

אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

המחלקה למערכות מידע

פרויקט גמר בקורס וייזואלייזציה של מידע

ניתוח מצב החנקן בגידולים חקלאיים באמצעות ספקטרוסקופיית אינפרא-אדום קרוב

Crop Nitrogen Status Analysis via NIR Spectroscopy

מנגיש : גיא מזרחי

ינואר 2026

תוכן העניינים

2	תוכן העניינים
3	1. תקציר
4	2. תיאור הנתונים
4	2.1 מקור הנתונים והרקע המחקרי
4	2.2 מאפייני הגידולים הנבדקים
4	2.3 אטרוי המחקר והפיזור הגיאוגרפי
4	2.4 פרוטוקול איסוף ועיבוד הדגימות
5	2.5 מבנה הנתונים ומיידיות
5	2.6 עיבוד מקדים וניקוי הנתונים
5	2.7 ניסוי NPK המבוקר
6	2.8 סיכום היקף הנתונים
7	3. סקירת ספרות ועובדות הקשורות
7	3.1 רקע תיאורטי
7	3.2 מחקרים יסודיים בתחום
7	3.3 קשר לפרויקט הנוכחי
7	3.4 ויזואלייזציות קיימות בתחום
9	4. ניתוח תיאורטי - מודל WWH
9	4.1 ויזואלייזציה 1 : סיפור איסוף הנתונים
9	4.2 ויזואלייזציה 2 : חקירת הספקטרום
9	4.3 ויזואלייזציה 3 : ניתוח ניסוי NPK
10	4.4 ויזואלייזציה 4 : ניתוח שונות העמilon
10	4.5 ויזואלייזציה 5 : סיווג מצב LNC
10	4.6 ויזואלייזציה 6 : ניתוח יחס N/ST
11	4.7 סיכום האינטראקטיביות
12	5. הסבר לבחירות העיצוב
12	5.1 ויזואלייזציה 1 - בחרית Timeline, התפלגות עונתית וmph
12	5.2 ויזואלייזציה 2 - בחרית גרפ קווי לספקטרום
12	5.3 ויזואלייזציה 3 - בחרית Scatter + Ridgeline
13	5.4 ויזואלייזציה 4 - בחרית Violin Plots
13	5.5 ויזואלייזציה 5 - בחרית רצועות צבעוניות דינמיות
13	5.6 ויזואלייזציה 6 - בחרית נרמול ויחס N/ST
14	6. צילומי מסך של הוויזואלייזציות
14	6.1 ויזואלייזציה 1 : סיפור איסוף הנתונים
15	6.2 ויזואלייזציה 2 : חקירת הספקטרום
16	6.3 ויזואלייזציה 3 : ניתוח ניסוי NPK
17	6.4 ויזואלייזציה 4 : ניתוח שונות העמilon
18	6.5 ויזואלייזציה 5 : סיווג מצב LNC
19	6.6 ויזואלייזציה 6 : ניתוח יחס N/ST
20	7. קוד המקור

1. תקציר

פרויקט זה מציג מערכת וייזואליזציות אינטראקטיביות לניטוח מצב החנקן והקשר לעמילן בגדולים חקלאיים, המבוססת על נתונים ספקטרליים שנאספו במסגרת מחקר לtower שני. הפרויקט משלב שישה ממשקי וייזואליזציה ייחודיים המאפשרים חקירה עמוקה של יחסי הגומלין בין תכונות החנקן בעלים (LNC), רמות העמילן (ST), ומאפיינים ספקטרליים ארבעה סוגים גידולים : הדרים, שקדים, אבוקדו וגפן.

מערך הנתונים כולל כ-5,500 דגימות שנאספו מרבע תחנות מחקר בישראל בשנים 2021-2024, ומכיל למעלה מ-1,560 ממדים לכל דגימה. הויזואליזציות פותחו תוך יישום מודל (What-Why-How) (WWH) ומספקות תובנות חדשות לגבי הדינמיקה העונתית של חנקן ועמילן בצמחים.

התובנה המרכזית של הפרויקט היא שיחס $\frac{N}{ST}$ (חנקן לעמילן) מהוות מدد עיל ותר לקביעת עיתוי דישון אופטימלי בהשוואה לערך LNC בלבד, מצוי בעל השכלות משמעותיות לחקלאות מדיקת.

2. תיאור הנתונים

2.1 מקור הנתונים והרקע המחקרי

הנתונים נאספו במסגרת מחקר ל佗ר שני העוסק בפיתוח שיטות לזיהוי מצב החנקן והעמילון בצמחים באמצעות ספקטросקופיית אינפרא-אדום קרוב (NIR - Near-Infrared Spectroscopy). המבחן בוצע בשיטות פולו-ומטרים עם מכון וולקני - מינהל המחקר החקלאי.

הנתונים נאספו במסגרת פרויקט מחקרי רחב היקף שמטרתו לפתח כלים לחקלאות מדייקת (Precision Agriculture), המאפשרים אבחון מהיר של מצב התזונה בצמחים. גישה זו מבוססת על העיקרון שהרכיב הכימי של העלה משפיע על ספקטורום ההחזרה האופטי שלו, ולכן ניתן להשתמש במידות ספקטרליות לחיזוי ריכוזי יסודות תזונתיים.

2.2 מאפייני הגידולים הנבדקים

המחקר התמקד באربعة סוגים גידולים מרכזיים בחקלאות הישראלית :

הערות	מאפיינים	גידול
הzn המרכזי בניסוי NPK המבוקר	עצי פרי הדר, ירקה עד	הדרים (Citrus)
zn נשיר עם דינמיקה עונתית מובהקת	עצי פרי קליפתי	שקדים (Almond)
zn טרופי רגיש לתנאי סביבה	עצי פרי טרופיים	אבוקדו (Avocado)
zn נשיר ומטפס	גפנים לענבי יין	גפן (Vine)

2.3 אתרים מחקר והפיזור הגיאוגרפי

הדגימות נאספו מארבע תחנות מחקר המייצגות מגוון תנאים אקלימיים בישראל :

מקום	אוכלם	ייחודה מחקרי
גילת	צחיח למחצה	תנהה מרכזית - ניסוי NPK המבוקר
קדמה	ים-תיכוני	אזור חקלאי מרכזי
כברי	ים-תיכוני לח	יצוג תנאים צפוניים
כפר מנחם	ים-תיכוני	אזור מישור החוף

2.4 פרוטוקול איסוף ועיבוד הדגימות

תהליך איסוף הנתונים בוצע על פי פרוטוקול מחקרי מוגדר הכלול את השלבים הבאים :

שלב 1 - דגימת עלים: עלים נאספו מעציים מייצגים בכל תחנת מחקר, תוך הקפדה על בחירת עלים בשלב התפתחותי אחיד ומיקום שונה בחופה.

