מבוא - איפיון אזור וגידול

חלקתנו היא חלקה מספר 12 הנמצאת באזור קיבוץ דפנה בצפון הארץ. שטח החלקה הכולל הינו עם קרקע רנדזינה חומה (govmap). מבחינה טופוגרפית, האזור מאופיין בקוי גובה העולים מדרום () לצפון () כאשר ממוצע הגובה הוא - ראה איור 1 (הסבר על השגת וחישוב המידע הטופוגרפי הדרוש בהמשך העמוד). האזור מאופיין כאזור גשום יחסי עם ממוצע של (מבוסס על ממוצע של עשרים שנה אחרונות לפי XXX, מידע מדוייק יותר ידון בXXX). הגידול שבחרנו הוא אבוקדו – להסביר שיקולים...

|  |  |
| --- | --- |
| (a) | (b) |
|  |  |
| איור 1. (a) מפת שדה, ציר אופקי ואנכי הם קורדינטות X וY בהתאמה. צבע המפה בהתאם לקווי גובה () כאשר 4 קווים אדומים מקווקוים בהתאם ל4 הערכים המצויינים בסרגל הצבע מימין. (b) יצוג זהה ל(a) בתלת מימד, ציר אנכי והצבע מתארים את קווי הגובה () כאשר קווי גובה מתוארים כקווים שחורים. | |

חישוב טופוגרפיה

לשם חישוב טופוגרפיה חילצנו קורדינטות של החלקה המתוארים ב(XXX) עם שימוש הכלי (webplot). לאחר שהיו ברשותנו כל קורדינטות החלקה ביצענו חישוב קווי הגובה עבור כל קורדינטות החלקה. דבר זה נעשה על ידי חילוץ קורדינטות של קווי גובה הנמצאים בקרבת החלקה מהמפה המקורית וביצוע אינטרפולציה מרחבית בשיטת Splines מדרגה 3. בעזרת זה חושב קוו גובה עבור כל קורדינטה בחלקה, דבר האפשר ליצור את איור 1. (לקוד מתועד גש/י לXXX).

תכנון ראשוני של מערכת השקייה

דרישת ההשקייה המקסימלית

לשם תיכנון מערכת ההשקייה יש לחשב את הדרישה המקסימלית העתידית של המערכת. את הדרישה מחשבים לפי נוסחא XXX

כאשר זה דרישת ההשקייה ברוטו , זה דרישת הצמח/התאדות הצמח , זה גשם אפקטיבי , זה תרומת מי תהום , זה מים אגורים בקרקע , זה דרישת שטיפת מלחים ו זה יעילות מערכת (חסר יחידות).

חישוב דרישת הצמח נעשה על ידי נוסחא XXX:

*כאשר זה התאדות יחוס ממשטח צמחי הומוגני הגדל בתנאים אופטימלים ו זה מקדם גידול (חסר יחידות).*

נתוני התאדות היחוס נלקחו מהשירות המטאורולוגי. נתונים אלה הם נתונים מחושבים על בסיס מודל פנמן-מונטיס עבור חודש, לכן 3 קבוצות עשרת שונות של אותו חודש חולקות את אותו ערך של התאדות יחוס.

*חישוב נעשה בשיטת בניית עקומת לפי 3 פרמטרים שהם למעשה ערכי המדד בתחילת, אמצע וסוף עונה. ערכי שלושת הפרמטרים עבור אבוקדו והשיטה עצמה נלקחים מספר ההדרכה של ה*FAO *(*Pereiraet al, 1998*): . לפי שיטה זו מחלקים את תקופת הזמן השנתית ל4 כאשר בראשונה קבוע בערכו ההתחלתי, בשנייה עולה ליניארית מהתחלתי לאמצע, בשלישית קבוע בערך האמצע וברביעית ירידה ליניארית מערך האמצע לערך הסוף. את התקופות חליקנו לפי עשרת ימים של חודש (36 בשנה סה"כ) כאשר השיוך של עשרת מסוימת לאחת התקופות של עקומת מקדם הגידול ביצענו על בסיס תיאור ערך של מדוד בקליפרוניה (*University of California, Agriculture and Natural Resources*). כלומר, לפי הערכים המדודים האלה זיהינו את תבנית התקופות (ללא התיחסות לערך) ושייכנו כל עשרת לתקופה מסוימת כאשר הערכים יקבעו לפי 3 פרמטרי העקומה. תיאור העקומה הוא לפי נוסחא XXX ואיור מס' XXX:*

