development Environment for R*.
<http://www.rstudio.com/>

1. פרק ו – זיהום אור – נספח טכני

עידו ליבנה ido.livne@hamaarag.org.il

1 רקע טכני

מפות זיהום אור הופקו במארג לראשונה עבור דו"ח זה.

תוצר זיהום האור עליו התבססו המפות זמין החל מאפריל 2012 ועד נובמבר 2020 ועל כן זהו טווח התאריכים הניתן במפות אלו. קיימים תוצרי זיהום אור מוקדמים יותר, החל משנות ה-90, ברזולוציה מרחבית גסה יותר, אולם הרזולוציה הרדיומטרית של תוצרים אלה גסה משמעותית משל התוצרים המאוחרים יותר ולא קיים בשבילם כיוול רדיומטרי. על כן הוחלט לא להשתמש בהם לדו"ח זה, ייתכן שיעשה בהם שימוש בדוחו"ת עתידיים בהתאם לצרכים וליכולות. בנוסף, קיים תוצר זיהום אור של חברת לוויינים פרטית ברזולוציה מרחבית גבוהה מאוד (פחות מ-1 מטר) ואנו בוחנים את הצורך והאפשרות לעשות בו שימוש בעתיד.

מבחינה מרחבית, המיפוי נעשה על שטחה היבשתי של ישראל, אזורים ימיים סמוכים, שטח יבשתי של המדינות הגובלות בישראל וחיתוכים לפי אזורי עניין.

2 מקורות נתונים ומידע

2.1 חישה מרחוק

מפות זיהום האור הופקו על בסיס תוצר של NOAA: VIIRS Nighttime Light (VNL). התוצר הוא ממוצע חודשי של קרינה נפלטת בשעות החושך בלילות בהירים. הנתונים מנוקים מקרינת שמיים ומכילים רדיומטרית לערכי NanoWatts/cm^2 בפני השטח.

גודל תא השטח הנמדד (גודל הפיקסל) הוא כ-742 מטר.

חיישן זה רגיש לקרינה באורכי גל של 500-900 ננומטר ויש לו ערוץ בודד בתחום זה (פנכרומטי). יש לכך מספר משמעותיות שיש לתת עליהן את הדעת כאשר מסתכלים על התוצרים:

1. פליטה של אור כחול לא תראה כלל בחיישן. במנורות מסוימות שיא הפליטה הוא של אור כחול, ייתכן שמנורות אלה ייראו כבעלות פליטה בעוצמה נמוכה או לא ייראו כלל בעוד שבפועל הן פולטות בעוצמה גבוהה. תיתכן גם פליטה בתחום על-סגול שלא תיקלט בחיישן.
2. פליטה של אור בתחום התת-אדום (גלים ארוכים מ-730 ננומטר) תיקלט בחיישן אך לא תיראה בעין של אדם.
3. מכיוון שהחיישן הוא פנכרומטי, לא ניתן לדעת באילו אורכי גל מתקיימת שיא הפליטה.

2.2 ממ"ג

לצורך הפקת המפות נעשה שימוש בשלוש שכבות ממ"ג:

1. שכבת גבולות ישראל.
2. שכבה מורחבת של ישראל הכוללת גם כמה עשרות קילומטרים לכיוון הים ולכיוון המדינות השכנות.
3. שכבה של שמורות טבע וגנים לאומיים מרט"ג, מעודכנת לינואר 2021.

חיתוכים נוספים נערכו על פני שכבות אלה כדי להציג אזורי עניין נבחרים.

2.3 ייעוץ מדעי וטכנולוגי

יועצים חיצוניים למארג בתחום זיהום אור:

1. פרופ' נעם לוין, מומחה לחישה מרחוק, עסק בנושא בעיקר מההיבט הטכני.
2. דר' נעם לידר, מנהל אגף אקולוגיה ברט"ג, עסק בנושא בעיקר מההיבט האקולוגי.

