

הפקולטה להנדסה  
המחלקה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה

תכנון ומימוש מערכת בר המים החדש  
"אריאל 8"

פרויקט גמר המהווה חלק מהדרישות לתואר B.Sc

מוגש ע"י:  
ינון כהן – 208582643  
יגל טסה - 206767469

אחראיים אקדמיים: אלמוג גילדוב ואור שלום.  
תאריך הגשה: יוני 2023.

## תקציר.

בפרויקט זה פותחה ומומשה מערכת חכמה מתקדמת לבקרה ושליטה על בר מים חכם. התהליך התחיל עם ניתוח הדרישות המלאות והפרמטרים הנדרשים למערכת. הדרישות כללו שליטה בטמפרטורה של מים חמים וקרים, הרתחת מים, מילוי כוסות חמות וקרות לפי זמן נבחר, שליטה בזמני המילוי, תצוגה של טמפרטורת המים בזמן אמת, תצוגת משך זמן הנותר למילוי הכוס ואזהרה מפני גלישת מים מתא האחסון. לאחר ניתוח הדרישות, נבנה תרשים באמצעות סכמת בלוקים המתארת את מבנה המערכת והקשרים בין הרכיבים. לאחר מכן, בוצע תכנון החומרה, אשר כלל תכנון של רכיבים וחיבורים בתוכנת הסימולציה Multisim. במהלך תכנון החומרה, בוצעו סימולציות שנועדו לוודא את פעילות המעגל ולוודא את תקינותו. לאחר התכנון, בוצע המימוש על גבי מטריצת החיבורים, לאחר המימוש נערכו בדיקות מתאימות על מנת לוודא שהמעגלים אכן פועלים כראוי. בנוסף, בוצע תכנון PCB המוכן להדפסה עבור המערכת. לאחר מכן, המערכת כולה תוכננה ומומשה באמצעות מיקרו-בקר (ארדואינו). המערכת יושמה בעזרת שפת תכנות ייעודית המתארת את דרישות המערכת. במהלך הבדיקות במעבדה בוצע תיעוד מפורט על מדידות, תוצאות ותיקונים שבוצעו. התיעוד תרם לשיפור ביצועי המערכת ולוודא שהיא פועלת באמינות וביעילות.

## תוכן עניינים.

<b>1.</b>	<b>מבוא.....</b>	<b>3</b>
1.1.	התפתחות אספקת מי השתייה.....	3
1.2.	אספקת מי שתייה בשילוב טכנולוגיה הנדסית.....	4
1.3.	יתרונות ברי המים.....	5
1.4.	הצורך.....	5
<b>2.</b>	<b>מטרת הפרויקט.....</b>	<b>6</b>
2.1.	תנאי התכנון.....	6
2.2.	דרישות המערכת.....	7
<b>3.</b>	<b>תיאור המערכת.....</b>	<b>8</b>
3.1.	הסבר כללי על המערכת.....	8
3.2.	תכנון החומרה – סכמת בלוקים.....	8
3.3.	תכנון התוכנה באמצעות מיקרו-בקר (ארדואינו).....	14
<b>4.</b>	<b>מימוש המערכת.....</b>	<b>15</b>
4.1.	מימוש החומרה.....	16
4.2.	מימוש התוכנה באמצעות מיקרו-בקר (ארדואינו).....	31
<b>5.</b>	<b>ניסויים ובדיקות.....</b>	<b>33</b>
5.1.	מערך הניסוי.....	33
5.2.	מכשירי מדידה.....	34
<b>6.</b>	<b>תוצאות ומסקנות הפרויקט.....</b>	<b>46</b>
6.1.	תוצאות הפעלת המערכת.....	46
6.1.1.	שגיאות במערכת.....	47
6.1.2.	אתגרים במהלך הפרויקט.....	47
6.2.	מסקנות הפרויקט.....	49
6.3.	סיכום.....	50
<b>7.</b>	<b>רשימות.....</b>	<b>51</b>
7.1.	רשימת טבלאות.....	51
7.2.	רשימת איורים.....	51
<b>8.</b>	<b>נספחים.....</b>	<b>53</b>
8.1.	דפי נתונים.....	53
8.2.	קוד התוכנה של הבקר המתוכנת (ארדואינו).....	54
<b>9.</b>	<b>מקורות ספרותיים.....</b>	<b>66</b>
9.1.	מקורות.....	66
9.2.	קישורים ברשת.....	66

## 1. מבוא.

אופן צריכת מי שתייה נמצא בהתפתחות רבה בשנים האחרונות, השתלבות עולם ההנדסה בהתפתחות זו בא לידי ביטוי ביצור מערכות בקרה ושליטה על כלל הפרמטרים הנדרשים. התפתחות זו נבעה בשל צורך גדול בשיפור אספקת והנגשת מי השתייה.

