

עמק המעיינות

שם בית הספר: גאון הירדן דרכא

מחוז: צפון

סמל ביה"ס:



מגמת הנדסת מכונות

מכטרוניקה

עבודת גמר 5 יח"ל (843589)

הנושא: טפטפת בקרה

מגישים: דניאל לרמן רן טננהאוז

מנחים: אלחנדרו שניר

שנה"ל: תשע"ז 2017

## תוכן

|    |                                  |
|----|----------------------------------|
| 5  | הבעת תודה                        |
| 6  | הצעת עבודת הגמר                  |
| 9  | הגדרת הבעיה                      |
| 9  | מבוא                             |
| 10 | מחקר גישוש                       |
| 11 | דרישות                           |
| 11 | תאור מלבני                       |
| 12 | רפלקציה                          |
| 13 | איסוף המידע                      |
| 13 | רפלקציה (איסוף מידע)             |
| 14 | פתרונות חלופיים                  |
| 14 | פתרון א' (שם הפתרון, מאת התלמיד) |
| 14 | סקיצה                            |
| 14 | מבנה                             |
| 14 | אופן פעולה                       |
| 14 | יתרונות                          |
| 15 | חסרונות                          |
| 15 | מידע נחוץ ליישום הפתרון          |
| 15 | רפלקציה (תאור פתרון)             |
| 16 | פתרון ב' (שם הפתרון, מאת התלמיד) |
| 16 | סקיצה                            |
| 16 | מבנה                             |
| 16 | אופן פעולה                       |
| 16 | יתרונות                          |

|    |                                  |
|----|----------------------------------|
| 17 | חסרונות                          |
| 17 | מידע נחוץ ליישום הפתרון          |
| 17 | רפלקציה (תאור פתרון)             |
| 18 | פתרון ג' (שם הפתרון, מאת התלמיד) |
| 18 | סקיצה                            |
| 18 | מבנה                             |
| 18 | אופן פעולה                       |
| 18 | יתרונות                          |
| 19 | חסרונות                          |
| 19 | מידע נחוץ ליישום הפתרון          |
| 19 | רפלקציה (תאור פתרון)             |
| 20 | בחירת פתרון מתוך חלופות          |
| 20 | תיאור תהליך הבחירה               |
| 21 | תיאור מורחב של הפתרון הנבחר      |
| 21 | רפלקציה                          |
| 22 | מימוש הפתרון                     |
| 22 | תיעוד תהליך הבניה                |
| 22 | מפגש 1                           |
| 22 | מפגש 2                           |
| 22 | מפגש 3                           |
| 22 | מפגש 4                           |
| 22 | מפגש 5                           |
| 22 | מפגש 6                           |
| 22 | מפגש 7                           |
| 22 | מפגש 8                           |
| 22 | מפגש 9                           |
| 22 | מפגש 10                          |

|    |                     |
|----|---------------------|
| 23 | תכן הנדסי - חישובים |
| 24 | תוכנה               |
| 24 | רפלקציה             |
| 25 | הערכה מסכמת         |
| 26 | מילון המונחים       |
| 27 | משוב עצמי           |
| 28 | מראי מקום           |

# הצעת עבודת הגמר

מגמת התמחות בקרה במכונות

נושא הפרויקט: טפטפת בקרה

|                        |                                  |
|------------------------|----------------------------------|
| שם המנחה: אלחנדרו שניר | תואר: BSc Mechanical Engineering |
| שמות התלמידים          |                                  |
| 1. דניאל לרמן          | ת"ז: 314813908                   |
| 2. רן טננהאוז          | ת"ז: 322759614                   |
| 3.                     | ת"ז:                             |

3. חלוקת משימות בצוות

| שם התלמיד  | תיאור המשימה                                                                                                                                                                    |               |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| דניאל לרמן | נדרשנו במהלך העבודה להגדיר את הבעיה שאנחנו בעצם לה נציע את הפתרון. הבעיה שלנו היא שיש סתימות במערכות השקיה ואין בקרה בזמן אמת לזיהוי סתימות אלו                                 | 1הגדרת הבעיה  |
| רן טננהאוז | במהלך העבודה היינו צריכים להציב דרישות למערכת, לדוגמה באילו תנאים המערכת צריכה לפעול, הגדרת המגבלות שעומדות בפנינו ושהדרישות יהיו תואמות למגבלות, למשל טפטפת הבקרה צריכה להישאר | 2הגדרת דרישות |

|            |                                                                                                                                                                                  |                  |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
|            | בצבעה הכהה מכיוון שיש סיכוי לגידול אורגניזמים בתוך הטפטפת כתוצאה מהשמש במידה והצבע יהיה בהיר או שקוף.                                                                            |                  |
| דניאל לרמן | לכל רעיון שהועלה, הועלו גם מספר חלופות שלדעתנו יוכלו לבצע את אותה פעולה במידה ומשהו משתבש.                                                                                       | 3הצעת חלופות     |
| רן טננהאוז | החלופה המועדפת שלנו היא מתג שבעצם יפעיל את מנגנון ההתראה, צריך לשלוח אות מסוג מסוים, לדוגמה בלוטוס. אנו צריכים למצוא מנגנון שיעמוד בתנאים כמו מים, שינויי מזג אוויר וכדומה..     | 4חלופה מועדפת    |
| דניאל לרמן | בכדי להביא את הרעיון למציאות היינו צריכים ליצור שרטוטים שונים למוצר, כמו שרטוטי תלת מימד וכדומה.                                                                                 | 5 שרטוטים        |
| רן טננהאוז | אנו זקוקים בפרויקט לצ'יפ אשר ישלח אות מתוך הטפטפת כאשר יש סתימה במערכת. האות שהשדר שולח ישלח למכשיר סלולרי ויתראה לחקלאי על התקלה דרך אפליקציה שתהיה במכשיר הסלולרי של החקלאי.   | 6בחירת רכיבי מדף |
| דניאל לרמן | כל תוספת שאנו מוסיפים בכדי לגרום לטפטפת לבצע את הפעולה שאנו מחפשים, היינו צריכים לחשוב גם על העלויות ואיך הן משפיעות על יוקר המוצר. המטרה היא ליצור מוצר במינימום עלויות נוספות. | 7 בירור עלויות   |
| רן טננהאוז | התמיכה והייעוץ היו בין הדברים החשובים במהלך יצירת הטפטפת, כל צעד שעשינו, דאגנו לבדוק עם אנשי מקצוע שהצעד הוא נכון/אפשרי/בלתי אפשרי                                               | 8ייעוץ ותמיכה    |
| דניאל לרמן | לכל מוצר יש שם לכן החשיבה על השם הייתה חלק מן המשימות שלנו. שם שיהפוך                                                                                                            | 9מציאת שם למוצר  |

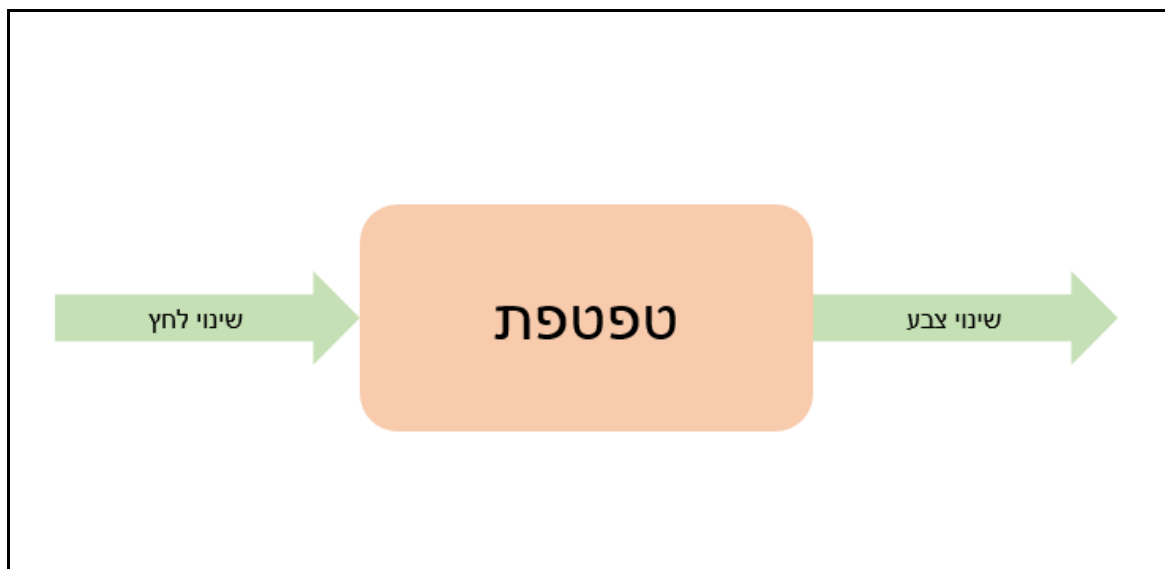
#### 4. תיאור הבעיה:

הבעיה היא שלא ניתן לזהות תקלות במערכות השקיה הפועלות באמצעות טפטפות. אי זיהוי הבעיה בזמן, יגרום לירידה משמעותית בתפקוד הטפטפת וכתוצאה מכך הגידולים החקלאיים והחקלאים עצמם נפגעים. מבחינה כלכלית, תיווצר עלייה בעלויות בכדי לתקן את הנזק שנגרם ובנוסף יידרש כוח אדם נוסף כדי להתגבר על הבעיה שלא תחזור שנית.

#### 5. תיאור עקרוני של המערכת:

המערכת תזהה שינוי בלחץ המים, וברגע ששינוי הלחץ זוהה, כתגובה, מנגנון ההתראה הנמצא בתוך הטפטפת, יופעל ואותו מנגנון ישדר אותות למכשיר סלולרי או כל מכשיר אחר שיבחר. החקלאי יוכל לזהות את התקלה בטפטפת ע"י קבלת האותות למכשירו ובכך מקבל החקלאי מידע אודות האזור בו נמצאה תקלה.

