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).*

*דוגמא עבור עשרת הראשונה של חודש יוני (16) :*

*לאחר שבידנו נתוני ה ו ניתן לחשב . דוגמאת חישוב עבור עשרת הראשונה של חודש יוני (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)

|  |
| --- |
|  |
| איור מס' XXX |

ומהם חישבנו ממוצע וסטיית תקן. לאחר מכן חושב הגשם 80% dependable לפי נוסחא XXX:

דוגמאת חישוב עבור חודש ינואר כאשר הממוצע הוא וסטיית תקן :

|  |
| --- |
|  |
| 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,* מכיוון שהתרומה של מי התהום והמים האגורים בקרקע היא שולית ומבירור שעשינו עם חקלאי עמק החולה גם דרישת שטיפת המלחים במי ההשקיה שם היא שולית, כתוצאה ממי ההשקיה איתם הם משקים בהם כמות המלחים היא מזערית ושולית, יכלנו לחשב את דרישת ההשקיה ברוטו תוך התייחסות רק להתאדות הצמח . לאחר מכן ניתן ביעילות ההשקיה E אשר ערכה במערכת שלנו (לוקלית) היא .

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 כאשר המרחק בין השורות גם אך נקודות החיבור שלהן לקו המחלק במרחק של. בנוסף לכך 4 שלוחות טיפטוף אחרונות באורך של כאשר גם מרחק השלוחות וגם נקודות החיבור במרחק של .

יש לשים לב להזנחה הבאה: עבור קו השקייה בעל אורך מסוים במרחב לא שטוח (כמו המפה שלנו), המרחק בין נקודות הקצה של הקו לא יהיו שווה לאורך הקו בשל השתרעות האורך במימד האנכי של הגובה (בנוסף למימדי המרחב הדו מימד). כך שבפועל כל קו אמור לצאת קצר יותר ממה שרואים באיור XXX. אמנם, בשל סיבוכיות החישוב ואי הודאות הגדולה בנתוני הגובה נאלצנו להזניח זאת ולהשתמש בנתונים כפי שמוצגים.

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. לשם 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  דגם | | | |  |
| 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 |
| 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 צילינדר הטפטפת). עמודה צהובה היא הטווח הערכים הנבחר – טפטפת נבחרת היא* 16/1 1.0 mm.

*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 (ראה איור XXX (a)) 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 .*

|  |
| --- |
|  |
| איור מס' XXX בלה בלה בלה |

*דוגמאת חישוב לכלל השלבים:*

*כפי שניתן לראות באיור XXX (b), נניח כי עומד הלחץ הוא .*

*שלב 1 בחישוב הוא שימוש במשוואת XXX לשם חישוב ספיקה:*

*שלב 2 הוא חישוב הפסד עומד:*

*שלב שלישי הוא חישוב עומד לחץ :*

*כמו שניתן לראות תרומת הפסד העומד בספיקה כזאת נמוכה הוא מזערי. אמנם, תרומתו המצטברת להפס העומד בכלל השלוחה הוא לא (חשוב להוסיף שערכי הפסדי העומד של 20 מוציאי המים הקרובים לקו הראשי עומד על ).*

*נשים לב שהספיקה שמציבים בשלב 2 היא הספיקה הכוללת של סך הספיקות שחושבו עד אותה איטרציה.*

*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.*

*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 השיטה 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 יחד עם דוגמא).*

חומרי קו מחלק

לשם המשך החישובים יש לדעת את פרמטרי הצינור המחלק. מאותו קטלוג בחרנו בצינור מחלק מדגם Lay Flat המתואר כצינור PVC (נניח ) גמיש המתאים לחילוק מים לשלוחות טיפטוף. עצם היותו צינור גמיש עונה על דרישת המערכת לקיים פיתולים קלים בשל אילוצי גבולות חלקתנו. בחרנו בדגם האפור בשל העובדה שלחצי העבודה של הדגם השני לא עונים על דרישת המערכת. בנוסף, לצורך חישוב ראשוני בחרנו בקוטר צינור מינימלי של .