### 1.1. התפתחות אספקת מי השתייה.

מימי קדם הייתה מציאת מקורות מים צורך חשוב מאין כמוהו להשרדותו של האדם ולהתפתחות הציוויליזציה.

בתחילה צריכת המים הייתה באמצעות מקורות מים טבעיים, כגון מעיינות, בורות ונחלי מים. לאחר מכן כשבני האדם התחילו לבנות את המבנים הוקמו והתווספו בארות המים למקורות הטבעיים.

השימוש במקורות המים היה באמצעות העלאת המים בדליים בעזרת כוח האדם, מאוחר יותר הומצאה מכונה הממשיכה בתפקיד זה עוד בימינו בארצות הנחשלות והנקראת 'שאדוף'. מכונת השאדוף פועלת לפי עקרון המנוף, והוא עמוד קבוע באדמה עליו מתנופפת קורה ארוכה אשר אל הצד הפונה לעבר המים קושרים חבל עם דלי ואל הצד השני הפונה לעבר היבשה קושרים שק חול שמדמה משקולת. המים מועלים ביותר קלות מכיוון והחלק הפנימי מכביד מצד השני ומקל על הדליה.



איור 1- מכונת השאדוף. השאדוף מורכב ממוט ארוך על ציר, בקצהו האחד דלי, או מצקת לשאיבת המים, ובקצהו השני משקל מאזן. המפעיל מושך את החבל עד שהכלי מלא במים ומאפשר למשקל המאזן להרים את המים. הפעלת השאדוף היא ידנית לגמרי, קל יותר למשוך את החבל כלפי מטה מאשר להרים את המים.

בהתפתחות העולם המודרני אספקת מי השתייה התקדמה לעבר השימוש בבקבוקים.

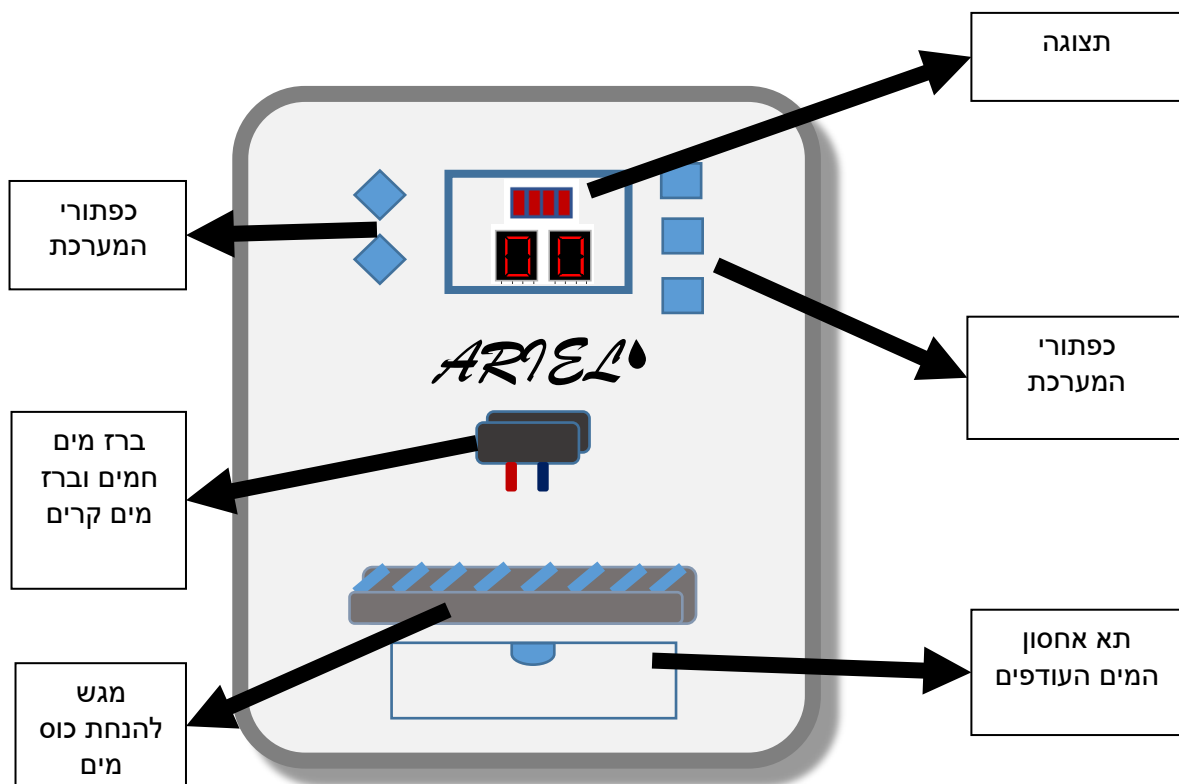
## 1.2. אספקת מי שתייה בשילוב טכנולוגיה הנדסית.