#### 6. תרשים מלבני:



#### 7. פירוט הדרישות מהמערכת:

- 1- טווח טמפרטורות מ- 5 מעלות צלסיוס עד 45 מעלות צלסיוס
  - 2- לחצים: מ 1 בר עד 4 בר
  - 3- זיהוי שינוי בלחצים הפרשים: לחץ הפרשי של 2 בר
  - 4- אורך חיים משוער: כ 5 שנים
- 

#### 8. לוח זמנים לביצוע הפרויקט

ינואר 2017-מרץ 2017 :

אפריל 2017-יוני 2017:

יולי 2017-ספטמבר 2017:

אוקטובר 2017-ינואר 2018:

---

#### 9. רשימת מקורות

חברת "נטפים"- למידע אודות הטפטפת

הגר הרדוף- דוקטור לכימיה

גיל אשוח-מהנדס חומרים

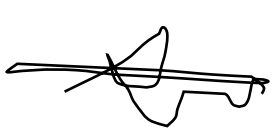
פרופסור אביר ארבל- מהנדס חומרים ומקדם פטנטים

**Paul Kaya** - עורך פטנטים

**The OSCAR Coaching Modle** - ספר קיראה

חברת **starry byte** וגופים נוספים שנתנו מענה בתחום הטכנולוגי

---

| תאריך    | חתימה                                                                               | שם המנחה     | חתימות: |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------|
| 14/03/17 |  | אלחנדרו שניר | מנחה    |
|          |                                                                                     |              |         |

## הגדרת הבעיה

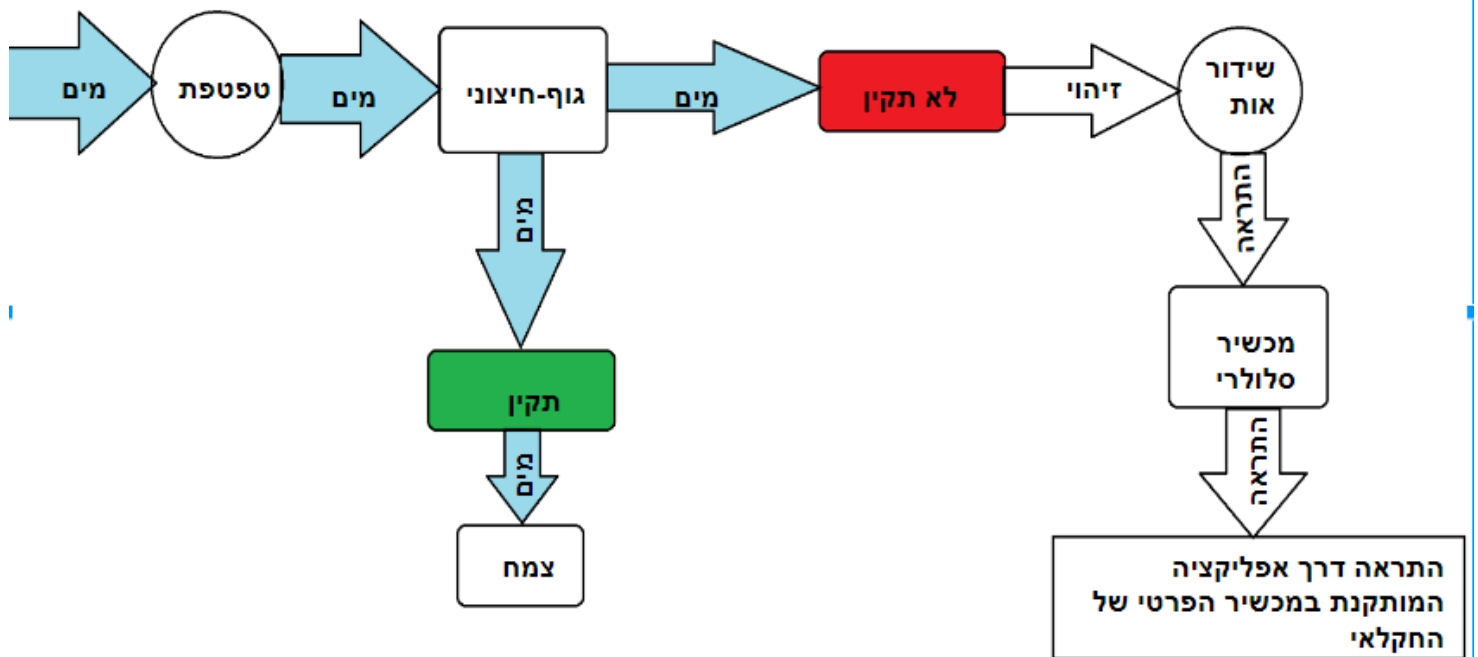
מבוא:

ראשית בחרנו בתחום ההנדסה בעקבות מספר גורמים במהלך הלימודים בתוכנית פרחי הנדסת מים. הסיבה לבחירה בהנדסה היו בהשפעתה של חברת "נטפים" שהינה חברה ישראלית מובילה בעולם ההשקיה אשר דוגלת בסיוע לעולם "לגדל יותר בפחות". זאת ועוד התחברנו לנושא מתוך רצון לפתח משהו חדש בעולם הטפטפות, מוצר שעדיין לא קיים וראינו פוטנציאל רב בתחום זה מכיוון שרק 4% מהעולם משתמש כיום במערכת השקיה באמצעות טפטפות לעומת 96% שעדיין הטפטפות לא רכשו את אמונם. תחום הנדסת המים, הוא תחום שאנו לא פוגשים בבית הספר ולא נחשפים אליו כלל במסגרות הלימוד שלנו כיום, לכן זו הזדמנות להיחשף ולעסוק בנושא זה.

## דרישות

1. המערכת צריכה לעמוד בטמפרטורה בין מינוס 5 מעלות צלזיוס ל45 מעלות צלזיוס.
2. במנגנון הזיהוי צריך להיות מותקן טווח ספיקה כלומר, מהי ספיקה תקינה (תלוי לאיזו טפטפת יתחבר המנגנון- לבחירת הצרכן) ובהתאם יוגדרו נקודות מינימום ומקסימום שאם המנגנון יזהה סטייה מנקודות אלו תישלח התראה.
3. תכנות המנגנון צריך להיות גמיש כלומר לא רק מותאם לסוג טפטפת אחת בעל ספיקה כלשהי אלא יהיה אפשר לתכנת את המנגנון לכל סוג טפטפת בעלת ספיקה שונה.
4. אורך החיים של המנגנון יחזיק כ-15 שנים- לשם כך המבנה החיצוני של המנגנון יהיה עשוי מאותו חומר שעשוי הטפטפת גם כדי למנוע הצטברות אורגניזמים במערכת וגם בכדי שאורך החיים יהיה כמה שיותר זהה לזה של הטפטפת(שהוא 10-15 שנה).
5. גודל המנגנון צריך להיות פרקטי ונכון- הגודל הרצוי אליו אנו מכוונים הוא גודל של 5x5x5 ס"מ. מאחר והמנגנון הוא גוף חיצוני המחובר לטפטפת אנו לא רוצים שהוא יפריע לגידול וגם הוא יהיה נוח וקומפקטי למשתמש.

## תאור מלבני



איור 1- תיאור מלבני של המערכת

## איסוף המידע

### השקיה בישראל:

בישראל, כמו בחלקים ניכרים בעולם, קיים מחסור במים. הסיבות למחסור במים הם מגוונות, מיקומה של ישראל, באזור מדברי ויבש יחסית שאין הרבה גשמים גורם לכך שאין הרבה מים שנאגרים והתאדות מהירה של אגמים, בנוסף העלייה ברמת החיים דורשת יותר ויותר מים והצריכה הגבוהה של מים גבוהה מאוד יחסית למאגרי המים הזמינים ולכן המשק החקלאי הגיע למצב של משבר אמתי. (רשות המים)

### דרכים להתמודדות:

על מנת להתגבר על המשבר במים ישראל פועלת בכמה דרכים. הדרך המרכזית שבה ישראל פועלת זה התפלת מים, התפלת מים זה איסוף מים מלוחים מהים או מאקוויפרים וטיפול בהם כדי שיהיו ראויים לשתייה ולהשקיה. ישראל זוכה לשבחים וידועה כמובילה בעולם בתחום התפלת המים כשקרב ל-80% מן המים לשתייה והשקיה בישראל הם מותפלים. בנוסף, ישראל פועלת למחזור מים, כלומר לקיחת מים מהביובים והפיכתם למים להשקיה. כיום כ-80% ממי הביוב בישראל ממוחזרים וזה הופך את ישראל למדינה המתקדמת ביותר בתחום מחזור מים (רשות המים).

### השקיה בטפטוף:

השקיה בטפטוף נחשבת כשיטת ההשקיה היעילה ביותר, המאפשרת לחקלאי מתן מים ודשן באופן אחיד ובמדויק. קיים הבדל בסיסי בין השקיה בטפטוף לבין כל מערכת השקיה אחרת. טפטוף היא מערכת ההשקיה היחידה שעוזרת לחקלאים גם להשקות ביעילות ולחסוך מים ודשן וגם להגן על הקרקע ומקורות המים מפני זיהום (אתר נטפים).

## מבנה הטפטפת:



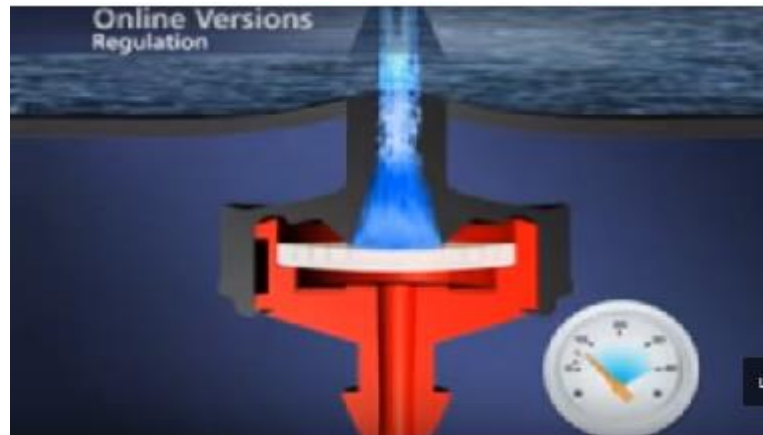
איור 2- מבנה הטפטפת (שנir 2017)

החץ הירוק מצביע על החלק המחובר לצינור ההשקיה, ודרכו נכנסים המים מצינור ההשקיה אל תוך הטפטפת. בתהליך ההרכבה של הטפטפת חלק זה מתחבר לחלק החיצוני (חץ אדום) בלחץ רב וסוגר את המערכת.

החץ הצהוב מצביע על הממברנה (המכונה גם פיס)

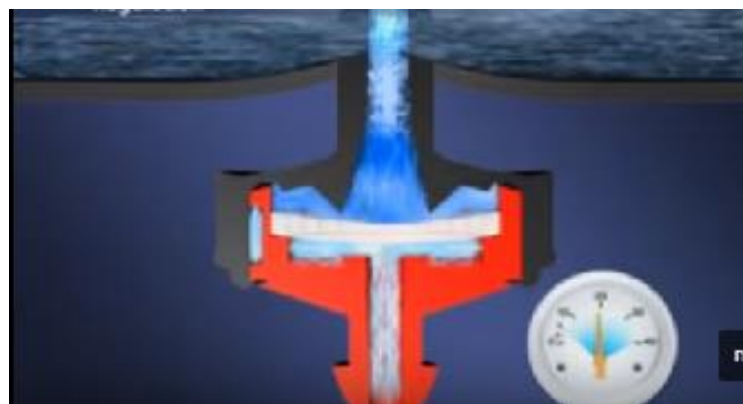
החץ האדום מצביע על החלק החיצוני של הטפטפת דרכו המים יוצאים אל הצמח, כל חלק חיצוני הוא בעל פתח יציאה בעל קוטר מסוים, סוג הטפטפת נקבע עפ"י הספיקה שמושפעת מקוטר פתח היציאה. ובנוסף לחלק זה מחוברת המסילה (מכונה גם זר) שדרכה עוברים המים.