אסטימיזציה של ספיקה ולחץ בקו מחלק

שלבי החישוב לשם פירוס הלחצים והספיקות בצינור החלק זהים לגמרי לאותם שלבי חישוב עבור שלוחת טיפטוף. ההבדל היחידי הוא שלב 1, כאשר עבור שלוחת טיפטוף השתמשנו במשוואה XXX, הפעם בשביל לחשב ספיקה היוצאת מהקו המחלק בהינתן הלחץ בנקודה זו, יש פשוט להשתמש בכלל השיטה של חישוב פריסת ספיקה ולחץ עבור שלוחת טיפטוף. סכום הספיקות היוצאות משלוחת הטיפטוף בהינתן הלחץ בנקודת החיבור זו הספיקה היוצאת מהקו המחלק. לשם הבהרה נתאר זאת במפורש.

נניח כי קיימים מוציאי מים (אשר הן שלוחות הטיפטוף עצמן) המחוברת לקו המחלק. נוסף לכך, נניח ואנחנו יודעים את הלחץ בנקודת החיבור של שלוחת הטיפטוף **הראשונה** לקו המחלק ונסמנה ב. כמו כן, אנחנו מנחשים את ערך הלחץ בנקודת החיבור של שלוחת הטיפטוף **האחרונה** לקו המחלק ונסמנה ב. מכאן אנחנו מבצעים את החישובים ההבאים:

1. חישוב הספיקה של מוציא המים לפי סכום ספיקות הטיפטוף מפירוס הספיקה בשלוחת הטיפטוף. את פירוס הספיקה של שלוחת הטיפטוף מחשבים לפי השיטה הקודמת כאשר אנחנו מזינים למשוואה XXX כי .
2. *חישוב הפסד העומד בין מיוציא המים למוציא המים לפי משוואת הייזן-וויליאמס:*
3. *חישוב לחץ מוציא המים לפי מאזן אנרגיה:*

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

*.*

*כאשר המטרה הוא למצוא את שורש הפונקציה. לאחר שהניחוש ההתחלתי מניב ערך אמיתי לנקודת החיבור הראשונה, ניתן לחשב את פירוס הספיקות בשלוחת הטיפטוף הראשונה (ישום השיטה מפורט במחברת).*

*חישוב פירוס עומד לחץ וספיקה בכלל המערכת*

*עבור הצגת דוגמא של פריסת עומד הלחץ וספיקה בכלל המערכת נתאר את אופי החישוב לשם הבהרה סופית. בדוגמא זו אנחנו בוחרים כי עומד הלחץ ההתחלתי – כלומר בנקודת החיבור של השלוחת טיפטוף הראשונה לקו המחלק היא . מפה מנחשים ניחוש ראשוני לנקודת החיבור האחורנה אשר עבור שלוחת הטפטוף האחרונה נגדיר . לאחר מכן מנחשים ניחוש התחלתי למוציא המים האחרון בשלוחת הטיפטוף האחרונה ועוברים את כלל השלבים עד אשר חישוב לחץ בנקודת החיבור של השלוחה לקו המחלק . במידה ומתקיים מבצעים את הכל מחדש עד אשר הניחוש גורם ל . מחשבים את סך הספיקות בשלוחת הטיפטוף, מחשבים את הפסד העומד בקו המחלק בין מוציא המים ל ולאחר מכן את הלחץ . כך למעשה חוזרים על החישובים עד אשר מחשבים את . במידה ו מבצעים מחדש את כלל הנאמר פה החל מהשלב שבו מגדירים ניחוש ראשוני לנקודת החיבור האחורנה . איור XXX מהווה את התוצאה הסופית כאשר כלל הניחושים התאימו לערכים האמיתיים כאשר .*

עבור איור XXX, הדבר הראשון הבולט לעין זה השתנות עומד הלחץ של הצינור מחלק בגרף העליון ב(a). דבר זה נמצא בקורולציה לפרופיל עומד הרום. לאחר ה100 מטר הראשונים קיימת נקודה בה השיפוע משתנה בצורה דרמטתית מ ל. אנחנו מניחים כי שינוי דרמטי שכזה הוא סטייה בחישובים הנובע מטעות אפשרית באינטרפולציית ערכי הגובה של הטופוגרפיה. אמנם, עבור המקטע לאחר נקודה זו השיפוע נע בערכים מתונים יותר, אך עדיין גדולים מהמקטע שלפני הנקודה.