*כאשר זה קבוצת עשרת מסוימת (מ1 עד 36). לאחר שבידנו נתוני ה ו ניתן לחשב . דוגמאת חישוב עבור עשרת הראשונה של חודש אוגוסט (16) היא:*

*דוגמאת חישוב זו מהווה למעשה את הערך המקסימלי של השנתי. כלל נתוני ה ו מתוארים על ידי איור מס' XXX.*

|  |
| --- |
|  |
| איור 4. 3 גרפי עמודות המתארים עבור כל קבוצה עשרת ימים בשנה את בגרף עליון , בגרף אמצעי (חסר יחידות) ו גרף תחתון . ערך ה המקסימלי הינו עבור חודש יוני עם ערך של . |

עבור חישוב גשם אפקטיבי, אספנו את כל נתוני הגשם החודשיים באזור במהלך העשר שנים האחרונות (ראה איור XXX) ומהם חישבנו ממוצע וסטיית תקן. לאחר מכן חושב הגשם 80% dependable לפי נוסחא XXX:

דוגמאת חישוב עבור חודש ינואר:

|  |
| --- |
|  |
| איור 3. גשם 80% dependable עבור אזור חלקתנו |

*ניתן לראות את התוצאות של שאר החודשים באיור XXX. לפי איור זה, עבור חודש יוני (מתי שדרישת הצמח מקסימלית) ניתן לראות שערך הגשם* 80% dependable *הוא כך שבטוח שגשם אפקטיבי עבור חודש זה עם אותו ערך – כלומר ניתן להתעלם מרכיב ה בנוסחא.*

*בנוסף לכך, עם הזנחת תרומת מי תהום ומים אגורים בקרקע, תכנון שטיפת מלחים בחורפי החורף ויעילות השקייה (מדובר במערכת טיפטוף לוקלית) ניתן לחשב:*

וזה למעשה דרישת ההשקייה המקסימלית שעל פיה נתכנן את המערכת.

עומד השקייה מקסימלית לפי קרקע

לשם חישוב עומד ההשקייה המקסימלי נשתמש בנוסחא [XXX]:

כאשר זה עומד ההשקייה המקסימלי שניתן להשקות , זה אחוז הירוקנות הקרקע ממים המקסימלי , זה עומק בית שורשים ו זה אחוז שטח מורטב .

לשם חישוב TAM יש להתחשב בנתוני הקרקע כמו תכולת רטיבות של קיבול שדה ונקודת כמישה. לשם כך השתמשנו בנתונים שנמדדו במהלך קורס שיטות לבדיקות קרקעות עבור קרקעת רנדזינת מאזור רביד בצפון הארץ (בהנחה שתיהיה בתכונותיה לקרקע שלנו):

כאשר זה קיבול שדה , זה נקודת כמישה ו זה צפיפות גושית . בשביל לחשב את התכולות רטיבות הנפחיות השתמשנו בנוסחא XXX:

*כאשר זה תכולת רטיבות נפחית , זה צפיפות מים ו זה תכלות רטיבות משקלית . דוגמת חישוב עבור קיבול שדה:*

*לפי נוסחא XXX ניתן לחשב את זמינות המים הכוללת TAM:*

*לפי (*Bender and Faber*) ערכי ה*MAD *עבור אבוקדו נעים בין כאשר עבור קרקעות חרסיתיות יחסית כדאי להשתמש ב ולכן זה הערך שאנחנו נשתמש.*

*לפי (*Salgado and Cautin, 2008*), שורשי עץ אבוקדו יחסית נמוכים ונפרשים למרחב. הערכים הם בין ולכן בחרנו בערך של .*

*חשיוב פרקציית שטח רטוב הוא לפי נוסחא XXX:*

*כאשר מספר מוציאי מים לצמח, זה מרווח בין מוציאי מים , זה רוחב שטח ההרטבה של מוציא מים בעומק של 30 ס"מ , זה מרווח בין צמחים ו זה מרווח בין שורות . לפי פרקטיקה חקלאית באזור, קבענו כי . ערך תלוי בשלב התפתחותי של העץ ולפי (*Salgado and Cautin, 2008*) קבענו ערך ממוצע של . לפי (*Savva and Frenken, 2002*), בהיעדר מידע לוקלי על שטח הרטבה של מוציא מים בקרקע ניתן להשתמש בטבלה הבאה:*

|  |  |
| --- | --- |
| *סוג קרקע* | *שטח הרטבה על ידי מוציא מים יחיד* |
| *חולית* | *0.5-2* |
| *סיין* | *2-6* |
| *חרסיתית* | *6-15* |