### אופן הפעולה של הטפטפת:



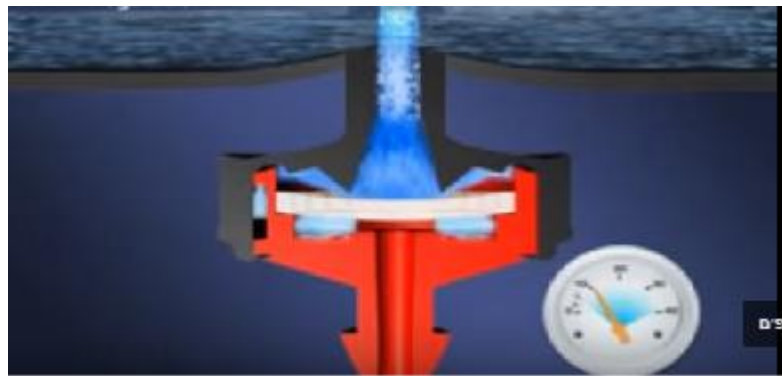
איור 3 - מים נכנסים מצינור ההשקיה לחלל הטפטפת (רגב, 2015).

ניתן לראות את השלב הראשוני במערכת השקיה בטפטוף בו מים נכנסים מצינור ההשקיה מצידה האחד של הטפטפת ומגיעים לממברנה ( הפס הלבן באיור) הנמצאת בחלל הפנימי של הטפטפת (איור 3).



#### איור 4- לחץ המים על הממברנה ויצירת הכיפוף (רגב 2015)

השלב השני באופן הפעולה של המערכת הוא מעבר המים מצידה האחד של הטפטפת ולצידה השני ויצאתם החוצה אל הצמח. לאחר שהמים מגיעים אל הממברנה מופעל עליה לחץ הגורם לכיפופה. כיפוף הממברנה היא הפעולה שבעקבותיה ניתנת האפשרות למים לעבור מצידה האחד לצידה השני (ניתן לראות שהמים עוברים מצידה של הממברנה לא דרכה) מעבר המים מתבצע דרך מסילה (המכונה גם זר) הממוקמת מסביב לממברנה ומחוברת לחלקו השני של הטפטפת (החלק הפונה אל הצמח/הגידול) (איור 4).



#### איור 5 - מעבר המים מהטפטפת אל הצמח/גידול (רגב 2015)

השלב האחרון באופן פעולת הטפטפת הוא יציאתם של המים מן הטפטפת אל הגידול. לאחר שהמים עברו במסילה הם עוברים במסלול קצר המוביל אותם אל פתח יציאתם. פתח היציאה הוא שונה בין סוגי הטפטפות, מה שמבדיל סוג טפטפת מאחרת הוא קוטר פתח היציאה (ככל שהקוטר יותר גדול כמות הספיקה היא יותר גדולה וההפך) (איור 5).

#### שימושים שונים בטפטפת:

תחומי הפעילות של הטפטפות הם בחקלאות, גינון, ופתרונות לבעיות כמו מים ברמה ירודה, מחסור במים, יוקר המים ועוד.

חקלאות- השקיה בטפטוף מאפשרת לתת לצמח בדיוק את כמות המים שהוא צריך ולקבל

ממנו את מקסימום היבול.

גיבון - השקיה בטפטוף חוסכת במים וכסף ומסייעת לבעלי גינות פרטיות ובעלי מקצוע בתחום הגיבון הציבורי להתמודדות היומיומית שלהם עם בעיית המחסור במים בישראל, ולאפשר להם לשמור על סביבה מטופחת וירוקה גם בתנאי מחסור במים (אתר נטפים).

### סתימות במערכת השקיה:

מוצקים מרחפים (TSS) - מוצקים מרחפים אלה גופים הנמצאים במים (כמו אצות, אורגניזמים, חול, אבנים ועוד) ואינם שוקעים.

הבעיה העיקרית במערכות השקיה בטפטוף בה בחרנו לעסוק ולחקור במסגרת הפרויקט, היא סתימות בטפטפות ולנסות להציע פתרונות יעילים.

המקור שמתאר בצורה הטובה ביותר את הבעיה הוא ניסוי שערכנו בשנה שעברה במסגרת הלימודים בתוכנית פרחי הנדסת מים, בו השווינו סוגי חברות שמייצרות טפטפות, בעמידות בפני מים בעלי ריכוז מוצקים מרחפים גבוה (TSS- Total Suspended Solids), שגורמים לסתימות בטפטפת, דבר אשר גורם לירידה בספיקת במים של הטפטפת וירידה בתפוקדה התקין. כתוצאה מאי זיהוי סתימות בזמן אמת יש מספר פגיעות למשל, התוצרת של החקלאי נפגעת כתוצאה מחוסר מים בעקבות הסתימה או השקיית יתר (מצב שגם יכול להתרחש כתוצאה מסתימה בטפטפת) מה שיכול להוביל להפסדים כלכליים של החקלאי מכיון שהוא צריך להשקיע במשאבים לתיקון הבעיה (החלפת מערכות השקיה המלווה בקניית ציוד חדש ויקר, כוח אדם וכו'). דבר נוסף שיכולה לגרום בעיה זו היא איבוד הביטחון במערכת. נכון להיום רק 4% מהעולם משתמש בשיטת ההשקיה בטפטוף ובעיה כמו זו יכולה להבריח לקוחות פוטנציאליים שאינם רוצים להתמודד עם בעיות מסוג זה או לא יכולים להרשות לעצמם לקחת סיכון שתהיה סתימה במערכת. בעזרת הניסוי שערכנו הצלחנו לאתר את הבעיה ולהבין את מקורה ובכך הבנו למה מערכת ההשקיה זקוקה בכדי להימנע מתקריות כאלו בעתיד.

גורמי סתימה - ניתן לומר שקיימים 3 מרכיבים המאופיינים כגורמי סתימה.

גורם פיזיקלי - חלקיקים הנמצאים במים כתוצאה מטיפול במערכות הולכת המים.

גורם כימי - משקעים של אבנית ומלחים הנמצאים במים וכן דשנים.

גורם ביולוגי - משקעים של אצות או רפש בקטריאלי. (אתר נטפים)

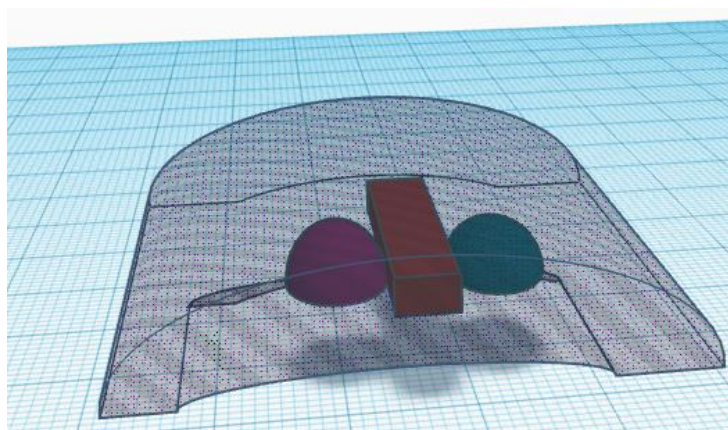
טבלה מס' 1-דוגמאות לגורמים שונים של סתימות-

| גורם פיזיקלי                | גורם כימי                            | גורם ביולוגי                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| חול                         | אבנית                                | אצות                              |
| סילט                        | גבס (בערבה) או שימוש בחומצה גופריתית | זואופלנקטון- סרטנים ירודים        |
| חרסית                       | דשנים                                | ביופילס                           |
| חלקיקים מטיפולי ותיקון צנרת | שומנים                               | חמצן של חיידקי-ברזל, מנגן וגופרית |
| חלקיקים של חומר אורגני      |                                      |                                   |

## פתרונות חלופיים

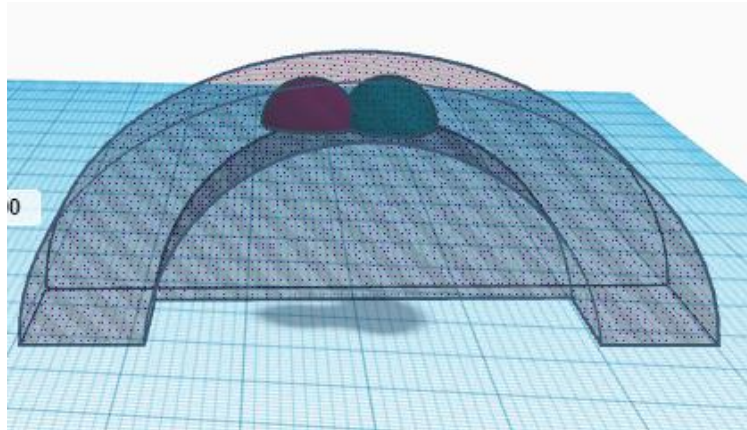
פתרון א' (אפקט הסטיקלייט, דניאל)

סקיצה:



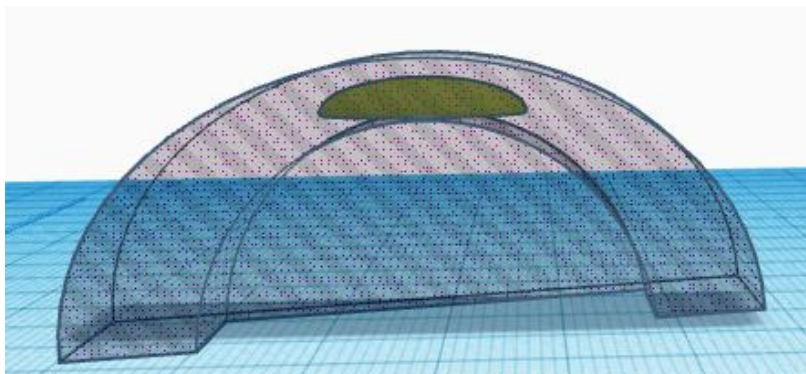
איור 6- המצב הראשוני במערכת

ניתן לראות את הממברנה במצב התקין. בתוך הממברנה נמצאים שני החומרים (בצבע ורוד וכחול) וביניהם המחיצה המונעת יצירת תגובה. החומרים הנבחרים יוזרקו אל הממברנה. (איור 6).



איור 7- כיפוף יתר של הממברנה ושבירת המחיצה

ניתן לראות את הממברנה בכיפוף יתר כתוצאה מלחץ הנוצר על הממברנה בעקבות הסתימה וכתוצאה המחיצה נשברת והחומרים יוצרים תגובה (איור 7).



איור 8- תוצר התגובה

בעקבות התגובה התקבל תוצר סופי שהוא חומר זוהר/ פיגמנטי הניתן לזהות דרך הטפטפת ע"י זיהוי ארגונומי (איור 8).  
זיהוי ארגונומי- זיהוי על ידי עין מזוינת.

## אופן פעולה:

בתוך הממברנה נמצאים שני חומרים כימיים וביניהם מחיצה אשר מונעת תגובה. כאשר ישנה סתימה בטפטפת נוצר לחץ על הממברנה, אותו לחץ גורם לממברנה להתכוף יותר מהמצב הרצוי והמחיצה תשבר בעקבות כך. לאחר שבירת המחיצה שני החומרים התערבבו ויגיבו אחד עם השני והתוצר הסופי יהיה חומר זוהר או בעל פיגמנט הבולט לעין של החקלאי. זיהוי מנגנון ההתראה מתבצע ע"י זיהוי ארגונומי בלבד, מאחר והראקציה מתרחשת בתוך הטפטפת, חלקה החיצוני של הטפטפת יהיה שקוף.