במקטע שלפני הנקודה הקריטית הזאת הפסד העומד על הצינור גובר על הרווח הניתן על ידי המדרון. אמנם ניתן לראות ששיפוע עומד הלחץ ניהיה פחות ופחות שלילי עם המרחק – התנהגות מוכרת של פירוס הלחץ של צינור מחלק תחת הפסד עומד שהולך וקטן עקב ספיקה שיורדת ותחת שיפוע קבוע. לאחר הנקודה הקריטית ספיקת הצינור המחלק הולכת וקטנה לערכים הרבה יותר קטנים (כמו שניתן לראות בגרף הפרופילים האמצעי) כך שהפסד העומד פחות משפיע ותרומתה של הטופוגרפיה היא כמעט בלעדית.

כמו כן, ניתן לראות את הקורולציה בין הלחץ לספיקה ב(b) ו(c): היכן שקיימים שטחים בהירים ב(b) (ערכי ספיקה נמוכים, כך גם ב(c) (ערכי לחץ נמוכים) וההפך. בנוסף ניתן לראות כי מנקודת ההתחלה (צפון מערבית) הלחצים הם בסביבות ערך הלחץ ההתחלתי - כאשר בהתאם ערכי הספיקות הם סביב ה. משם דרומה קיימת ירידה בערכים כאשר שטח אמצע המפה הוא עם הערכים הנמוכים ביותר – סביב ה עומד לחץ ו ספיקה. בדרום המפה עבור שני המדדים ניתן עלייה חזרה לערכי ביניים.

|  |  |
| --- | --- |
| (a) | |
|  | |
| (b) | (c) |
|  |  |
| *איור מספר XXX פריסת לחץ וספיקה בכלל המערכת עבור עומד לחץ התחלתי של . (*a*) מתאר את פרופיל המערכת כאשר ציר אנכי של גרף עליון זה עומד לחץ , ביניים זה ספיקה ותחתון זה עומד רום . לכולם ציר אופקי משותף של מרחק מנקודת ההתחלה – הצפונית ביותר . (*b*) ו(*c*) הם תיאור מרחבי של ספיקה ולחץ עבור כל טפטפת בהתאמה (6848 נקודות בכל גרף). עבור שניהם ציר אופקי ואנכי זה קורדינטות וצבע הנקודה מתאר את עוצמת הערך בהתאם לסרגל הגרף. נוסף על כך, עבור (*b*) ו(*c*) מתואר בראש המפה סטיית הערך המירבית עבור כלל המערכת.* | |

ערך הספיקה הממוצע הוא ולחץ הממוצע הוא כאשר הסטייה המקסימלית (פרקציה של הפרש ערך מינימלי ממקסימלי, ביחס לערך המקסימלי) עבור הספיקה הוא 13.4% והלחץ 25.99%. נשים לב כי מדובר בערכים גלובלים של סך המערכת כאשר כלל 20% המוכר לנו הוא עבור שלוחה, לכן ניתן להחשיב אחוזים אלה בפחות חומרה, אם כי מדובר עדיין בערכים שנרצה לצמצמם.

*אופטימיזצית מערכת: פרמטרי לחץ התחלתי ושילוב קטרים*

נשים לב כי קיימות לנו שתי מטרות שאנחנו רוצים להשיג עם בחירת הפרמטרים של המערכת. הראשונה הוא ספיקה נומינלית של כאשר מחשבים אותה כממוצע על כלל המערכת. השנייה היא צימצום הסטייה סביב הממוצע אשר אנחנו מחשבים אותה לפי החישוב של סטייה מקסימלית (מתואר בקטע קודם) – כלומר אחידות. לשם כך קיימים שני פרמטרים שניתן לשנות לשם השגת המטרות.