*בשל אחוזי חרסית יחסית גבוהים בחרנו בטווח ערכי שטח הרטבה של , כך שניתן לחשב טווח את קוטר/רוחב שטח הרטבה לפי נוסחאת שטח מעגל:*

*ולקבל טווח ערכים של כאשר נבחר מתוך זה ערך ביניים של . דוגמאת חישוב:*

*עם שימוש בנוסחא XXX נקבל:*

*שימוש בנוסחא XXX נקבל:*

חישוב תדירות השקייה

את חישוב התדירות ההשקייה המקסימלי נבצע לפי:

מזה נוריד 3 ימים לשם מרווח ביטחון לקבלת תדירות של – כלומר השקייה יומית. דבר זה מסתדר לאחר בירורים שעבור מטעי אבוקדו בצפון ההארץ משקים באופן יומי בצריכה המקסימלית.

\* את חישוב הספיקה המקסימלי נבצע לאחר חישוב מדויק יותר של השטח במערכת ההשקייה וזאת משתי סיבות. שטח החלקה המוצג במבוא לא מבוסס על חישוב שטח לפי קורדינטות ובנוסף, השטח שבו תיפרס מערכת ההשקייה הוא קטן יותר מהשטח המוצג באיור XXX. זאת מכיוון שיתקיימו שטחים "מתים" בשולי החלקה ללא עצים.

|  |
| --- |
|  |
| איור XXX. מפת החלקה יחד עם תיואר מערכת ההשקייה |

תכנון מדוייק של מערכת השקייה

פריסת המערכת

מערכת ההשקייה שלנו מתוארת באיור XXX (איור זה לא מהווה שרטוט רשמי של מערכת ההשקייה, אלא תמונה להמחשה). המערכת כוללת 44 שלוחות טיפטוף (קווים אדומים וכחולים דקים כאשר כל קו חמישי מסומן באדום) הניזנות מקו מחלק ראשי יחיד (קו כחול עבה). כיוון ספיקת המים בקו המחלק הוא מצפון לדרום כאשר בשלוחות הטיפטוף זה ממערב למזרח. מקור המים לקו המחלק הוא מאגר מים צפונית לחלקה הנמצא סמוך. כמו כן, 30 שלוחות הטיפטוף הראשונות (מצפון לדרום) הם באורך של , במרחק של אחד מהשני כאשר נקודות החיבור של השלוחות לקו המחלק הם במרחק של גם (השלוחות יוצאות ב מהקו המחלק). שלוחות טיפטוף 30-40 הם באורך של 66 מטר כאשר המרחק בין השורות גם 6 מטר אך נקודות החיבור שלהן לקו המחלק במרחק של **צריך למצוא את זה בקוד**. בנוסף לכך 4 שלוחות טיפטוף אחרונות באורך של כאשר גם מרחק השלוחות וגם נקודות החיבור במרחק של .

בחירת קו מחלק המזרים מים מצפון לדרום נעשה מתוך העדפה של זרימה מעומד רום גבוה לנמוך ומיקום השלוחות נעשה מתוך העדפה ששלוחות הטיפטוף ימוקמו בצורה המקבילה ביותר לקוי גובה. עם זאת, בחלק משלוחות הטיפטוף קיימים מקומות בהם זרם המים עולה מעומד רום נמוך לעומד רום גבוה כאשר גם קיימים מקומות שהזרימה מעומד רום גבוה לנמוך. ללשם בחינת כלל הפרופילים הטופוגרפים של שלוחות הטיפטוף ראה במחברת.