## יתרונות:

- השינוי במבנה הטפטפת הוא מינימלי- מאחר והשינוי במבנה הטפטפת מתבצע רק בממברנה ואין השפעה על המבנה הכללי, בכך נמנעים מהתעסקויות שונות בגורמים שונים.
- הכנסת החומרים לא תצרוך הרבה משאבים והפיגמנט עצמו זול, ולכן עלות המוצר לא תושפע בצורה משמעותית מהשינוי.
- אופן הזיהוי הוא ע"י זיהוי ארגונומי בלבד. זיהוי ארגונומי בלבד של סתימה בשטח משנה בצורה משמעותית את שגרת העבודה היומיומית של החקלאי, בכך שהעובדים של החקלאי לא יצטרכו יותר לעבור טפטפת טפטפת ולבדוק האם המים יוצאים מן המערכת כראוי, כלומר האם ספיקת הטפטפת קטנה או גדלה, או האם הטפטפת נסתמה. יתרון זה מביא לכך שהחקלאי יוכל לתת משימות אחרות לעובדיו במקום השעות הרבות שהם מבזבזים בשטח בחיפוש אחר סתימות
- פעולה עצמאית לזיהוי הסתימה- המנגנון התראה פועל באופן עצמאי מוחלט, אין התערבות של כוח אדם בהפעלת או הפסקת המנגנון.
- אין צורך בתחזוקת המערכת- ברגע שהתרחשה ראקציה והחקלאי או העובד זיהה זאת, החקלאי יודע לטפל בבעיה באופן בה יבחר ואת המוצר הוא זורק ומחליף במוצר חדש המוכן לראקציה הבאה בעת הצורך.

## חסרונות:

- על מנת שחלופה זו תעבוד, הטפטפת צריכה להיות שקופה כדי שיהיה אפשר להבחין בפיגמנט או בחומר הזוהר. הבעיה הנובעת מכך היא בייצור טפטפת שקופה והנחתה בשטח בו יש חשיפה רבה לשמש שתגרום להיווצרות אורגניזמים חיים במערכת שישפיעו באופן ישיר על המערכת. דרך להתמודדות עם החיסרון- להשתמש בפיגמנט הניתן לזיהוי על ידי דרכים שאינם דורשים זיהוי בעין מזוינת כלומר ע"י מכשיר שמאתר חיצוני את התגובה שהתרחשה בתוך המערכת.
- טפטפת שקופה היא יקרה יותר. להתייקרות המוצר בעקבות החומרים הכימיים צריך להביא פלסטיק שקוף שבו השתמשו להזרקת התבניות במפעל בשונה מהפלסטיק שמשמשים בו כעט.
- החדרת החומרים הכימיים אל תוך הממברנה מורכבת מאוד מאחר והממברנה עשויה מ- 100% סיליקון אנו צריכים ליצור חלל ריק בתוכה אליו נזריק את החומרים הכימיים. שינוי זה מתחיל עוד במפעל וייצור הממברנה, נכון לעכשיו הממברנה מיוצרת ע"י הזרקת סיליקון לתבנית ואילו בחלופה זו אנו צריכים לשנות את תהליך הייצור מאחר ואנו רוצים ליצור חלל ריק בממברנה. חסרון זה הוא חסרון בעל משקל משמעותי בבחירת החלופות מכיוון שאנחנו מוסיפים לנו עוד תהליך ייצור מעבר לייצור הפטנט, דבר זה יוביל להתייקרות המוצר.
- הסיליקון היא שהסיליקון הוא חומר צפוף ולכן צריך לשנות את מבנה הממברנה בשביל להכניס חומר אחר ודבר זה דורש משאבים נוספים ויכול לייקר את המוצר.

## מידע נחוץ ליישום הפתרון:

### מבנה הממברנה-

הממברנה עשויה מ-100% סיליקון. הסיליקון הוא שם כולל לתרכובות פולימריות המכילות את היסוד צורן. הסיליקון ממעט להגיב עם חומרים כימיים, עמיד בחום, גמיש, ובעל מגוון רחב של שימושים כגון: כלי מטבח, אביזרים רפואיים, חומרי אטימה, שתלים ועוד. הפולימר הוא חומר הניתן לשינוי בקלות, ועל ידי שינויים קטנים ופשוטים בחומר ניתן ליצור מגוון רחב של תרכובות, בעלות מגוון רחב של תכונות כמומצבי צבירה שונים כגון נוזל, ג'ל, גמיש או פלסטיק מוצק. (הרצאה בנושא ננו-טכנולוגיה)

פולימר הסיליקון הנפוץ ביותר הוא פולידימטילסילוקסן (PDMS) (מגזין ניו טק).

תכונות ה-PDMS הן מיוחדות ומאפשרות לו להיות בסיס טוב לסיליקון:

1. ה-PDMS לא רעיל ולכן ניתן לשימוש גם במגע עם מים להשקיה.
2. ה-PDMS לא דליק ולכן אם תפרוץ שרפה הממברנות לא יידלקו.
3. ה-PDMS עמיד בטמפרטורות גבוהות ולכן גם בשדות שהטמפרטורות גבוהות הממברנה לא תושפע והטפטפת תמשיך לפעול כרגיל.
4. ה-PDMS לא מגיב עם חומרים אחרים ולכן הממברנה לא תשתנה גם אם יהיו חומרים כימיים אחרים במים להשקיה והטפטפת תמשיך לפעול כרגיל.

### הסיבות לשימוש בסיליקון:

1. הסיליקון הוא חומר נגיש וזול ולכן ניתן לייצר ממנו ממברנות בכמויות גדולות.
2. הסיליקון הוא חומר גמיש, תכונה זו מאפשרת לו להתכווץ ולאפשר למים לעבור אותו להמשך פעולת הטפטפת.
3. הסיליקון הוא חומר צפוף מאוד מכיוון שהוא מורכב בעיקר מפולימרים, תכונה זו מאפשרת לממברנה לעמוד בלחץ מים גבוה.

## הבעיה הנובעת מהיות הסיליקון צפוף:

$$Vp=m$$

צפיפות =  $p$

נפח =  $V$

מסה =  $m$

נוסחה זו מייצגת את הצפיפות. צפיפות היא המרחב שחומר תופס מקום, כלומר ככל שחומר פחות צפוף אפשר להכניס בינו חלקיקים של חומרים אחרים, אך אם החומר צפוף כתוצאה יהיה קשה יותר להכניס חומרים אחרים ואפילו בלתי אפשרי. (מכון דיווידסון) הבעיה הנובעת היא שהסיליקון הוא חומר צפוף ולכן צריך לשנות את מבנה הממברנה בשביל להכניס חומר אחר ודבר זה דורש משאבים נוספים ויכול לייקר את המוצר.

### ראקציה כימית:

ראקציה כימית היא תהליך שבו משתנה מבנה המולקולות המרכיבות את החומר. תרכובות המוצא נקראות מגיבים ואלה הנוצרות בסופה של התגובה קרויות תוצרים. מספר האטומים, מספר סוגי היסודות ומספר האלקטרונים אינו משתנה במהלך התגובה, זאת לפי חוק שימור המסה. בחלופה זו מתבצעת ראקציה שבסיומה התוצר הוא צבע זוהר ובולט לעין שהחקלאי יוכל לזהות.

### מחיצה-לחץ:

בחלופה זו הלחץ אחראי לרוב הפעולות, לחץ המים מכופף את הממברנה, לחץ גדול יותר יכופף אותה יותר, כיפוף יתר יגרום ללחץ על המחיצה שתישבר, אז מהו לחץ?

מילון:

לחץ =  $P$

כוח =  $F$

שטח =  $A$

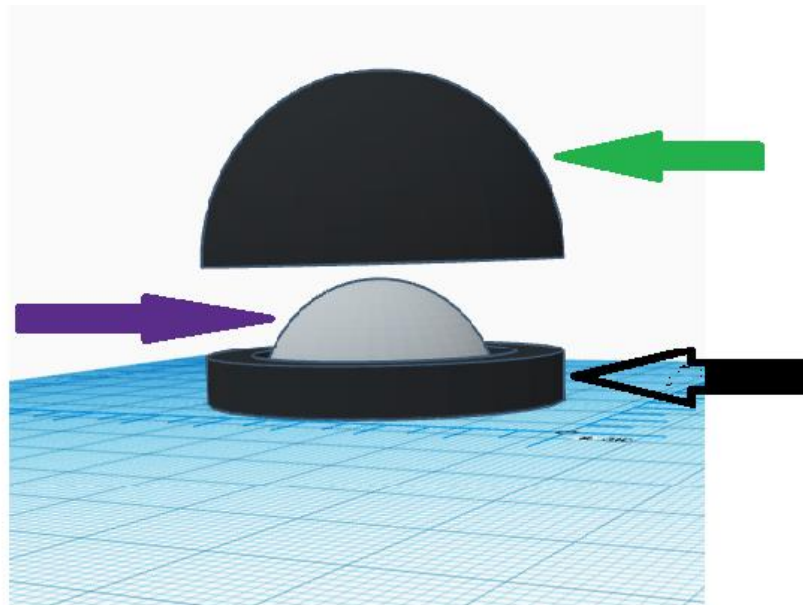
$$P = \frac{F}{A}$$

מתוך הנוסחה  $F = P \times A$  הזאת ניתן להבין כי:

מפיתוח זה ניתן להבין כי ככל שהכוח גדול יותר (F) או שהשטח עליו הוא פועל קטן יותר (A), הלחץ גדל. לדוגמה: אם ננסה לקדוח חור בקיר בלי מסמר, זה יהיה כמעט בלתי אפשרי מכיוון שהשטח פנים של המקדח הפוגע בקיר גדול יחסית, אך אם נעשה זאת עם מברג או מסמר שטח הפנים עם הפגיעה בקיר יקטן ולכן הכוח שהופעל יגדל ויהיה קל יותר לקדוח בקיר. דוגמה נוספת היא מיטת מסמרים, כשאדם ישכב על מסמר אחד, כנראה הוא המסמר יינעץ בו וייפגע בו, אבל אם נגדיל את מספר המסמרים שעליו האדם ישכב, משקל הגוף שלו יתחלק על יותר שטח ויפועל על הגוף שלו פחות כוח ולכן הוא יוכל לשכב בלי להיפגע. הלחץ והכוח חשוב לנו לעבודה מכיוון שצריך לדעת מתי הכיפוף ייתר קורה אנו צריכים לחשב את הכוח שמופעל על הממברנה בעזרת הלחץ שהמים מפעילים והשטח פנים של הממברנה. שטח הפנים ידוע לנו ממדידה של הממברנה, לחץ המים יכול להימדד על ידי ספיקה וכך אנחנו יכולים לחשב את הכוח הפועל על הממברנה בעת כיפוף יתר. כיפוף היתר יפעיל אף הוא לחץ על המחיצה הנמצאת בתוך הממברנה ובעזרת הכוח שהוא מפעיל (על ידי החישוב הקודם) נוכל להתאים את המחיצה לכוח בעזרת הגודל שלה והחוזק שלה.