הראשון זה הלחץ ההתחלתי. כמו שניתן להבין, כאשר הלחץ במערכת גבוה, ספיקות הטפטפות גבוהה ביחס אקספוננציאלי לפי משוואה XXX. בקשר זה, עבור לחצים גבוהים נקבל כי השינוי בספיקה כתוצאה משינוי בלחץ יהיה קטן יותר אילו היינו מבצעים את אותו שינוי כאשר ערכי הלחצים נמוך יותר. זאת לפי ההגדרה המתמטית של שיפוע פונקציה וכי השיפוע קטן יותר עבור לחצים גבוהים. כתוצאה מכך ניתן להבין שעבור שימוש בלחץ התחלתי גבוה יותר נקבל סטייה מקסימלית קטנה יותר בספיקה. אמנם קיימים שני אילוצים המונעים מאיתנו להשתמש בערכים גבוהים מידי. הראשון זה העובדה שנקבל ספיקה נומינלית גבוהה יותר ממה שאנחנו דורשים. השני זה לחץ העבודה המקסימלי של צינורות המערכת.

הפרמטר השני שניתן לשנות זה קוטר צינור קו המחלק. האסטרטגיה היא להשתמש בקטור המינימלי ביותר בשביל לחסוך עלויות. אמנם, שימוש בקטור גדול יותר יגרום להפסד עומד קטן יותר עבור הצינור המחלק וזה לפי משוואה XXX. דבר זה עוזר לנו בכך שניתן למגר את הירידה ההתחלתית של עומד הלחץ בצינור המחלק ובכך למנוע ירידה דרסטית בספיקת הטפטפות אשר ניתן לראות באמצע שטח המפה לפי איור XXX (b). כלומר הפרמטר הזה למעשה שולט באחוז הסטייה המקסימלית ללא קשר לערך הלחץ במערכת (בניגוד לפרמטר של לחץ ההתחלתי). יש לשים לב כי השימוש בשילוב קטרים חייב להיעשות בצורה מחושבת ומושכלת בשל שתי סיבות. הראשונה היא שאת הפסד העומד בצינור המחלק לא נרצה למגר בצורה מוחלטת, הפסד העומד למעשה מאזן את תרומת הלחץ המורווחת מהטופוגרפיה. השנייה זה העלות הכספית.

בהינתן דברים אלה, מטרתנו זה למצוא את הערך של הלחץ ההתחלתי ואת אורך מקטע הצינור המחלק שבו קוטר הצינור הוא גדול יותר, אשר יגרמו לאופטימיזציה של פונקציית מטרה (אשר תורחב בהמשך). ערך קוטר הצינור הגדול הוא (הקוטר הקטן ביותר מבין הקטרים המוצעים אשר גדולים יותר מ לפי הקטלוג). בשל עומס החישוב שיש לעשות בשביל לחשב את פירוס הלחצים והספיקות בכלל המערכת, נאלצנו למצוא את הערכים האופטימליים על ידי חישוב פונקציית המטרה עבור 7 ערכים אפשריים לכל פרמטר – כלומר 49 אפשרויות. טווח ערכים של עומד לחץ התחלתי הוא כאשר עבור אורך מקטע הצינור המחלק עם קוטר של בחרנו בערכים של מקטעים (6 מטר) לאחר נקודת החיבור הראשונה של שלוחת הטפטפת לצינור המחלק.

פונקציית המטרה אמורה לשרת את שתי המטרות שהוזכרו קודם לכן. עם זאת, לשם פשטות החישוב בחרנו בפונקציית מטרה אשר תשרת את המטרה הראשונה של ספיקה נומינלית של בכלל המערכת על ידי הנוסחא XXX:

*כאשר זה מספר ה*מקטעים לאחר נקודת החיבור הראשונה של שלוחת הטפטפת לצינור המחלק ו *זה למעשה ממוצע האבסולוטי של ספיקת טפטפת מערך של . מיזעור של פונקציית מטרה זו תבטיח את כי ממוצע ספיקות הטיפטוף בכלל המערכת יהיה הקרוב ביותר ל. את התוצאות עבור חישוב פונצקציית המטרה ניתן לראות באיור XXX, כאשר הערך האופטימלי של עומד לחץ התחלתי זה ומספר המקטעים האופטימלי זה 14 – כלומר הראשונים.*