3 שיטות

3.1 הפקת חומרי הגלם

הנתונים הראסטריים הופקו משלושה מקורות:

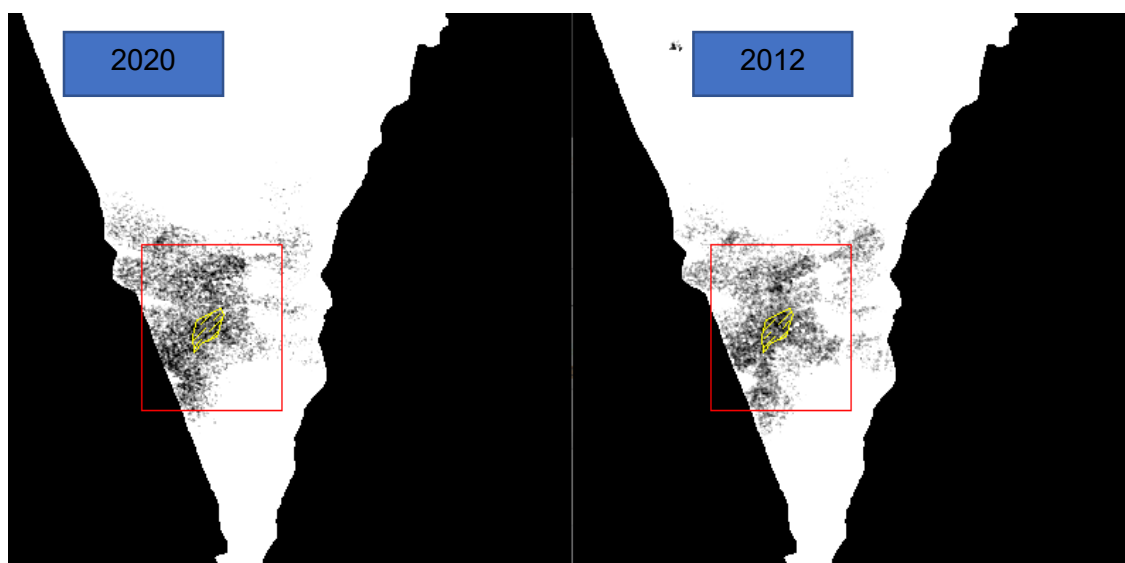
1. נתונים לצורך גרפים וטבלאות לפי שכבת פוליגונים מרט"ג הופקו באמצעות קוד בשפת JavaScript ב Google Earth Engine. ניתן גם להפיק מפות ראסטריות בדרך דומה.
2. המפות הראסטריות הופקו מהאתר https://eogdata.mines.edu/nighttime_light/annual/v20/ - אשר מאפשר הורדה של מפות זיהום אור עולמיות, שלאחר מכן נחתכו לפי שכבות הממ"ג הרלוונטיות לעבודה זו.
3. נתונים נקודתיים לפי בחירה מכוונת של אזור עניין הופקו מהאתר <https://lighttrends.lightpollutionmap.info>. אתר זה הוא בעל ממשק משתמש נוח לשימוש ומאפשר התבוננות מהירה על שינויים ותהליכים ללא צורך בהורדה, תוכנה ייעודית או כתיבת קוד.

3.2 כיול

בשנת 2017 נעשה שינוי באופן הכיול במקור של הנתונים שהתקבלו מהחיישן. כתוצאה מכיול זה היה שינוי בערכי המינימום שמייצגים אזור שהוא לחלוטין נטול אור: בעוד שעד 2016 המינימום היה קרוב ל $0 \text{ NW/cm}^2/\text{sr}$, החל מ 2017 המינימום נע סביב $0.2 \text{ NW/cm}^2/\text{sr}$. בבדיקה שערכו (Coesfeld et al, 2020) על מקומות שונים בעולם התגלה שהפער הממוצע בין הערכים במקומות חשוכים לפני ואחרי השינוי הוא כ $0.15 \text{ NW/cm}^2/\text{sr}$. מכיוון שזהו ערך ממוצע למקומות שונים בעולם ומכיוון שלעתים קיימים שינויים קלים נוספים במערכות החישה לאורך השנים, ערכנו בדיקה של ההבדלים באזור החשך ביותר בישראל בשנים 2012 ו 2020 (טבלה 1, איור 1) וגילינו פער דומה ($0.18 \text{ NW/cm}^2/\text{sr}$). לצורך הכיול בין השנים הוספנו $0.18 \text{ NW/cm}^2/\text{sr}$ לנתונים מ 2012. חשוב לציין שבאזורים מוארים הערכים נעים לרוב בין $2-300 \text{ NW/cm}^2/\text{sr}$ ובבדיקה העולמית שנערכה נמצא שבאזורים אלה הפער הוא זניח ולכן הוספה של ערך זה לכל האזורים מאפשרת לקבל מידע מדויק.