## פתרון ב' (מאתר ומאותר, מאת דניאל לרמן)

סקיצה:



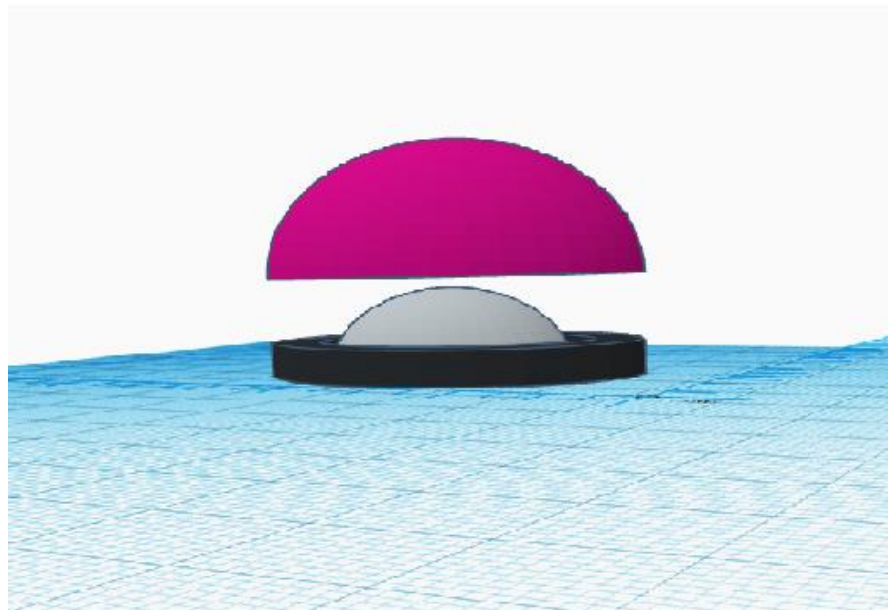
איור 9- המצב הראשוני של הטפטפת בעת כיפוף מקסימלי של הממברנה

- החץ השחור מצביע על החלק התחתון של הטפטפת המונח על האדמה. על החלק זה מונחת הממברנה (המכונה גם פיס). סביב הממברנה יש מסילה (זר) שדרכה עוברים המים בעת כיפוף הממברנה (הכיפוף נוצר כתוצאה מלחץ המים המופעל על הממברנה מצידה השני)

- החץ הסגול מצביע על הממברנה בעת כיפוף מקסימלי. בחלופה זו אנו נעזרים בכיפוף הממברנה בכדי להפעיל את מנגנון ההתראה. הממברנה מכילה את החומר הראשוני, החומר המאותר (לוציפראז) שבעת כיפוף מקסימלי של הממברנה החומר מוזרק החוצה לחלל הטפטפת ומתערבב יחד עם המים וכשהמים יוצאים מן הטפטפת החומר בא במגע עם החומר השני, החומר המאותר המצפה את החלק

החיצוני של הטפטפת ונוצרת תגובה בין השניים הגורמת לשינוי צבעה של הטפטפת בחלקה החיצוני. (פעולת הטפטפת- נטפים)

- חומר מאתר ומאותר- בחיפוש אחר החומרים לחלופה ניסנו למצוא חומרים שיגיבו יחד ויפיקו צבע זוהר וגם לא יגרמו לנזק סביבתי, החומרים שבחרנו לחלופה זו הם לוציפריין (luciferin והאנזים לוציפראז (luciferase)). הגחליליות משתמשות בחומרים הכימיים הללו להפקת האור שלהן ע"י תגובה בין שני חומרים אלו וכמובן שתוך השקעת אנרגיה מסוימת, 90% מהאנרגיה המושקעת בתגובה הופכת לאור נראה מה שהופך את תגובה זו ליעילה.
- החץ הירוק מצביע על חלקה החיצוני של הטפטפת המצופה בחומר השני, החומר המאתר (לוציפריין). בעת יציאת המים מן הטפטפת המים יוצאים עם החומר המאותר והתגובה בין השניים גורמת לשינוי צבע של חלקה החיצוני של הטפטפת.



איור 10- המצב הנוכחי לאחר התרחשות התגובה בין החומר המאתר למאותר.

### אופן פעולה:

בחלופה זו אנו מנצלים את הכיפוף המקסימלי של הממברנה לצורך הפעלת מנגנון ההתראה. המנגנון מחולק לשני חלקים, החלק הראשון מכיל את החומר המאותר והחלק השני מכיל את החומר המאתר. אופן הפעולה הוא כזה, בתוך הממברנה מוחזק האנזים לוציפראז בחלל ריק שאנו מייצרים בממברנה, בחלקה העליון של הממברנה יש חור קטן שבעת הכיפוף יגדל ויאפשר מעבר של האנזים לתוך חלל הטפטפת (פעולת הזרקה- אפשר להשוות פעולה של מזרק לכך) האנזים מובל יחד עם המים אל מחוץ לטפטפת. החלק השני הוא החלק החיצוני של הטפטפת המצופה בחומר הכימי השני שהוא לוציפרין שתפקידו הוא החומר המאתר, לאתר את האנזים בעת יציאתו מן הטפטפת. ברגע שהלוציפרין מאתר את הלוציפראז מתרחשת תגובה שמפיקה אור שמטרתו הזהרה/התראה שיש סתימה במערכת.

### יתרונות:

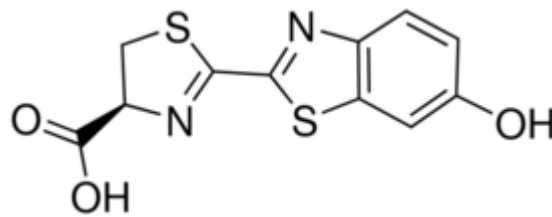
- החומרים הכימיים הנבחרים הם חומרים טבעיים מאחר והם מצויים בגחליליות מה שמפחית כמעט לגמרי את הפגיעה בטבע ברגע שהם יוצאים מן הטפטפת אל אדמת החקלאי.
- התגובה בין החומר המאתר והמאותר יוצרת צבע זוהר כך שבשעות המוקדמות של הבוקר בהם החקלאים בדרך כלל מתחילים את עבודתם, יוכלו החקלאים להבחין בקלות במנגנון ההתראה ע"י זיהוי ארגונומי בלבד.
- זיהוי ארגונומי בלבד של סתימה בשטח משנה בצורה משמעותית את שגרת העבודה היומיומית של החקלאי, בכך שהעובדים של החקלאי לא יצטרכו יותר לעבור טפטפת טפטפת ולבדוק האם המים יוצאים מן המערכת כראוי, כלומר האם ספיקת הטפטפת קטנה או גדלה, או האם הטפטפת נסתמה. יתרון זה מביא לכך שהחקלאי יוכל לתת משימות אחרות לעובדיו במקום השעות הרבות שהם מבזבזים בשטח בחיפוש אחר סתימות.

## חסרונות:

- בחלופה זו אנו ממקמים את החומר הראשוני המאותר בתוך הממברנה. דבר זה מביא לשינוי במבנה הפנימי של הממברנה במערכת, מאחר והממברנה עשויה מ-100% סיליקון אנו צריכים ליצור חלל ריק בתוכה אליו נזריק את האנזים לוציפראז. שינוי זה מתחיל עוד במפעל וייצור הממברנה, נכון לעכשיו הממברנה מיוצרת ע"י הזרקת סיליקון לתבנית ואילו בחלופה זו אנו צריכים לשנות את תהליך הייצור מאחר ואנו רוצים ליצור חלל ריק בממברנה. חסרון זה הוא בעל משקל משמעותי בבחירת החלופות מכיוון שאנחנו מוסיפים לנו עוד תהליך ייצור מעבר לייצור הפטנט, דבר זה יוביל להתייקרות המוצר.
- משך הזמן בו המנגנון יופעל- משך הזמן בו הצבע יזהר. לתגובת הזוהר צריך אנזים לוציפראז אך מאחר וכמות האנזים מוגבלת מראש (יש כמות מסוימת של האנזים בממברנה, אין הספקה אינסופית של האנזים) ידוע שגם משך זמן התגובה יהיה מוגבל. חיסרון זה מהווה בעיה בייצור המנגנון מכיוון שחקלאי יכול לפספס את ההתראה בשטח ביום מסוים ואנו מצפים מהמנגנון שיהיה מופעל בין 48-72 שעות כך שאם החקלאי פספס יום אחד, הוא בטוח יקלוט את המנגנון ביום אחר.
- הלוציפראז הוא האנזים שגורם לפעולת הפקת האור מהלוציפרין, בלעדיו התגובה תתרחש לאט מאוד. הלוציפרין יוצר עם החמצן תגובה תמידית אך באופן איטי והאנזים לוציפראז הוא זה שמזרז את התהליך ויוצר את אפקט האור החיסרון כאן הוא שאנחנו חוששים שיופק זוהר בשלב מסוים כתוצאה מהתגובה המתרחשת בין החמצן ללוציפרין מבלי שהאנזים לוציפראז הנמצא בתוך הממברנה פרץ החוצה. ("פריצת" האנזים מחוץ לממברנה היא הפעולה שקורת בעת סתימה ואם המנגנון יופעל ללא פעולה זו, יסיקו שיש סתימה במערכת דבר שעלול להטעות את החקלאי)

### מידע נחוץ:

לוציפראז לוציפרין והקשר ביניהם:



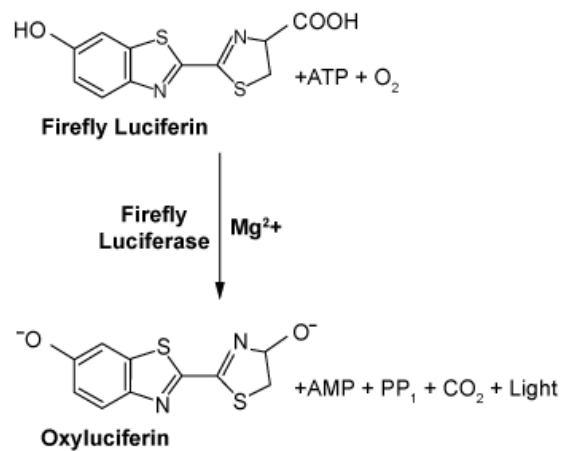
איור 11- מולקולת לוציפרין (Major Luciferin Types) .

הלוציפרין: אחראי ליצירת אור, התהליך נעשה גם באופן איתי מעצמו מכיוון שהוא מגיב עם חמצן אך התהליך מזורז כאשר יש נוכחות אנזים (לוציפראז).

לוציפראז: הלוציפראז הוא אנזים המצוי בגחליליות.