חישוב ספיקה נומינלית

*בהינתן נתונים אלה ניתן לחשב:*

* 30 שורות של 66 מטר בתוך מלבן עם מרווח של 6 מטר.
  + שטח:
  + מספר מוציאי מים
* 10 שורות של 66 מטר בתוך מקבילית עם אותו מרווח.
  + שטח:
  + מספר מוציאי מים
* 4 שורות של 25 מטר בתוך מלבן עם אותו מרווח.
  + שטח:
  + מספר מוציאי מים

סך הכל שטח אפקטיבי של , עם מוציאי מים. כאשר תדירות ההשקייה שלנו היא יומית, יש להשקות את הצריכה היומית של אשר הספיקה עבורה זה:

*כך שלפי זה הדרישה מכל מוציא מים זה:*

*כמו שנאמר מקודם, עבור אבוקדו בעת צריכה מקסימלית יש להשקות לאורך זמן ולכן נחליט על ספיקה נומינלית של:*

*כאשר משך ההשקייה עבור יום בעת צריכה מקסימלית זה:*

חומרי מערכת הטיפטוף

לשם המשך החישובים יש לדעת את שאר הפרמטרים התיכונוניים האפשריים של מערכת ההשקיה מתוך קטלוג מוצרים. לשם כך בחרנו בקטלוג מערכות טיפטוף של חברת נען דן ג'יין. מתוכו בחרנו במערכות טיפטוף לא מווסתות לחץ מדגם TifDrip בשל העובדה שבדף המוצר רשום כי דגם זה מותאם הרבה יותר לגידול שלנו מאשר מערכת לא מווסתת אחרת. עבור מערכת זאת אנחנו מניחים (תחת יעוץ) כי הצינור עשוי מפוליאתילן ולכן ניתן להניח כי מקדם החיכוך במשוואת הייזן-וויליאמס הוא . בנוסף לכך לפי הקטלוג קוטר פנימי של הצינור הוא . בחרנו בעובי דופן של שלוחת הטפטת כ. דופן זה למעשה הוא המינימלי ביותר הנוכל להרשות אשר תואם ללחץ מקסימלי של . עובי נמוך יותר תואם ללחץ עבודה מקסימלי נמוך יותר של דבר אשר הערכנו כנמוך מידי (ראה לפי הסבר של טבלה XXX). בנוסף לפרמטרים אלה, קיימת בחירה בין סוגים שונים של טפטפת המאופיינים במתן ספיקה נומינלית ספציפית עבור לחץ מסוים. קשר זה הוא למעשה משוואת ספיקה-לחץ של טפטפת המתואר על ידי הנוסחא XXX:

*כאשר זה ספיקה של טפטפת , זה לחץ ו הם פרמטרים התלויים בסוג הטפטפת. מגוון האפשרויות למוצר מתואר לפי הטבלה הבאה:*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 16/4 | | | | 16/2 | | | | 16/1 | | | |  |
| 1.15 mm | 1.0 mm | 0.9 mm | 0.65 mm | 1.15 mm | 1.0 mm | 0.9 mm | 0.65 mm | 1.15 mm | 1.0 mm | 0.9 mm | 0.65 mm | P(bar) |
| 2.58 | 2.58 | 2.58 | 2.72 | 1.43 | 1.50 | 1.50 | 1.61 | 0.72 | 0.82 | 0.82 | 0.82 | 0.5 |
| 3.60 | 3.60 | 3.60 | 3.80 | 2.00 | 2.10 | 2.10 | 2.25 | 1.00 | 1.15 | 1.15 | 1.20 | 1 |
| 4.37 | 4.37 | 4.37 | 4.62 | 2.43 | 2.55 | 2.55 | 2.73 | 1.21 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.5 |
| 5.02 | 5.02 | 5.02 | 5.30 | 2.79 | 2.93 | 2.93 | 3.14 | 1.39 | 1.60 | 1.60 | 1.60 | 2 |
| 5.59 | 5.59 | 5.59 |  | 3.10 | 3.26 | 3.26 |  | 1.55 | 1.79 | 1.79 |  | 2.5 |
| 6.10 | 6.10 | 6.10 |  | 3.39 | 3.56 | 3.56 |  | 1.69 | 1.95 | 1.95 |  | 3 |
| 6.57 | 6.57 |  |  | 3.65 | 3.83 |  |  | 1.82 | 2.10 |  |  | 3.5 |

*טבלה מספר XXX, תיאור ספיקות טפטפת כתלות בלחץ עבור כלל הדגמים. את הדגמים מחלקים ל3 קטגוריות:* 16/4, 16/2 *ו*16/1 *עם תתי קטגוריות* 0.65, 0.9, 1.0, 1.15 *(שמהווים עובי דופן של טפטפת).*