שלב 2 - ייבוש: העלים יובשו בתנורים בטמפרטורה מבוקרת של C° 60-70 עד להשתת משקל יציב, למניעת פירוק ביוכימי של החומרים הנמדדים.

שלב 3 - טחינה והכנה: העלים היבשים נטחנו לאבקה הומוגנית והוכנסו ל מבחנות יעודיות למדידה במכשיר הספקטросקופי.

שלב 4 - מדידה ספקטרלית: המדידות בוצעו באמצעות מכשיר Element העושה שימוש בFT-NIR (Fourier Transform Near-Infrared) המודד ספקטרום החזרה בטווח אינפרא-אדום קרוב ובינוני.

שלב 5 - ניתוח כימי: במקביל למדידות הספקטרליות בוצע ניתוח כימי מעבדתי לקביעת ערכי ייחוס מדויקים של ST, SC ו-N.

2.5 מבנה הנתונים וממדיות

נתונים ספקטרליים: כל דגימה מכילה וקטור של 1,557 ערכי החזרה (reflectance) בטווח אורכי גל של 3,999-10,001 ננומטר, המכסה את אזור האינפרא-אדום הקרוב והבינוני (NIR/mid-IR). אזור ספקטרלי זה רגיש במיוחד לתנודות במולקולות אורגניות כגון חומימות, חלבונים ומים.

פרמטרים כימיים: לכל דגימה נמדדו שלושה ערכים כימיים מרכזיים :

פרמטר	משמעות ביולוגית	טווח ערכים טיפוסי
N_Value (LNC)	תכולת חנקן גבוהה - ממד מרכזי למצב תזונתי	2.0-4.0%
ST_Value (Starch)	תכולת עמילן - מאגר אנרגיה עיקרי בצמח	30-220 mg/g
SC_Value (Soluble Carbs)	פחימות מסוימות - סוכרים זמינים לתהיליכים מטבוליליים	משתנה

2.6 עיבוד מקדים וניקוי הנתונים

הנתונים עברו תהליך עיבוד מקדים (pre-processing) הכלול :

הסרת ערכים חריגים (Outliers): דגימות עם ערכים שליליים הוסרו מהניתוח.

איחוד מקורות נתונים: נתונים ממספר קבועים אוחדו לטבלה אחת עם סכמה איחוד.

תקינות מזהים: כל דגימה מזוהה באמצעות מזהה ייחודי (ID) הכלול : סוג גידול, תאריך דגימה, מיקום ומספר עץ (למשל 19_30309 – lea_Gil, תאריך 09/03/2022, עץ מס' 19).

2.7 ניסוי NPK המבוקר

מרכיב מרכזי במערך הנתונים הוא ניסוי מבוקר (Controlled Experiment) על 3 ערכים כימיים חנקן, זרחן ואשלגן, שבוצע בתקנת המחקר גילת על עצים הדרים. הנתונים אותם בוחנו עבור עבודה התזה מהניסוי הן חמש רמות דישון חנקן שונות :

טיפול	במota חנקו	סיווג	מספריעצים בניסוי
N10	kg N/ha 10	חוסר חמור	63 ,46 ,42 ,30 ,3
N40	kg N/ha 40	חוסר	67 ,49 ,44 ,19 ,5
N60	kg N/ha 60	אופטימלי	61 ,58 ,43 ,29 ,12
N100	kg N/ha 100	עודף	68 ,47 ,40 ,18 ,15
N150	kg N/ha 150	עודף מוגזם	74 ,57 ,35 ,24 ,13

2.8 סיכום התקף הנתונים

מערך הנתונים הסופי כולל :

סה"כ דגימות: כ-7,500 דגימות מאומתות

תקופת איסוף: 2021-2024 (ארבע שנים מחקר)

מידדיות: למעלה מ-1,560 מידהים לכל דגימה (1,557 ספקטרליים + 3 כימיים + מטא-דטה)

3. סקירת ספרות ועבודות הקשורות

3.1 רקע תיאורטי

השימוש בספקטросקופיה לאבחון מצב תזונתי בצמחים מבוסס על העיקרון הפיזיקלי שליפוי מולקולות אורגניות סופוגות אור באורך גל ספציפיים. באזור האינפרא-אדום הקרוב (nm 700-2500 nm) והבינווי-א-ר (mid-IR, 2500-25000 nm), הספקה נובעת בעיקר מתנודות מולקולריות של קשרים כגון H-O, C-H, ו-H-N, המאפיינים פחמיימות, מים וחלבונים.

3.2 מחקרים יסודיים בתחום

Paz-Kagan et al. (2020) 3.2.1

Assessing the nitrogen status of almond trees by visible-to-shortwave infrared reflectance "spectroscopy of carbohydrates

מחקר זה, שפורסם בכתב העת Computers and Electronics in Agriculture (כרך 178), הדגים כיצד ספקטוסקופיית VIS-SWIR יכולה לזהות את מצב החנקן בעצי שקדם. החוקרים מצאו קשר מובהק סטטיסטי בין ספקטロום ההחזרה לבין תכולת הפחמיות והחנקן בעליים. נמצא מרכזי היה שהיחס בין חנקן לפחמיות (N/C ratio) מספק אינדיקציה טובה יותר למצב התזונתי מאשר כל פרמטר בלבד.

קישור : <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105755>

Sperling et al. (2020) 3.2.2

Precise fertilization by a mass-balance of the seasonal changes in nutrient uptake by almond trees

מחקר זה, שפורסם בכתב העת Agronomy (כרך 10, גיליון 9), פיתח גישה לדישון מדויק המבוססת על מאzon מסה עונתית של יסודות תזונתיים. המחקר הדגש את החשיבות של התאמת עיתוי הדישון לשלב הפנולוגי של הצמח, וזאת תקופות קריטיות בהן הדרישה לחנקן מקסימלית.

קישור : <https://doi.org/10.3390/agronomy10091277>

3.3 הקשר לפרויקט הנוכחי

מחקרים אלו מהווים את הבסיס התיאורטי והמתודולוגי לפרויקט הנוכחי במספר היבטים :

שימוש נתונים ספקטוריים : אימוץ הגישה של שימוש בספקטרוום NIR כמקור מידע עיקרי לחיזוי ערכאים כימיים.

динамика уонтия : הבנה ש מצב החנקן והפחמיות משתנים לאורך השנה ויש להתחשב בכך בפרשנות הנתונים.

יחס ST/N : פיתוח הרעיון שהיחס בין חנקן לעמילן עשוי להיות מדויק יותר מכל פרמטר בלבד.