הקשר ביניהם: הקשר בין הלוציפרין והלוציפראז הוא בעיקר בגחליליות, יש מעל 200 סוגים של גחליליות, והם מתחלקים לשני משפחות שיש שוני משמעותי ביניהם. משפחה אחת היא גחליליות יום, כלומר הם פעילים ביום, המשפחה השנייה הם גחליליות לילה שהן פעילות בלילה, ההבדל ביניהם הם שגחליליות הלילה מאירות. כיצד הם מאירות? בגחליליות הלילה יש את שני החומרים עליהם כתבנו, לוציפראז ולוציפרין. כאשר הלוציפרין פועל לבדו כמות האור שהוא מייצר היא קטנה ולא יעילה, אך לגחליליות כמו שאמרנו יש את אנזים הלוציפראז, אנזים זה מגיב עם הלוציפרין וגורם לו להאיר חזק יותר, מהר יותר, ולאורך זמן ארוך יותר.

### Firefly Luciferase Reaction

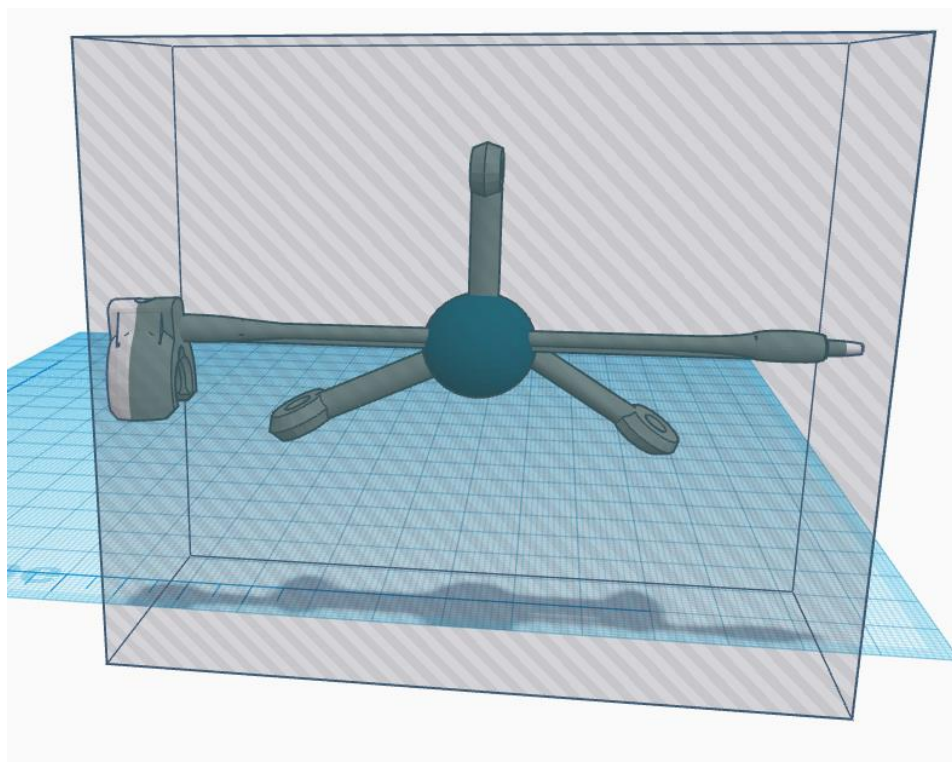


איור 12- התגובה בין הלוציפרין והלוציפראז שבסופה מתקבל האור. (Mirus)

בתגובה הנ"ל (איור 12) הלוציפרין והלוציפראז הם המגיבים ובעזרת השקעת אנרגיה. התוצרים העיקריים המתקבלים מהתגובה הם פוטון של אור ואוקיליציפירין. פוטון של אור- חלקיק בעל תכונות של גל וגם של חלקיק, אחראי על מגוון רחב של תופעות פיזיקליות כמו האור הנראה, קרינת מיקרוגל, קרינת רדיו, קרינת סלולר, קרינה מרשת החשמל, קרינת רנטגן ועוד. (אתר Radcare)

## פתרון ג' (גוף חיצוני, הקופסא השחורה מאת רן טננהאוז)

סקיצה:



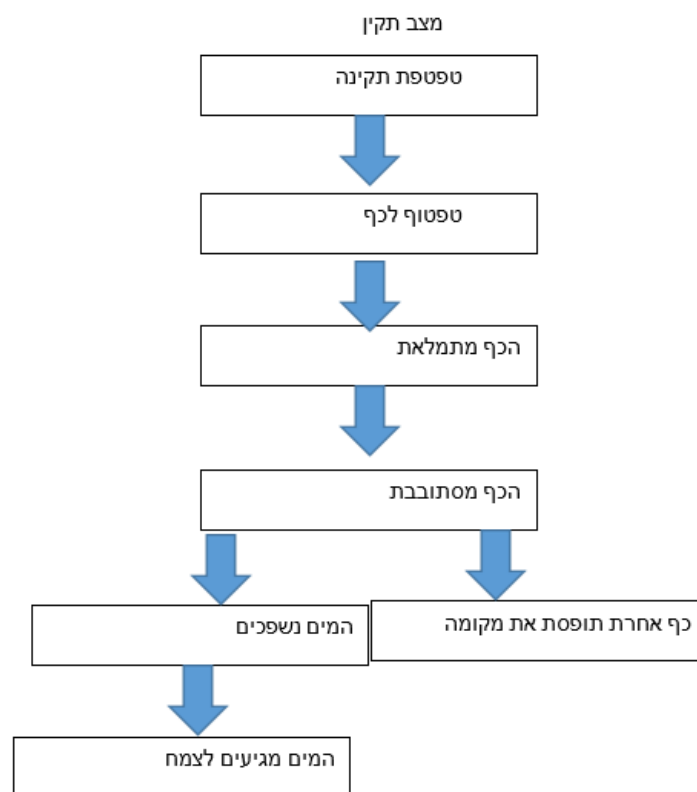
איור 13- מבנה המערכת

### מבנה: (איור 13)

- בפתרון זה אנו מציעים גוף חיצוני אשר יחובר לטפטפת, בגוף זה יהיו שני מבנים עיקריים אשר כל אחד יהיה מורכב ממספר מרכיבים:
- המבנה החיצוני- המבנה החיצוני יהיה בצורת גליל וישמור על יציבות המבנה הפנימי שבו תתבצע הפעולה.
  - המבנה הפנימי- במבנה זה תתבצע פעולת הזיהוי והיא תכלול מרכיבים שונים בעלי תפקידים שונים:
- ציר- תפקיד הציר הוא להתחבר למבנה החיצוני, לשמור על יציבות המערכת ולאפשר את סיבובם של הכפות.
- כפות- 3 כפות יהיו מחוברות לציר, כל כף תקלוט את המים מן הטפטפת ותאסוף אותה עד אשר תגיע למשקל מסוים ולאחר מכן תסתובב הכף, וכף אחרת תקלוט את המים מן הטפטפת, תפקיד הכפות הוא לאסוף את המים.

מעצור- תפקיד המעצור הוא לדאוג שהכף שבאה תיעצר בנקודה מסוימת ותאסוף מים ולאחר שתגיע למשקל היא תיפול והכף שבאה במקומה תעצר באותה הנקודה. שדר- השדר יהיה מחובר למבנה החיצוני בנקודה בה הכפות ייעצרו, תפקיד השדר הוא לשלוח אות כאשר אחת הכפות נשארה במקום למשך זמן ארוך יותר ממה שהוגדר.

### אופן פעולה:



איור 14- תרשים פעולה

המים המועברים מהטפטפת לגוף החיצוני (איור 14) מגיעים לגלגל הבנוי מכפות המחוברות אליו וכאשר הכף מתמלאת, היא מסתובבת כלפי מטה ושופכת את המים שממשיכים לכיוון הצמח, בשעה שכף אחרת מגיעה במקום הכף שהתמלאה ומבצעת את אותה הפעולה.



איור 15- המשך תרשים פעולה

כאשר הטפטפת נסתמת, הספיקה יורדת, ולכן המים שמגיעים לגלגל הכפות אינם ממלאים את הכף לגמרי. השדר קולט כי הכף נשארה יותר זמן מהמצב הרגיל, ושולחת אות לטלפון הסלולרי של החקלאי. כתוצאה מכך החקלאי מבין כי ישנה תקלה בטפטפת וכך הוא יודע כי הוא צריך לטפל בבעיה.

## יתרונות:

- הגוף החיצוני אינו חלק מהטפטפת לכן אין צורך בשינוי המבנה הפנימי של המערכת.
- המים הנכנסים לתוך הקופסה השחורה גם יצאו מן הקופסה וישקו יבול בדיוק כמו טפטפת רגילה, כלומר טפטפת הבקרה גם תשקה יבול.
- מאחר והמנגנון ניתן לתכנות יהיה ניתן לחבר את המנגנון לסוגים שונים של טפטפות ולא רק לסוג טפטפת אחת. יתרון זה מאפשר פתרון לקהל ליותר רחב מאחר שלא כל שדה חקלאי משתמש באותו סוג טפטפת ומשקה אותו סוג יבול.
- הפתרון נותן מלנו הזדמנות לחבר בין עולם החקלאות לעולם הטכנולוגי שנעשה זמין וקל שלמשתמש.
- המוצר לא מצריך תחזוקה המנגנון הוא גוף חיצוני ברגע שזיהה תקלה והתריאה לחקלאי יזרקו את הטפטפת הלא תקינה ויחברו את המנגנון לטפטפת חדשה.

## חסרונות:

1. גדול יחסית לטפטפת- טפטפת הינה דבר קטן יחסית, הגוף החיצוני גדול מהטפטפת פי 5-6 אך הגוף החיצוני יותקן אחד לכמה מאות מטרים.
2. עלות גדולה יחסית לטפטפת- טפטפת עולה בממוצע פחות משקל, המערכת עלולה לעלות בין 20-40 שקל, המערכת מונעת הפסד של אלפי שקלים ולכן העלות מוחזרת.

## מידע נחוץ ליישום הפתרון:

חיישן- החיישנים הם רכיבים אשר מסוגלים לחוש, או להרגיש, נתונים פיזיים שונים ולהמיר אותם לאות מידע. במערכות מכניות ואלקטרוניות מקובל להשתמש בחיישנים הממירים את המידע לאות חשמלי המועבר למערכת עיבוד או בקר שמפענח אותו ופועל בהתאם. חיישנים מסוימים משדרים שני אותו שונים, קוראים לזה אות 0 או 1. אותות אלה מודיעים על ערך גבוה יותר או נמוך יותר מהערך שהוגדר לחיישן כערך רצוי. שיטה זה נועדה כדי לציין האם הערך הנמדד גבוה או נמוך מערך מוגדר. (עמרי טננהאוז, מידע בעל פה). החיישן בפרויקט שלנו מהווה מרכיב חשוב, החיישן אחראי להעברת מידע לחקלאי כי הטפטפת ישנה בעיה בטפטפת.