*בחרנו בדגם* 16/1 1.0mm *(מסומן בצהוב) בשל העבודה שעבור דגם זה שהספיקה הנומינלית שלנו תואמת ללחץ בטווח ערכים ביניים () בניגוד לדגמים אחרים אשר תואם ללחץ מאוד נמוך או שאינו ניתן להשגה.*

*מתוך ערכים אלה חילצנו את הפרמטרים של ו ממשוואה XXX אשר מניבים התאמה מושלמת בין הפונקציה לערכי הטבלה. ראה איור XXX.*

|  |  |
| --- | --- |
| (a) | (b) |
|  |  |
| *איור XXX תיאור הקשר...* | |

*עבור בחירת חלקי צינור ההשקייה ראה XXX*

אסטימיזציה של ספיקה ולחץ בשלוחות טיפטוף.

חלק זה מהווה את הבסיס לחישוב ספיקת ולחץ כלל המערכת והוא למעשה חישוב פירוס הספיקה והלחץ עבור טפטפת מסוימת. לצורך כך נניח כי קיימת לנו שלוחת טפטפות בטופוגרפיה לא מישורית עם מוציאי מים המחוברת לקו המחלק. נוסף לכך, נניח ואנחנו יודעים את הלחץ בנקודת החיבור של שלוחת הטפטפת לקו המחלק ונסמנה ב. כמו כן, אנחנו מנחשים את ערך הלחץ בשלוחת הטפטפת במוציא המים האחרון אשר תואם למספר (הרחוק ביותר מקו מוציאי המים) ונסמנה ב. מכאן אנחנו מבצעים את החישובים ההבאים:

1. חישוב הספיקה של מוציא המים לפי משוואה XXX
2. *חישוב הפסד העומד בין מיוציא המים למוציא המים לפי משוואת הייזן-וויליאמס:*

*כאשר זה הפסד העומד , זה אורך המקטע , Q זה ספיקת המקטע , מקדם המשוואה (ללא יחידות), זה קוטר הצינור ו הם קבועים עם ערכים של בהתאמה.*

1. *חישוב לחץ מוציא המים לפי מאזן אנרגיה:*

*כאשר זה עומד הלחץ עבור מוציא מים , זה עומד רום עבור מוציא מים זה עומד רום של מוציא מים .*

*את שלבי חישוב אלה מבצעים בצורה איטרטיבית עד האיטרציה בה השלב השלישי הוא חישוב עומד לחץ בנקודת החיבור של שלוחת הטפטפת לצינור המחלק, אותה נסמן כ.*

*דוגמאת חישוב לכלל השלבים:*

*...*

*נשים לב שכאשר אינו תואם ל, אנחנו נתחיל את כל החישוב עוד פעם אך עם ניחוש התחלתי שונה - בתקווה שיקרב את החישוב שלנו לערך האמיתי של הלחץ בנקודת החיבור. טכניקה זו למעשה מזכירה את שיטת ה-*Shooting *כאשר מנסים לפתור משוואה דיפרנציאלית המוגדרת עם תנאי סוף ללא התחלה, ואנחנו מנסים לקלוע עם ניחושים התחלתיים לערך של תנאי הסוף (*Kong and Bayen, 2021*).*

*לשם ביצוע הטכניקה נרצה להגדיר את כפונקציה של הניחוש על ידי: . עכשיו נגדיר את פונקציית המטרה הבאה:*

*.*

*כל הרעיון בחישוב זה הוא למעשה למצוא את אשר יגרום לפונקציית המטרה להתאפס. או במילים אחרות, אנחנו רוצים לחשב את שורש פונקצית המטרה. קיימות שיטות נומריות רבות לביצוע מטלה זו אשר תיאורם הוא מחוץ לתחומי עבודה זו (ישום השיטה מפורט במחברת).*

CropCoefficients.html

Salgado, E., & Cautin, R. (2008). Avocado root distribution in fine and coarse-textured soils under drip and microsprinkler irrigation. *Agricultural water management*, *95*(7), 817-824.‏

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, *300*(9), D05109.‏

Savva, A. P., & Frenken, K. (2002). Irrigation manual. *Planning, Development Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation, Modules*, 1-14.‏

Kong, Q., Siauw, T., & Bayen, A. M. (2021). Python Programming and Numerical Methods. A Guide for Engineers and Scientists.‏