3.4 ויזואליזיות קיימות בתחום

בספרות המחקרית הקיימת, וייזואלייזציה : ניתוח נתונים ספקטרליים חקלאיים מוגבלות בדרך כלל לגרפים סטטיסטיים בסיסיים : גרפי קוויים להצגת ספקטרום, גרפי פיזור להצגת קורלציות, וגרפי עמודות להשואות בין טיפולים. הפרויקט הנוכחי מרחיב את הגישות הקיימות על ידי :

אינטרاكتיביות : מתחן אפשרות למשתמש לחקור את הנתונים באופן דינמי.

אינטגרציה מרחבית-זמןית : שילוב מפות גיאוגרפיות עם ציר זמן.

וייזואלייזציות מתקדמות : שימוש ב-Ridgeline plots וטכניקות עדכניות נוספות.

4. ניתוח תיאורטי - מודל WWH

מודל WWH מהויה מסגרת תיאורטית מקובלת לתכנון ויזואלייזציות. המודל מחייב הגדעה מדעית של שלושה רכיבים : מהם הנזונים, מהי מטרת הייזואלייזציה, וכייז מוצגים הנזונים. להלן ניתוח כל אחת משש היזואלייזציות בפרויקט על פי מודל זה.

4.1 ויזואלייזציה 1 : סיפור איסוף הנתונים

תיאור	רכיב
התפלגות דגימות לפי ציר זמן (שנה-חודש), עונה (Day of Year), ומיקום גיאוגרפי	What
חצגת ההיקף, מגוון ופיזור הנתונים שנאספו, מתן אפשרות להבנת הקשר המחקרי	Why
<ul style="list-style-type: none"> גרף עמודות מקובצות לציר הזמן גרף עמודות להתפלגות עונתית מפת ישראל אינטראקטיבית עם עיגולים בגודל יחסית 	How

קידודים ויזואליים : צבע מייצג סוג גידול (כתום=הדרים, חום=שකדים, ירוק=אבוקדו, ורוד=גפן), גודל עיגול מייצג מספר דגימות, מיקום מרחבי על המפה מייצג קוורדינטות גיאוגרפיות.

אינטרקטיביות : לחיצה על עיגול במפה מציגה חלון מידע (קסקופ) עם פירוט לפי סוג גידול, ו-Hover כולם שיווט של העכבר מעלה עמוד לא לחיצה, מציג שם מיקום ומספר דגימות כולל.

4.2 ויזואלייזציה 2 : חקירת הספקטרום

תיאור	רכיב
עקומות ספקטרליות (1,557 אורכי גל) עבור כל סוג גידול	What
לאפשר השוואת "החותמת הספקטרלית" (spectral signature) בין גידולים שונים	Why
גרף קווים עם לחץ למעבר בין תוצאות כל הדגימות לنتائج ממוצע ± סטיית תקן	How

קידודים ויזואליים : ציר X = אורך גל (nm), ציר Y = ערך ספקטרלי (absorbance), צבע קו = סוג גידול, שקיפות (בתצוגת דגימות) = מאפשרת לראות התפלגות וחפיפות.

4.3 ויזואלייזציה 3 : ניתוח ניסוי NPK

תיאור	רכיב
ערכים N ו-ST עברו 5 רמות טיפול דישון (N10-N150)	What
להשוות את השפעת רמות הדישון השונות על הערכים הכימיים בעלים	Why
<ul style="list-style-type: none"> טבלת טיפולים תרשים עמודות מוערמים לאורך ציר זמן גרפי פיזור (Scatter) ו-Ridgeline plots 	How

קידודים ויזואליים : צבע = רמת טיפול (כחול→אדום לפי כמות N), מיקום = ערך כימי, התפלגות ערכיהם לכל טיפול = Ridgeline

אינטרاكتיביות : לחיצה על Ridgeline מציגה Centroid (מרכז כובד) על גրף הפיזור.

4.4 ויזואלייזציה 4 : ניתוח שונות העמילן

תיאור	רכיב
ערכים ST לאורך זמן ולפי שנה קלנדרית	What
לחקר ולהסביר את השונות הגובהה שנצפתה בערכי העמילן	Why
<ul style="list-style-type: none"> Violin plots עקומת ערכי ממוצעי העמילן לאורך זמן Box plots לפי שנה 	<ul style="list-style-type: none"> How • • •

תגלית מרכזית : אפקט השנה שולט על אפקט הטיפול! שנת 2022 הייתה שנת דלדול העמילן (~80-50 mg/g), 2023 שנת התאוששות (~120-160 mg/g), ו- 2024 שנת יציבות (~100-140 mg/g). נמצא זה מדגיש את חשיבות ההתחשבות בגורמים סביבתיים ביון-שנתיים בפרשנות הנתונים.

4.5 ויזואלייזציה 5 : סיווג מצב LNC

תיאור	רכיב
ערכים חנקן בעלי (LNC) מול ספי הסיווג של UC Davis	What
לסוגו את מצב החנקן לפי סטנדרטים מקובלים בתעשייה ולזהות עצים הדורשים התערבות	Why
<ul style="list-style-type: none"> טבלת ספים דינמית המmirה את הערכי היחידים לסף דינامي עקומת הממוצעים המייצגת את סוג הטיפולים ברקע הספים לאורך הזמן 	<ul style="list-style-type: none"> How • •

ספי UC Davis (מותאמים לאוקטובר) : עוזף (<3.48%), גבוח (3.24-3.48%), אופטימלי (2.88-3.24%), נМОך (2.64-2.88%), חסר (>2.64%).

התאמת עונתית : גורמי כפל חודשיים מיושמים על הספים להתאמה לדינמיקה העונתית של LNC בהדרים.

4.6 ויזואלייזציה 6 : ניתוח יחס N/ST

תיאור	רכיב
יחס N/ST מנורמל לאורך זמן	What
להציג ולהציגים ממד משופר לקביעת עיתוי דישון אופטימלי	Why
עקומת ממוצעים מנורמליים (0-1) לתקופות שונות עם סימון חולנות דישון עונתיים	How

הבעיה עם LNC לבדו: מגע לשיא בחורף בשל אפקט ריכוז (פחות מים בעלה) - אך זה לא הזמן שהצמח זוקק לדישון.

הפתרון - יחס ST/N: כאשר N עולה ו- ST יורדת, היחס עולה ומסמן צורך בדישון. המדריך מזהה בכך את תקופת אביב-קיץ כזמן האופטימלי לדישון, בהתאם לשלב הפנולוגי של הצמח.