מעצור- מעצור הוא מרכיב חשוב בחיי היום ויום ותורם מאוד לבטיחות, מעצור משמש גם בכלי רכב לצורך האטת מהירות ובנוסף גם במסלולי נחיתה של מטוסים בשביל האטת המהירות גם כן. פעולת המעצור היא בעצם הגדלת החיכוך. איך החיכוך עוזר להאטת מהירות?  
ישנם שני כוחות חיכוך:

כוח חיכוך סטטי- הכוח הסטטי נוגע לכך שגוף יושב על גבי משטח והגוף נע רק במישור אחד, כלומר רק ימינה או שמאל או רק מעלה ומטה. כאשר הגוף מתחיל לנוע המשטח מפעיל עליו כוח נגדי המקשה על התנועה וגורם לגוף להפעיל יותר כוח בכדי לזוז, כוח זה הוא הכוח הסטטי. הכוח הסטטי הוא מיוחד מאוד, הכוח הסטטי פועל ביחד לגוף, כלומר אם הגוף לא נע אז הכוח הוא 0, ואילו הגוף מתחיל לנוע הכוח גדל בהתאם עד שהכוח מגיע למצב של כוח סטטי מקסימלי שבו הגוף נע וכוח החיכוך הסטטי נשאר קבוע (מכון דיווידסון). כוח חיכוך דינמי- כוח זה הוא פשוט יותר, כאשר שני גופים מחליקים אחד על גבי השני, הם מפעילים אחד על השני כוח קבוע והוא תמיד נמצא נגד כיוון התנועה של הגוף (מכון דיווידסון).

כוח החיכוך מתבטא במערכת עם המעצור, המעצור הוא בעצם משטח שעליו יושב הגוף וכאשר הכף מתמלאת המעצור מגיע לכוח סטטי מקסימלי ולכן הכף מורידה את המעצור, לאחר מכן שכף אחרת מגיעה כוח החיכוך מונע ממנה לרדת בעזרת כוח החיכוך.

## בחירת פתרון מתוך חלופות

### תיאור תהליך הבחירה

טבלה מס' 2- טבלת השוואות

| קריטריונים     | אחוזים | חלופה א | ציון חלופה א | חלופה ב | ציון חלופה ב | חלופה ג | ציון חלופה ג |
|----------------|--------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|
| 1. זיהוי       | 30%    | 7       | 2.1          | 8       | 2.4          | 10      | 3            |
| 2. עלות ייצור  | 25%    | 5       | 1.25         | 2       | 0.5          | 7       | 1.75         |
| 3. נוחות ייצור | 15%    | 3       | 0.45         | 3       | 0.45         | 4       | 0.6          |
| 4. אורך התראה  | 10%    | 8       | 0.8          | 5       | 0.5          | 10      | 1            |
| 5. אורך חיים   | 20%    | 2       | 0.4          | 4       | 0.8          | 8       | 1.6          |
| סה"כ           | 100%   |         | 5            |         | 4.65         |         | 7.95         |

#### חשיבות הקריטריונים:

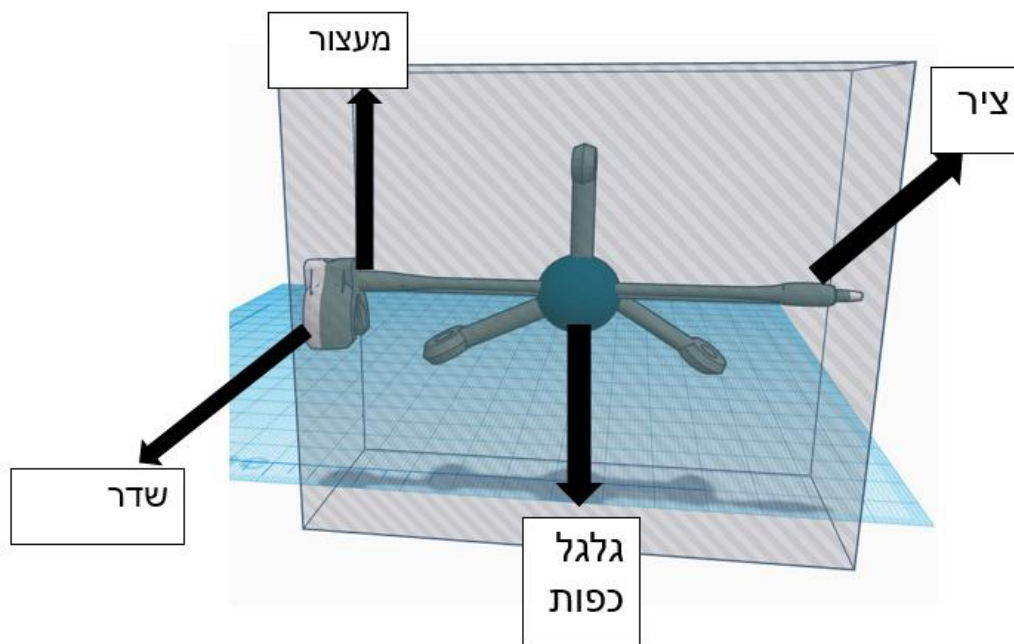
1. זיהוי- אופן הזיהוי בכל חלופה משפיע על יעילות המוצר. כלומר, אם הזיהוי מתבצע ע"י זיהוי ארגוני או ע"י אפליקציה. לאופן הזיהוי יש משקל רב בתהליך בחירת החלופות מכיוון שאנו מסתכלים מה יותר יעיל לצרכן ואם נשווה בין זיהוי ארגוני שמצריך עובדים/ שיצא/ בשעות עבודתם ויבזבזו את זמנם אחר חיפוש סתימות ואילו התראה דרך אפליקציה במכשיר הסלולרי של הצרכן המונעת יציאה מיותרת לשטח, אלא רק לטפטפת עם הסתימה שבה הופעל המנגנון והאפליקציה מכוונת את הצרכן ישר למיקום המדויק בו היא נמצאת.
2. עלות ייצור- כמובן שניתן לייצר כל פטנט וכל מוצר אך האם יהיה מי שישקיע וישא בעלויות. כל חלופה שתוכננה במהלך הפרויקט נזקקה למרכיבים שונים שיאפשרו את פעולתה, חלקם זולים וחלקם יקרים מאוד. מאחר וטפטפת היא מוצר מאוד זול בשוק, חשוב לנו לשמור על תכונה זו עד כמה שאפשר ובאותה מידה ליעל את תפקידה.
3. נוחות ייצור- טפטפת היא מוצר קל לייצור והרכבה חלק מן החלופות עוסקות בשינוי המבנה הפנימי של הטפטפת (לדוגמה הממברנה- בה רצינו לייצר חלל ריק בחלופה

א ובחלופה ב) שינוי במבנה הטפטפת מתחיל במפעל הייצור ודורש ייצור תבניות חדשות, מכונות ייצור מותאמות ומכונות הרכבה חדשות שיודעות לבצע את הפעולות החדשות שאנו דורשים. הדברים הללו דורשים השקעה כספית גדולה (באופן מסוים קריטריון זה מתקשר לקריטריון 2) ושינוי משמעותי בתהליך הייצור והרכבה.

4. אורך התראה- קריטריון זה מייצג את משך הזמן בו המנגנון מופעל. ככל שאורך ההתראה יותר ארוך המוצר הופך ליותר יעיל. אורך זמן ההתראה שאליו כיוונו הוא בין 48 ל- 72 שעות מהסיבה הפשוטה שאם החקלאי לא היה בשטח ביום מסוים או מספר שעות במהלך היום, חשוב שידע שלא משנה מתי הוא יחזור לשטח החקלאי בסופו של דבר יהיה מודע לתקלה הנמצאת במערכת ובמקרה זה החלופה שענתה על הבקשה הזו בצורה הטובה ביותר היא חלופה ג מכיוון שההתראה באמצעות הודעה או אפליקציה במכשיר הסלולרי הפרטי של החקלאי לא נמחקת וברגע שיפתח את המכשיר ההודעה תופיע.

5. אורך חיים- טפטפת רגילה מחזיקה בין 10-15 שנים חשוב לנו שגם המנגנון כחלק מהשקעת הצרכן והיצרן יחזיק מספר שנים מבלי שתפקודו יפגע. ככל שאורך החיים יותר ארוך המוצר הסופי יותר איכותי וזאת מכיוון שהצרכן ישקיע את כספו באופן חד פעמי ולא יצטרך להחליף את המנגנון כל זמן מה.

## תיאור מורחב של הפתרון הנבחר:



איור 16- מבנה המערכת

בסקיצה ניתן לראות את התוצר הסופי, התוצר בנוי מ-5 מרכיבים עיקריים והוא אחראי לבצע ארבע פעולות שונות.

בפתרון זה אנו מציעים גוף חיצוני אשר יחובר לטפטפת (יונח מתחת לטפטפת כלומר, טפטפת הבקרה תורכב כאשר פתח היציאה שלה מופנה לכיוון הקרקע) בגוף זה יהיו שני מבנים עיקריים אשר כל אחד יהיה מורכב ממספר מרכיבים:

- המבנה החיצוני- המבנה החיצוני יהיה בצורת קופסה וישמור על יציבות המבנה הפנימי שבו תתבצע הפעולה, המבנה החיצוני בשלב הקודם היה בצורת גליל, החלטנו לשנות את צורת הגליל למרובע כדי להשיג מרחב יותר גדול לחלקים הפנימיים ולשפר את יציבות המבנה על האדמה.
- המבנה הפנימי- במבנה זה תתבצע פעולת הזיהוי והיא תכלול מרכיבים שונים בעלי תפקידים שונים:

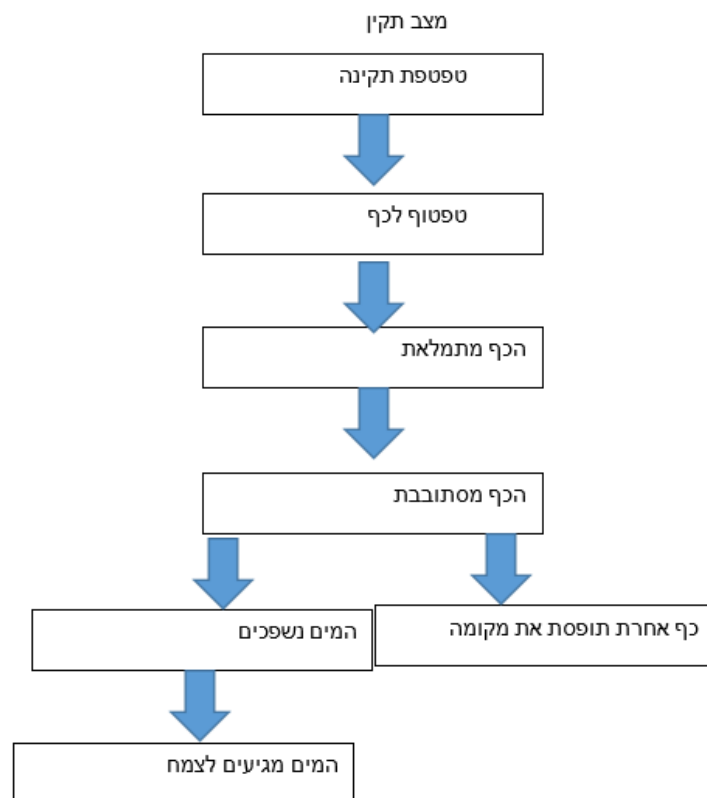
ציר- תפקיד הציר הוא להתחבר למבנה החיצוני, לשמור על יציבות המערכת ולאפשר את סיבובם של הכפות. תפקיד הציר הינו משמעותי מכיוון שאם גלגל הכפות לא יהיה יציב, ספירת הטיפות יכולה להשתבש והמערכת תזהה תקלה או אי תקלה לא נכון.