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  | איור מס' XXX, Response Surface של האופטמיזציה. ציר אופקי זה מספר הקטעים הראשוניים עם קוטר צינור מחלק של , ציר אופקי זה עומד לחץ התחלתי וצבע לפי ערך פונקציית המטרה. בנוסף מתואר באדום הערכים האופטימלים |

|  |  |
| --- | --- |
| (a) | |
|  | |
| (b) | (c) |
|  |  |
| *איור מספר XXX פריסת לחץ וספיקה בכלל המערכת עבור עומד לחץ התחלתי אופטימלי של תוך שימוש בשילוב קטרים עבור צינור מחלק. מבנה הגרפים זהה לגמרי לאיור מספר XXX.* | |

איור XXX מתאר את תוצאת הערכים האופטימליים. הדבר הראשון הבולט לעין זה השינוי בפרופיל עומד הלחץ של הקו המחלק – (a) גרף עליון. בעוד שטווח הערכים של הדוגמאת חישוב זה בערכים של , פה מדובר ב – צימצום טווח משמעותי. השוני בצורת הגרף היא בעיקר עבור המקטע של ה הראשוניים – היכן שקיים קוטר צינור גדול יותר. ניתן לראות כי במקום ירידה, קיימת עלייה מתונה בעומד הלחץ (כתוצאה מירידה בעומד רום).

נוסף על כך, ניתן לראות שיפור ויזואלי משמעותי בפירוס הספיקה והלחץ של הטפטפות בגרפים (b) ו(c): לעומת איור XXX שם ניתן לראות הפרש בהירויות ניכר בספיקה ובלחץ, פה יש יותר אחידות בבהירות – אחידות בלחץ ובספיקת הטפטפות. אמנם, כן ניתן לראות ירידה בספיקה ובלחץ עבור השטח של אמצע המפה (היכן שקוטר הצינור מתחלף לקטן יותר – הפסד עומד משמעותי יותר) ובנוסף עבור הקצה הצפון מזרחי – היכן שעומד הרום עולה עם כיוון הספיקה.

ממוצע מערכת של ספיקה של טפטפת הוא כאשר עבור לחץ זה. ערכים אלה הם האופטימלים לפי הבדיקה שהרצנו. בעוד שפונקציית המטרה לא נועדה לשם צימצום הסטייה המירבית בלחץ ובספיקה אנחנו כן קיבלנו ערכים טובים: עבור ספיקה ו עבור לחץ. חשוב להדגיש שנית כי אחוזים אלה הם גלובליים לכלל המערכת.

לוח מים

על מנת לבנות את הפן התפעולי של מערכת ההשקיה שתכננו, התבססנו על נתוני הגשם היומיים האחרונים ביותר (1.1.2021-31.12-2021) אשר חולצו ממאגר נתוני השירות המטאורולוגי הישראלי על בסיס תחנת מדידה מס' 310098 אשר ממוקמת בקיבוץ דפנה. 12 החודשים בשנה האחרונה חולקו ל3 עשרת (10 ימים) בכל חודש ולכל עשרת בוצע חישוב ממוצע יומי באופן נפרד.

דוגמת חישוב ממוצע גשמים- חודש ינואר, עשרת 2 (11.1-20.1):

*נראה לי מיותר להראות דוגמאת חישוב של ממוצע*

נתוני התאדות היחוס והמקדם הגידול זהים לאותם נתונים אשר שומשו לשם חישוב דרישת השקייה מקסימלית, לפי איורXXX.

|  |  |
| --- | --- |
| 11.1.21 | 0 |
| 12.1.21 | 0 |
| 13.1.21 | 3.8[mm] |
| 14.1.21 | 21.6[mm] |
| 15.1.21 | 0 |
| 16.1.21 | 16.8[mm] |
| 17.1.21 | 42.9[mm] |
| 18.1.21 | 4.5[mm] |
| 19.1.21 | 43.2[mm] |
| 20.1.21 | 5.5[mm] |