4.7 סיכום האינטראקטיביות

דרישת הקורס הייתה לכלול לפחות 2 ויזואלייזציות אינטראקטיביות. הפרויקט כולל 3 ויזואלייזציות אינטראקטיביות מלאות :

1. **פתח ישראל (ויז' 1.3):** לחיצה על עיגולים מציגה pop-up עם פירוט לפי גידול, Hover מציג מידע מקוצר.
2. **מtag תצוגה (ויז' 2.1):** מעבר בין תצוגת "כל הדגימות" ל视窗 "ממוצע ± SD", לחיצה על אגדה לסייעון גידולים.
3. **מtag תצוגה (ויז' 3.2):** לחיצה על Centroid Ridgeline מציגה/מסתירה Centroid על גוף הפיזור, מאפשרות להציג מספר Centroids במקביל.

5. הסבר לבחירות העיצוב

פרק זה מנמק את הבחירה העיצובית שנעשה בכל ויזואלייזציה, תוך התיחסות לעקרונות תיאורתיים מתחום ויזואלייזציה של מידע ולשיקולים פרקטיים.

5.1 ויזואלייזציה 1 - בחרית Timeline, התפלגות עונתית ומפה

גרף עמודות מוקובצות על פניו גраф עמודות מוערמות (Timeline 1.1) - Grouped Bar Chart: נבחר גраф עמודות מוקובצות על פניו גраф עמודות מוערמות (Stacked) מכיוון שהוא מאפשר השוואת ישירה בין גידולים באותו חודש. בgraf מוערמים, קשה להשוות את גודל הקטגוריות הפנימיות בין עמודות שונות.

התפלגות עונתית (1.2) - Day-of-Year: הצגה לפי יום בשנה (DOY) מאגדת נתונים מכל השנים יחד, וחושפת דפוסים עונתיים שאינם נראים בתצוגה כרונולוגית רגילה. טובנה מרכזית: הדרים הם הגידול היחיד עם כיסוי מלא של 12 חודשים.

מפה אינטראקטיבית (1.3) - Leaflet: מפה גיאוגרפית מספקת הקשר מרוחבי אינטואיטיבי. השימוש בעיגולים בגודל ייחסי מאפשר תפיסת מהירה של נפח הדגימות בכל מקום. האינטראקטיביות מוסיפה שכבת מידע נוספת ללא עומס ויזואלי קבוע.

5.2 ויזואלייזציה 2 - בחרית גוף קווי לספקטים

קוויים ולא נקודות: הספקטים הוא נתון רציף - כל אורך גל הקשור פיזיקלית לשכניו. גוף קוויים משמר את הרציפות ומאפשר זיהוי דפוסים ופסגות ספינה.

מתג בין תצוגות: תצוגת "כל הדגימות" עם שקייפות מראה את השונות הפנימית וחושפת outliers. תצוגת "ממוצע \pm סטיית תקן" מאפשרת השוואת נקיה בין גידולים. המתג נותן למשתמש גמישות לבחור את רמת הפירוט המתאימה.

שקייפות (Alpha): שימוש בשקייפות בתצוגת דגימות בודדות מאפשר לראות התפלגות וחיפוי בין דגימות מאותו גידול - אזורים כהים יותר מעידים על ריכוז גבוה יותר של דגימות.

5.3 ויזואלייזציה 3 - בחרית Scatter + Ridgeline

גרף פיזור (Scatter Plot): מציג את הקשר הדו-מיידי בין N ל-ST, ומאפשר לראות את כל הדגימות במרחב אחד. הצבע מכוון את רמת הטיפול.

Ridgeline Plots: נבחרו על פני Box Plots רגילים מכיוון שהם חושפים את צורת ההתפלגות המלאה - כולל דו-מודליות (skewness) והטויות (bimodality) שained נראות ב-Box Plot. הם ממוקמים בצירים העליון (N) והימני (ST), מחוברים ויזואלית לגרף הפיזור.

אינטראקטיביים Centroids: מאפשרים לראות את "מרכז הבודד" של כל טיפול ללא עומס ויזואלי קבוע. המשמש בוחר אילו Centroids להציג, מה שפשט השוואת בין טיפולים נבחרים.

5.4 ויזואלייזציה 4 - בחירת Violin Plots וניתוח שנתי

(4.1) **Violin Plots**: נבחרו על פני Box Plots מכיוון שהם חושפים את צפיפות הנתונים ומאפשרים זיהוי דפוסים שנצפו בחודשים מסוימים. תגלית זו הובילה לחקירה נוספת.

ניתוח לפי שנה (4.2, 4.3): לאחר שזוהתה שונות גובהה בלתי מוסברת, הנתונים פורקו תחילת בקרה חדשית למתרנן תצוגה של התנהלות הנתונים לאורץ זמן, ולאחר מכן לפי שנה. ניתוח זה חשף את התגלוות המרכזית: אפקט השנה שולט על אפקט הטיפול, עם הבדלים דרמטיים בין 2022 (דולדול) ל-2023 (התאוששות).

5.5 ויזואלייזציה 5 - בחירת רכוזות צבעוניות דינמיות

טבלת ספים דינמית (5.1): UC Davis מספק ספים לחודש אוקטובר בלבד. התאמנו את הספים לכל חדש באמצעות גורמי כפל עונתיים המבוססים על הדינמיקה הידועה של LNC בהדרים.

עיקומות צבעוניות (5.2): מאפשרות לראות מידית באיזו קטגוריה נמצאת כל דגימה. השימוש בגרדיאנט יroke (מכחה לבחירה) מפחית עומס קוגניטיבי לעומת צבעים שונים לחלוטין. העיקומות דינמיות ועוקבות אחרי גורמי הכפל החודשיים - לא קווים ישרים בעלי ערך קבוע כל השנה.

תובנה: טיפולים N100, N60 ו-N150 colums נשאים ברצועה האופטימלית או מעלה, מה שמעיד שהם מקבלים מספיק חנקן.

5.6 ויזואלייזציה 6 - בחירת נרמול ויחס N/ST

הבעיה עם LNC לבדו: LNC מגיע לשיא בחורף בשל אפקט ריכוז (concentration effect) - כשההעלת מכיל פחות מים, ריכוז החנקן עולה יחסית. אך החורף העיקרי אינו הזמן שגידול נשיר צריך דישון - הוא במנוחה פונולוגית.

הפתרון - **יחס N/ST**: כאשר N עולה (צמיחה צורך חנקן) ו-ST יורדת (צמיחה צורך אנרגיה), היחס עולה ומסמן צורך לדישון. היחס מזזה נכון תקופת אביב-קייז כזמן האופטימלי. ובאופן מפתיע גם מזזה תקופה מסקרנת בחורף בה גם ירדת כמות העמilon ביחס וחנקן שעלה.

נרמול (1-0): מאפשר השוואת בין טיפולים במונחים יחסיים, מדגיש את הדפוס העונתי המשותף, ומזזה את שיאי הדישון.