כפות- 3 כפות יהיו מחוברות לציר, כל כף תקלוט את המים מן הטפטפת ותאסוף אותה עד אשר תגיע למשקל לפי ספיקת הטפטפת שאליו תתחבר ולאחר מכן תסתובב הכף, וכף אחרת תקלוט את המים מן הטפטפת, תפקיד הכפות הוא לאסוף את המים, הכפות ינועו בעזרת הציר וידמו את תנועת הגלגל כדי לקלוט את כל המים. הפעולה תחסוך אנרגיה בכך שהיא תיעזר בכוח הכבידה.

מעצור- תפקיד המעצור הוא לדאוג שהכף שבאה תיעצר בנקודה מסוימת ותאסוף מים ולאחר שתגיע למשקל היא תיפול והכף שבאה במקומה תיעצר באותה הנקודה, המעצור הוא האחראי להורדת הכף ברגע שהיא מגיעה למשקל המיועד לה. המעצור הוא החלק שבו אפשר לשנות את המשקל שאליו רוצים שהכף תגיע, כלומר להתאים את המשקל לספיקת הטפטפת. פעולה זו תתבצע על ידי החלפת המעצור למעצור בעל כוח התנגדות גדול יותר או קטן יותר בהתאם לספיקה. אם הספיקה גבוהה יותר המעצור צריך להתנגד לכוח גדול יותר ולכן צריך להוסיף לו כוח, אם הספיקה קטנה יותר המעצור צריך להתמודד עם משקל נמוך יותר ולכן נוריד לו כוח.

שדר- השדר יהיה מחובר למבנה החיצוני בנקודה בה הכפות ייעצרו, תפקיד השדר הוא לשלוח אות כאשר אחת הכפות נשארה במקום למשך זמן ארוך יותר ממה שהוגדר. השדר הוא האחראי לזיהוי התקלה וההתרעה לחקלאי. השדר הינו החלק החשוב ביותר במערכת ובלעדיו המערכת אינה פועלת ולכן הדר צריך להיות חזק, עמיד ואמין. התהליך שקורה:

המים המועברים מהטפטפת לגוף החיצוני מגיעים לגלגל הבנוי מכפות המחוברות אליו וכאשר הכף מתמלאת, היא מסתובבת כלפי מטה ושופכת את המים שממשיכים לכיוון הצמח, בשעה שכף אחרת מגיעה במקום הכף שהתמלאה ומבצעת את אותה הפעולה.



איור 17- תיאור אופן פעולת המנגן



#### איור 18- פירוט אופן פעולה

כאשר הטפטפת נסתמת, הספיקה יורדת, ולכן המים שמגיעים לגלגל הכפות אינם ממלאים את הכף לגמרי. השדר קולט כי הכף נשארה יותר זמן מהמצב הרגיל, ושולחת אות לטלפון הסלולרי של החקלאי. כתוצאה מכך החקלאי מבין כי ישנה תקלה בטפטפת וכך הוא יודע כי הוא צריך לטפל בבעיה.

## מימוש הפתרון

### תיעוד תהליך הבניה

תוכנה- במפגש הראשון בחרנו את דרכי הפעולה והוחלט שנשתמש במנוע NXT המחובר לחיישן שמודד את זווית הסיבוב של המנוע, בנוסף בחרנו בתוכנת מחשב איתה נבנה את האלגוריתם (הקוד).

במפגש השני בנינו את האלגוריתם כך שיתאים לדרישת המערכת ונקבל את התוצאה המדויקת ביותר.

בנייה- בכדי לממש את הרעיון התחלנו בהעתקת דגם שכבר נבנה בעבר שגם הוא מבצע את הפעולה אותה אנחנו רוצים לבצע, ובעזרת הסרטון המציג את אופן הפעולה של המבנה בנינו את הדגם שלנו.

## הערכה מסכמת

| דרישה | סוג | דרישה הנדסית | הערות | בוצע/לא בוצע |
|-------|-----|--------------|-------|--------------|
|       |     |              |       |              |
|       |     |              |       |              |
|       |     |              |       |              |
|       |     |              |       |              |
|       |     |              |       |              |

## מילון המונחים

1. קלט- כלל הנתונים המגיעים אל המחשב או אל מכשיר אוטומטי אחר מן העולם שמחוצה לו, ההתראה לטלפון של החקלאי היא קלט שמתקבל על ידי השדר.
2. פלט- תוצר של פעולת מחשב או מכשיר אוטומטי אחר, החיישן משדר פלט לטלפון הסלולרי של החקלאי.
3. עיבוד- פעולת המרה של מוצר מצורה אחת לאחרת על ידי סדרת פעולות מסודרות הפלט מהשדר מומר להתראה בטלפון של החקלאי.
4. ממשק- האמצעים שדרכם ניתנת תקשורת בין גוף אחד לאחר, הטלפון הסלולרי והחיישן מרחק הם הממשק שדרכו נשלח האות לחקלאי..
5. אלגוריתם- דרך שיטתית לביצוע של משימה מסוימת מספר מוגדר של צעדים, החיישן והטלפון הסלולרי של החקלאי פועלים בעזרת אלגוריתם המאפשרים את פעולת המערכת.
6. חיישן מרחק- מכשיר הפולט אור לגוף וקולט את האור המוחזר ומחשב את המרחק בין הגוף לחיישן, החיישן יקלוט את מרחק הכף ממנו ואם הכף נשארת יותר זמן מהמצב הרצוי הוא ישלח פלט..
7. אות דיגיטלי- אות מדויק שניתן להגדירו על ידי מספר וניתן לזהותו, הקלט מזהה את האות הדיגיטלי הנשלח מהחיישן..
8. כח-אנרגיה הפועלת על גוף ויכולה להביא שינוי למצבו או התנגדות לכוח אחר (ניוטון), הכוח שמפעילים המים על הממברנה מכופפים אותה וכיפוף יותר יגרום למחיצה בחלופה א להישבר, ובחלופה ב להזרת החומר החוצה. בפתרון הנבחר כוח המים יסובב את הכפות.
9. מרחק- מדד מספרי לגודל של הפער בין שני גופים או אובייקטים (נמדד במטר), המרחק בין החיישן לכפות ובין הכפות למים ישפיע על פעולת המערכת.
10. מהירות- המרחק שגוף עובד ביחידת זמן (נמדד במטר לשנייה), מהירות המים הזורמים אל הטפטפת קבועה ומהירות זו משיפעה על הלחץ המופעל על הממברנה.
11. עבודה- שינוי באנרגיה כתוצאה מהפעלת כוח (נמדד בW), מעבר המים בספיקה קבועה נגרם מהעבודה שעושה הממברנה על המים בכך שהיא מאפשרת מעבר של כמות מים מסוימת והיא סופגת את הכוח של שאר המים.
12. הספק- כמות העבודה המושקעת או המתקבלת בפרק זמן מסוים (נמדד בP), כמות

המים שיוצאים מן הטפטפת הם ספיקה (הספק) סתימה בטפטפת היא בעצם ירידה בספיקת המים..

13. תנועה סיבובית- תנועה של עצם הנע במסלול מעגלי סביב נקודה מסוימת או ציר,

בפתרון הנבחר המים מסובבים את הכפות בתנועה סיבובית סביב הציר על ידי הפעלת כוח.

14. סל"ד- סיבובים לדקה, החיישן יוגדר כך שמספר סיבובים מסוים בדקה זה מצב תקין, אם יהיו יותר או פחות סיבובים מהמצב שהוגדר החיישן ישדר.

15. מומנט- תוצאה של הפעלת כח על גוף במרחק מסוים מנקודת הנ.ש.מ (נקודת שיווי המשקל), המים המגיעים לכפות ייצרו מומנט אשר יגרום לסיבוב הכפות.

## מראי מקום

אתר נטפים

<http://www.netafim.co.il/>

מגזין ניו טק., (2015) דבקים טכניים תעשייתיים, אוחר בתאריך 24/717 בקישור:

<http://www.new-techonline.com/2015/07/%D7%93%D7%91%D7%A7%D7%99%D7%9D-%D7%98%D7%9B%D7%A0%D7%99%D7%99%D7%9D-%D7%AA%D7%A2%D7%A9%D7%99%D7%99%D7%AA%D7%99%D7%99%D7%9D/>

מכון דיווידסון, (2010), חיים ברק, "מהו משקל סגולי?", אוחר בתאריך 24/717  
<https://davidson.weizmann.ac.il/online/askexpert/physics/%D7%9E%D7%94%D7%95-%D7%9E%D7%A9%D7%A7%D7%9C-%D7%A1%D7%92%D7%95%D7%9C%D7%99>

מכון דיווידסון, (2012), ירון גרוס, אוחר בתאריך 25/7/17 בקישור:  
<http://davidson.weizmann.ac.il/online/maagarmada/%D7%9B%D7%97-%D7%94%D7%97%D7%99%D7%9B%D7%95%D7%9A>

טננהאוז ע', מומחה משבבים, (שיחה בעל פה).

***Firefly Luciferase Assay Kit, Mirus, reteived on 25.7.17***

<https://www.mirusbio.com/products/accessories/firefly-luciferase-assay-kit>

מהו פוטון, אתר ראדכאר, אוחר בתאריך 25.7.17 בקישור:

<http://www.radcare.co.il/%D7%9E%D7%94%D7%95-%D7%A4%D7%95%D7%98%D7%95%D7%9F/>

***Major Luciferin Types retrieved on 25.7.17:***

<http://biolum.eemb.ucsb.edu/chem/detail1.html>

ישראל ממשיכה לחסוך במים, אתר רשות המים, אוחר בתאריך 27.7.17:

[http://www.water.gov.il/Hebrew/Water-saving/Pages/israel\\_keep-saving-water.aspx](http://www.water.gov.il/Hebrew/Water-saving/Pages/israel_keep-saving-water.aspx)

סרטון טפטפת ואופן פעולה ליזה רגב, 13 באפריל 2015:

<https://www.youtube.com/watch?v=WGstPOKb6QE>

מכון דוידסון, "מדוע וכיצד גחליליות מאירות?", 3 בספטמבר 2009:

[https://davidson.weizmann.ac.il/online/askexpert/life\\_sci/%D7%9E%D7%93%D7%95%D7%A2-%D7%95%D7%9B%D7%99%D7%A6%D7%93-%D7%92%D7%97%D7%9C%D7%99%D7%9C%D7%99%D7%95%D7%AA-%D7%9E%D7%90%D7%99%D7%A8%D7%95%D7%AA-%D7%91%D7%9C%D7%99%D7%9C%D7%94-%D7%A2%D7%95%D7%93%D7%93](https://davidson.weizmann.ac.il/online/askexpert/life_sci/%D7%9E%D7%93%D7%95%D7%A2-%D7%95%D7%9B%D7%99%D7%A6%D7%93-%D7%92%D7%97%D7%9C%D7%99%D7%9C%D7%99%D7%95%D7%AA-%D7%9E%D7%90%D7%99%D7%A8%D7%95%D7%AA-%D7%91%D7%9C%D7%99%D7%9C%D7%94-%D7%A2%D7%95%D7%93%D7%93)