טבלה 1: השינוי בערכים של האזור החשך ביותר בישראל בין 2012 ו 2020

שנה	מינימום ($\text{NW/cm}^2/\text{sr}$)	מקסימום ($\text{NW/cm}^2/\text{sr}$)	ממוצע ($\text{NW/cm}^2/\text{sr}$)	סטיית תקן ($\text{NW/cm}^2/\text{sr}$)
2012	0.067	0.111	0.089	0.0085
2020	0.248	0.297	0.270	0.0093



איור 1: הפוליגון ששימש לכיול הערכים בין 2012 ו 2020

3.3 הפקת המפות והגרפים

המפות הופקו באמצעות ArcGIS Pro על פי סקאלת צבעים שמייצגת את השינוי בעוצמות התאורה והחלוקה בתוך הסקאלה היא על בסיס הערכים שנקבעו בדו"ח כערכי סף של רמות זיהום אור שונות. קבצי הסגנון שמורים בדרייב המארג (ראו סעיף 4). זהו הדו"ח הראשון בו מופיע תוצר זה ומפות אלה ישמשו כקו בסיס לתוצר דומה בדוחות הבאים. מפת הרקע למפות נבחרה ככזו אשר תאפשר התמצאות טובה, אך לא תכביד בפרטים לא רלוונטיים.

3.4 תוכנות

2. ENVI (חישה מרחוק)
3. Google Earth Engine (חישה מרחוק)
4. QGIS (ממ"ג)
5. ArcGIS (ממ"ג)
6. R (עבור יצירת הגרפים בדו"ח)

4 מקורות

Coesfeld, Jacqueline, Theres Kuester, Helga U. Kuechly, and Christopher C. M. Kyba. 2020. "Reducing Variability and Removing Natural Light from Nighttime Satellite Imagery: A Case Study Using the VIIRS DNB." *Sensors* 20 (11): 3287. <https://doi.org/10.3390/s20113287>.
https://eogdata.mines.edu/nighttime_light/annual/v20/
<https://lighttrends.lightpollutionmap.info>

5 נספח: סקריפט

סקריפט Google Earth Engine להפקת נתונים בטבלה:

```
// import data
var region = ee.FeatureCollection("users/livneido75/Parks_2021"),
VIIRS_light = ee.ImageCollection("NOAA/VIIRS/DNB/MONTHLY_V1/VCMSCFG")
.select('avg_rad');
var bandName = ee.Image(VIIRS_light.first()).bandNames().get(0);

var startDate = ee.Date('2012-04-01'); // set analysis start time
var endDate = ee.Date('2020-11-30'); // set analysis end time

// calculate the number of months to process
var nMonths = ee.Number(endDate.difference(startDate,'month')).round();

// get a list of time strings to pass into a dictionary later on
var monList = ee.List(ee.List.sequence(0,nMonths).map(function (n){
  return startDate.advance(n,'month').format('YYYYMMdd');
}));
print(monList)

var result = region.map(function(feature){
  // map over each month
  var timeSeries = ee.List.sequence(0,nMonths).map(function (n){
    // calculate the offset from startDate
    var ini = startDate.advance(n,'month');
    // advance just one month
    var end = ini.advance(1,'month');
    // filter and reduce
    var data = VIIRS_light.filterDate(ini,end).mean().reduceRegion({
      reducer: ee.Reducer.mean(),
      geometry: feature.geometry(),
      scale: 250
    });
    // get the value and check that it has data
    var val = ee.Number(data.get(bandName));
    val = ee.Number(ee.Algorithms.If(val,val,-999));
    // return zonal mean
    return val;
  });
  // create new dictionary with date strings and values
  var timeDict = ee.Dictionary.fromLists(monList,ee.List(timeSeries));
  // return feature with a timeseries property and results
  return feature.set(timeDict);
});

// print to see if it is doing what we expect...
print(result);

// Export the data to a table for further analysis
Export.table.toDrive({
  collection:result,
  description:"Parks_NightLights_Monthly_Apr2012-Nov2020_v4",
  fileFormat:"CSV",
  //selectors:["HRpcode","timeseries"]
})
```