מכאן, על מנת לחשב את דרישת הנטו והברוטו של ההשקיה השתמשנו בנוסחה XXX

\*בעשרת בה יצא לנו ערך שלילי של דרישת השקיה זה אומר שכמות הגשם האפקטיבי הנמדדה באותה עשרת הייתה גדולה מאשר דרישת הצמח/התאדות הצמח לכן התייחסנו אל הדרישה ברוטו כאל ערך 0, שכן לא נשקה בימים אלה, ועל כן נמשיך ונראה דוגמאות חישוב מהחודשים הרלוונטיים יותר להשקיה.

דוגמת חישוב דרישה ברוטו- חודש יוני, עשרת 3 (21.6.21-30.6.21):

גשם אפקטיבי בעשרת זו = 0 מ"מ

את שאר הערכים כאמור נזניח

*מכאן חישבנו את הדרישה של כלל השטח הנטוע וחילקנו במס' הטפטפות הכולל בחלקה על מנת למצוא את דרישת ההשקיה של כל טפטפת.*

*דוגמת חישוב דרישה לטפטפת- חודש יוני, עשרת 3 (21.6.21-30.6.21):*

* סך השטח הנטוע- A(land) – 16,440
* סך מוציאי המים – N - 6848

ולבסוף, על מנת להשלים את לוח המים, נחלק את הצריכה של טפטפת בכל עשרת בערך הספיקה הנומינלית של הטפטפות אותו חישבנו בראשית התכנון-

על מנת לקבל את התוצר הסופי בלוח מים שהוא כמה שעות ביום אנו דרושים להשקות לכל עשרת במשך השנה.

דוגמת חישוב זמן הפעלה יומית- חודש יוני, עשרת 3 (21.6.21-30.6.21):