חלונות עונתיים: חורף (כחול) = מנוחה ונשירה, אביב (זהב) = שייא ראשון - פריחה ויצירת פרי, קיץ (אדום) = שייא שני - גידילת פרי.

6. צילומי מסך של הוייזואליזציות

להלן צילומי מסך של שבע הוייזואליזציות שפותחו בפרויקט :

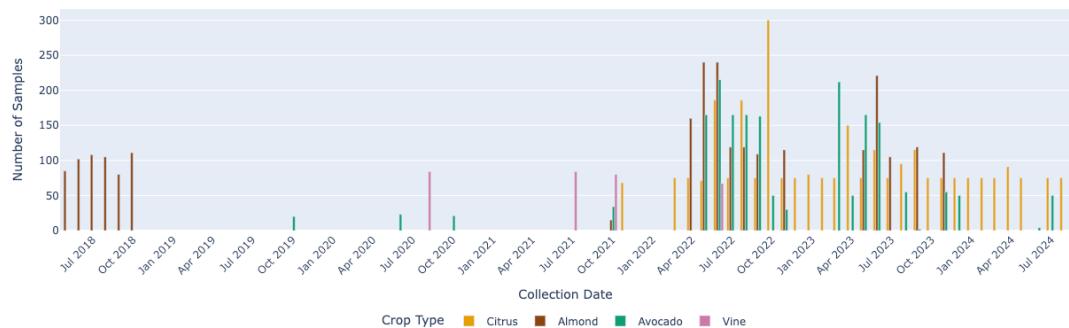
6.1 ויזואליזציה 1 : סיפור איסוף הנתונים

NIR (Near Infrared) Spectroscopy Dataset: 4 Crops, 4 Locations, 7,500+ Samples

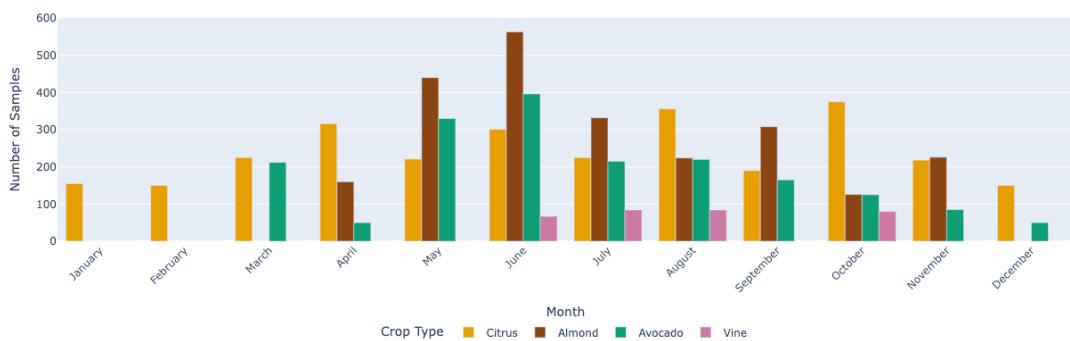
Leaf samples with 1,557 spectral wavelengths and chemical values: N (Nitrogen), ST (Starch), SC (Soluble Carbohydrates) | 2021-2024

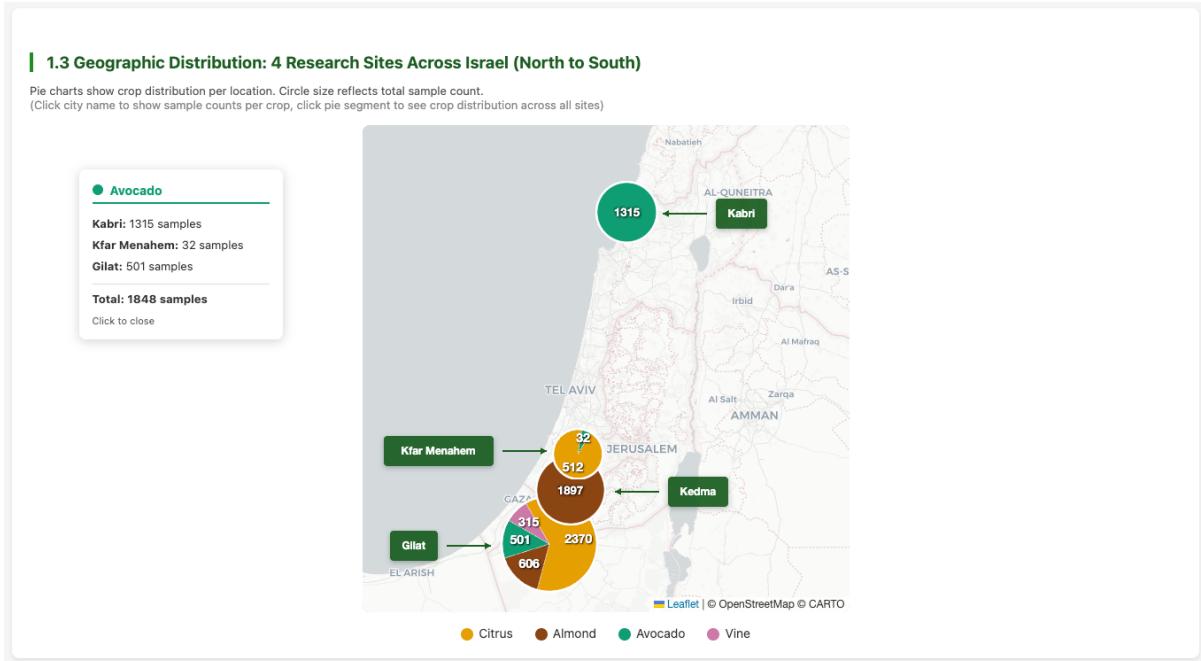
Crop	Total Samples	Date Range	Unique Dates
Citrus	2882	Nov 2021 - Aug 2024	37
Almond	2503	May 2018 - Nov 2023	22
Avocado	1848	Oct 2019 - Jul 2024	29
Vine	315	Aug 2020 - Jun 2022	4

1.1 Sample Leaves Collection Timeline: Monthly counts by crop (2021-2024)



1.2 Seasonal Distribution (DOY): Aggregated by Day-of-Year to reveal seasonal patterns
Citrus has full 12-month coverage (150+ samples/month) --> Primary focus for subsequent analysis



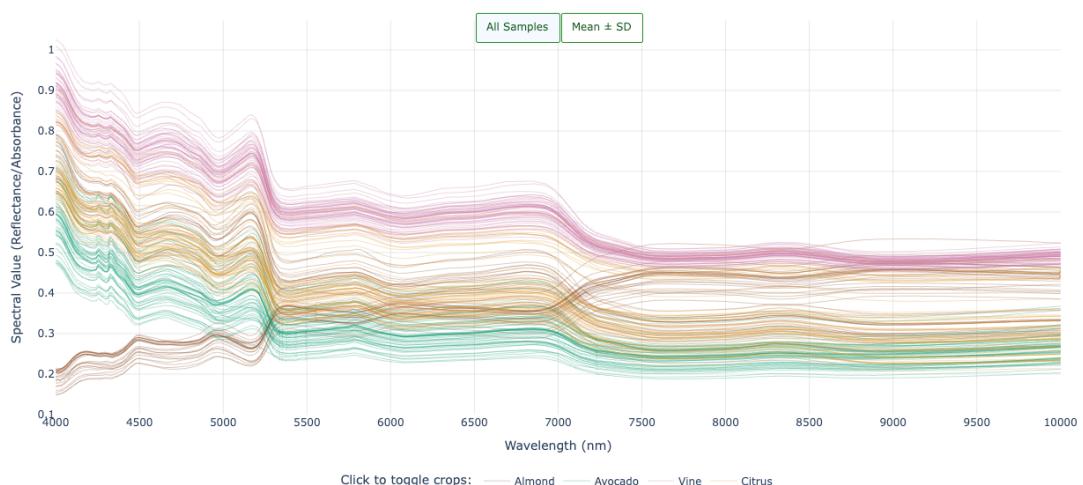


ויזואלייזציה 2 : חקירת הספקטרום

NIR (Near Infrared) Spectral Signatures: Unique Fingerprint per Crop Type

1,557 wavelengths (3,999–10,001 nm) | Spectral signatures enable prediction of chemical values (N%, ST, SC)

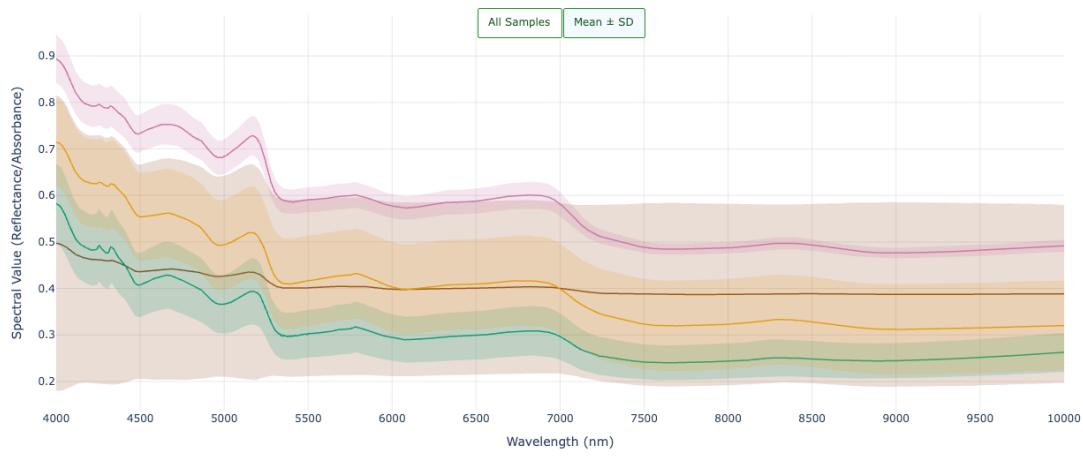
2.1 NIR Absorption Spectrum: Each crop has a distinct biochemical signature



NIR (Near Infrared) Spectral Signatures: Unique Fingerprint per Crop Type

1,557 wavelengths (3,999–10,001 nm) | Spectral signatures enable prediction of chemical values (N%, ST, SC)

2.1 NIR Absorption Spectrum: Each crop has a distinct biochemical signature



ויזואלייזציה 3 : ניתוח ניסוי NPK 6.3

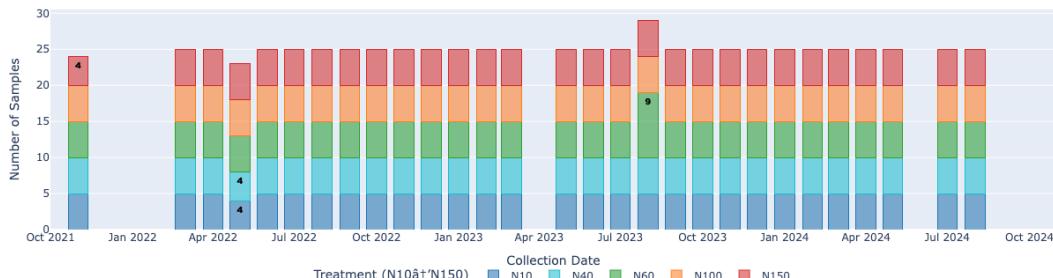
NPK Experiment: 5 Nitrogen Treatments on Citrus (Gilat Station)

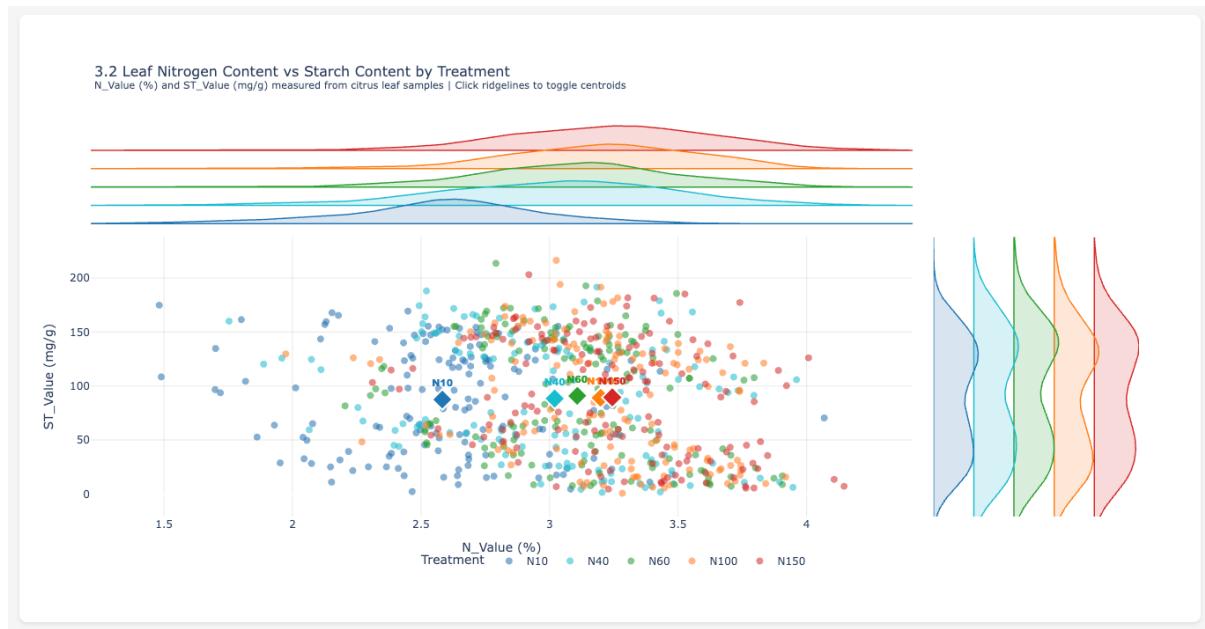
N10-N150 kg N/hectare | 5 trees per treatment | Measuring N% and Starch response

NPK stands for Nitrogen (N), Phosphorus (P), and Potassium (K) - the three primary nutrients for plant growth. In this experiment, we focus on Nitrogen treatments, testing 5 different application rates.