*לפי דעתי כל הדוגמאת חישוב מיותרת בגלל שכבר עשינו את אותה דוגמאת חישוב עבור הדרישה המקסימלית בתכנון המערכת.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| זמן הפעלה יומי (דקות:שעות) | זמן הפעלה יומי (שעות) | ספיקת השקייה יומית נומינלית (ליטר ליום) | ספיקת השקייה יומית של כלל שדה (מ"ק ליום) | דרישת השקייה ברוטו (מ"מ ליום) | דרישת השקייה נטו (מ"מ ליום) | גשם (מ"מ ליום) | התאדות (מ"מ ליום) | התאדות יחוס (מ"מ ליום) | מקדם גידול | עשרת | חודש |
| 01:30 | 1.49 | 2.24 | 15.34 | 0.93 | 0.84 | 0 | 0.84 | 1.4 | 0.60 | 1 | 1 |
| 00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.83 | 0.84 | 1.4 | 0.60 | 2 |
| 00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.43 | 0.84 | 1.4 | 0.60 | 3 |
| 02:07 | 2.11 | 3.17 | 21.71 | 1.32 | 1.19 | 0.05 | 1.24 | 2 | 0.62 | 1 | 2 |
| 00:00 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 8.7 | 1.28 | 2 | 0.64 | 2 |
| 02:21 | 2.34 | 3.51 | 24.03 | 1.46 | 1.32 | 0 | 1.32 | 2 | 0.66 | 3 |
| 00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.4 | 2.17 | 3.2 | 0.68 | 1 | 3 |
| 01:16 | 1.26 | 1.89 | 12.93 | 0.79 | 0.71 | 1.52 | 2.23 | 3.2 | 0.70 | 2 |
| 00:51 | 0.83 | 1.25 | 8.57 | 0.52 | 0.47 | 1.82 | 2.29 | 3.2 | 0.72 | 3 |
| 02:48 | 2.78 | 4.18 | 28.59 | 1.74 | 1.57 | 1.52 | 3.09 | 4.2 | 0.73 | 1 | 4 |
| 05:26 | 5.42 | 8.13 | 55.64 | 3.38 | 3.05 | 0.12 | 3.17 | 4.2 | 0.75 | 2 |
| 05:47 | 5.77 | 8.66 | 59.31 | 3.61 | 3.25 | 0 | 3.25 | 4.2 | 0.77 | 3 |
| 08:11 | 8.17 | 12.26 | 83.94 | 5.11 | 4.60 | 0 | 4.60 | 5.8 | 0.79 | 1 | 5 |
| 08:23 | 8.37 | 12.56 | 85.98 | 5.23 | 4.71 | 0 | 4.71 | 5.8 | 0.81 | 2 |
| 08:35 | 8.57 | 12.85 | 88.02 | 5.35 | 4.82 | 0 | 4.82 | 5.8 | 0.83 | 3 |
| 10:17 | 10.28 | 15.42 | 105.58 | 6.42 | 5.78 | 0 | 5.78 | 6.8 | 0.85 | 1 | 6 |
| 10:17 | 10.28 | 15.42 | 105.58 | 6.42 | 5.78 | 0 | 5.78 | 6.8 | 0.85 | 2 |
| 10:17 | 10.28 | 15.42 | 105.58 | 6.42 | 5.78 | 0 | 5.78 | 6.8 | 0.85 | 3 |
| 10:08 | 10.13 | 15.19 | 104.03 | 6.33 | 5.70 | 0 | 5.70 | 6.7 | 0.85 | 1 | 7 |
| 10:08 | 10.13 | 15.19 | 104.03 | 6.33 | 5.70 | 0 | 5.70 | 6.7 | 0.85 | 2 |
| 10:08 | 10.13 | 15.19 | 104.03 | 6.33 | 5.70 | 0 | 5.70 | 6.7 | 0.85 | 3 |
| 09:23 | 9.37 | 14.06 | 96.27 | 5.86 | 5.27 | 0 | 5.27 | 6.2 | 0.85 | 1 | 8 |
| 09:23 | 9.37 | 14.06 | 96.27 | 5.86 | 5.27 | 0 | 5.27 | 6.2 | 0.85 | 2 |
| 09:23 | 9.37 | 14.06 | 96.27 | 5.86 | 5.27 | 0 | 5.27 | 6.2 | 0.85 | 3 |
| 07:52 | 7.86 | 11.79 | 80.74 | 4.91 | 4.42 | 0 | 4.42 | 5.2 | 0.85 | 1 | 9 |
| 07:52 | 7.86 | 11.79 | 80.74 | 4.91 | 4.42 | 0 | 4.42 | 5.2 | 0.85 | 2 |
| 07:52 | 7.86 | 11.79 | 80.74 | 4.91 | 4.42 | 0 | 4.42 | 5.2 | 0.85 | 3 |
| 05:15 | 5.24 | 7.86 | 53.83 | 3.27 | 2.95 | 0 | 2.95 | 3.5 | 0.84 | 1 | 10 |
| 04:48 | 4.80 | 7.20 | 49.29 | 3.00 | 2.70 | 0.21 | 2.91 | 3.5 | 0.83 | 2 |
| 03:56 | 3.93 | 5.90 | 40.37 | 2.46 | 2.21 | 0.66 | 2.87 | 3.5 | 0.82 | 3 |
| 03:02 | 3.02 | 4.53 | 31.03 | 1.89 | 1.70 | 0 | 1.70 | 2.1 | 0.81 | 1 | 11 |
| 00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.01 | 1.68 | 2.1 | 0.80 | 2 |
| 01:33 | 1.53 | 2.30 | 15.76 | 0.96 | 0.86 | 0.79 | 1.65 | 2.1 | 0.79 | 3 |
| 01:48 | 1.79 | 2.69 | 18.43 | 1.12 | 1.01 | 0 | 1.01 | 1.3 | 0.78 | 1 | 12 |
| 01:47 | 1.77 | 2.65 | 18.17 | 1.11 | 0.99 | 0 | 0.99 | 1.3 | 0.77 | 2 |
| 01:45 | 1.74 | 2.61 | 17.90 | 1.09 | 0.98 | 0 | 0.98 | 1.3 | 0.75 | 3 |

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.‏