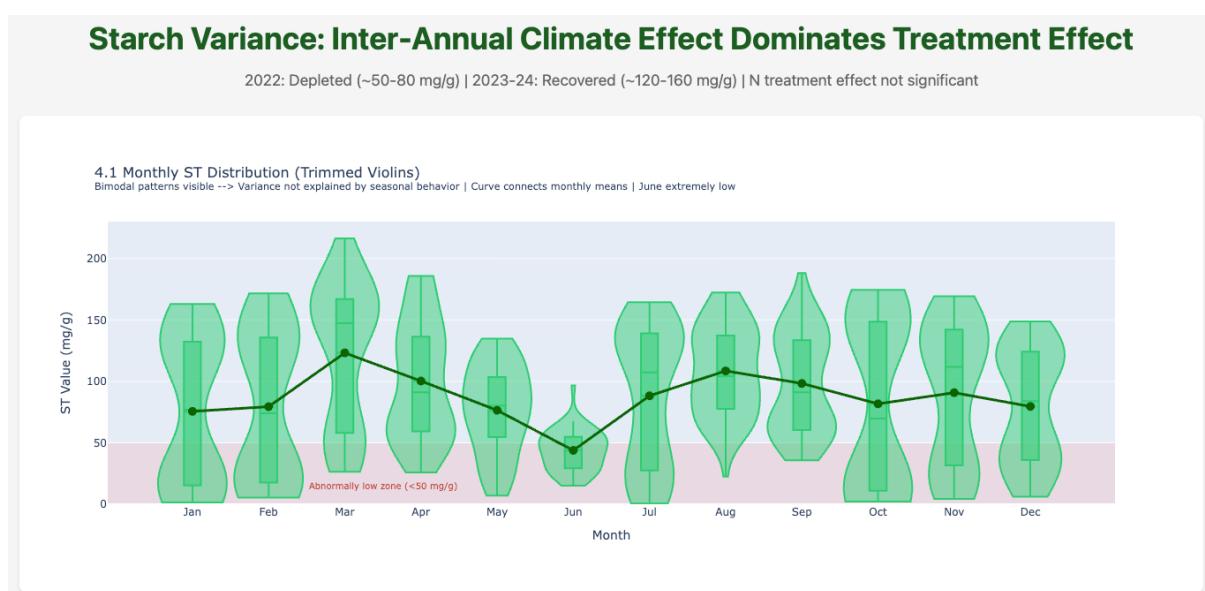
Treatment	N Level (kg/ha)	Description	Tree IDs	Total Samples	Date Range
N10	10	Very Low (10 kg N/ha)	3, 30, 42, 46, 63	144	Nov 2021 - Aug 2024
N40	40	Low (40 kg N/ha)	5, 19, 44, 49, 67	144	Nov 2021 - Aug 2024
N60	60	Optimal (60 kg N/ha)	12, 29, 43, 58, 61	149	Nov 2021 - Aug 2024
N100	100	Excessive (100 kg N/ha)	15, 18, 40, 47, 68	145	Nov 2021 - Aug 2024
N150	150	Very Excessive (150 kg N/ha)	13, 24, 35, 57, 74	144	Nov 2021 - Aug 2024

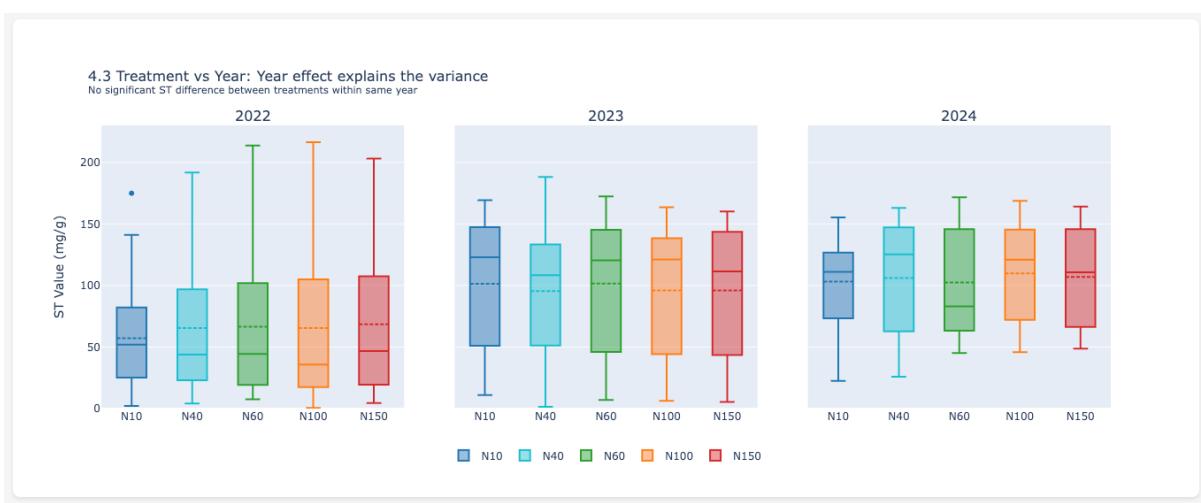
3.1 Citrus Sample Collection Timeline by Treatment
Monthly sample counts (stacked) | Numbers shown when count ≥ 5





ויזואליזציה 4 : ניתוח שונות העמילן 6.4





ויזואליזציה 5 : סיווג מצב LNC 6.5

LNC (Leaf Nitrogen Content) Classification: Dynamic Thresholds Reveal All N60+ Treatments Stay Optimum

UC Davis October thresholds adapted to monthly values using seasonal adjustment factors | N60, N100, N150 all cluster in Optimum band

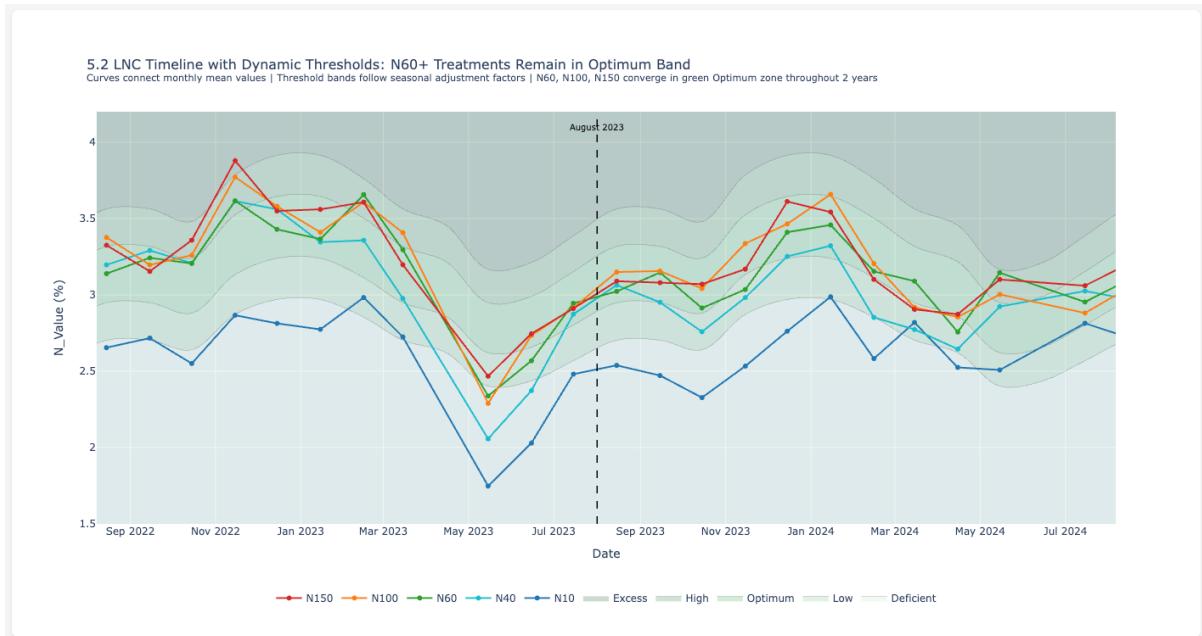
5.1 Dynamic Monthly LNC Thresholds

All thresholds derived from UC Davis October reference \times seasonal factor

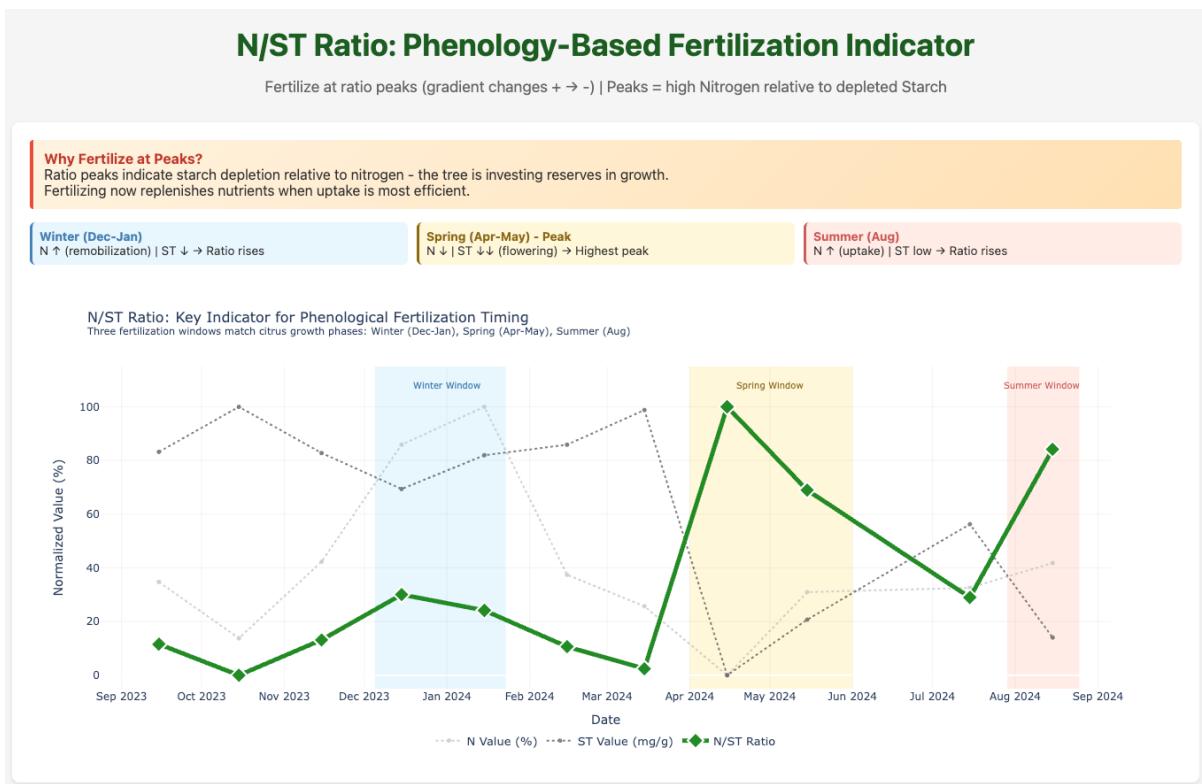
UC Davis provides October reference values for citrus LNC classification.
 This reference adapted into **dynamic monthly thresholds** using seasonal adjustment factors that account for natural nitrogen fluctuations throughout the year.

Threshold	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
High/Excess	3.92%	3.76%	3.56%	3.46%	3.17%	3.21%	3.39%	3.56%	3.56%	3.48%	3.79%	3.92%
Optimum/High	3.65%	3.50%	3.32%	3.22%	2.95%	2.99%	3.15%	3.32%	3.32%	3.24%	3.53%	3.65%
Low/Optimum	3.24%	3.11%	2.95%	2.86%	2.62%	2.66%	2.80%	2.95%	2.95%	2.88%	3.13%	3.24%
Deficient/Low	2.97%	2.85%	2.70%	2.62%	2.40%	2.44%	2.57%	2.70%	2.70%	2.64%	2.87%	2.97%
Seasonal Factor	1.125	1.081	1.024	0.993	0.910	0.923	0.973	1.024	1.024	1.000	1.088	1.125

October (highlighted) = UC Davis reference month (factor = 1.000). Other months adjusted based on seasonal nitrogen patterns in citrus leaves.



N/ST 6.6 ויזואליזציה 6 : ניתוח יחס



7. קוד המקור

הקוד המלא של הפרויקט זמין ב GitHub :

<https://github.com/GuyMizrahi1/Crop-Analysis-Visualization>