בעשורים האחרונים הגיעו לשוק ברי מים ושינוי לטובה בצורה ניכרת את דרכי צריכת מי השתייה כיום.

ברי המים עובדים בצורה חכמה ויעילה כאשר גופי החימום והקירור, מופעלים על ידי חיישנים המודדים את טמפרטורת המים מידי פרק זמן קצוב, במידה והחיישנים מזהים שינוי טמפרטורה משמעותי במים, מופעלים שוב גופי החימום והקירור המחזירים את המים לטמפרטורה הרצויה.

פעולה זו המפעילה אך ורק בעת הצורך את גופי החימום או קירור מאפשרת למתקני בר מים להיות חסכוניים ומדויקים יחסית בצריכת החשמל. בשל הרצון להפיכתם לחסכוניים אף יותר, מתקני בר מים רבים מעלים או מורידים את הטמפרטורה מעט יותר כדי לאפשר פרק זמן גדול יותר בו גוף החימום או קירור לא יפעל.

בנוסף לבקרת טמפרטורת המים, קיימות מערכות טכנולוגיות לשליטה ובקרה על כמות מזיגת המים לכוס, מזיגת מים פושרים באמצעות שילוב המים הקרים והחמים, אזהרה מפני גלישת מים עודפים, הרתחת מים, אינדיקציות המציגות בזמן אמת את מצב המכשיר באמצעות צג ונורות LED ועוד.



איור 2- תצוגת בר המים אריאל 8.

### 1.3. יתרונות ברי המים.

- מים זמינים בקלות.

כיום ידוע שצריכת מים מספקת לכל אדם היא הכרח לאורח חיים בריא ומאוזן יותר. מאוד נוח כאשר יש בר מים על השולחן בבית או במשרד המספק באופן זמין מים קרים או חמים במהירות ובכמות מספקת על ידי לחיצת כפתור. אין צורך לסחוב בקבוקים או להעביר שישיות של מים ממקום למקום, דבר אשר מסיר מעלינו מעמסה כבדה ובמיוחד עבור קשישים או אנשים שיש להם קושי או מגבלה פיזית. בר המים גורם לכך שהמשתמשים השונים שותים יותר, בגלל הזמינות והנוחות. יתרון זה תקף למבוגרים וגם לילדים כאחד.

- ידידותי לסביבה.

מדי שנה מגיעים אל האשפה מיליוני בקבוקי מים מפלסטיק מתוך מיליארדים שנמצאים בשימוש ברחבי העולם. מדובר בנזק משמעותי לסביבה ממנו אפשר להימנע באמצעות בר מים. בר מים הוא מכשיר אשר מספק מי השתייה וניתן למלא באמצעותו בקבוקים ריקים ובכך לעשות בהם שימוש חוזר. מלבד זאת, אפשר לוותר על הצורך בבקבוק ולמזוג מים ישירות לכוס רב פעמית בנוחות מקסימלית ובכך לסייע לצמצום את המספרים העצומים של מוצרי פלסטיק אשר נזרקים ומזיקים לסביבה.

- חיסכון כספי.

אם עד עכשיו הייתם משקיעים את הכסף ברכישת בקבוקים של מים מינרלים, לאחר רכישת בר מים לא תצטרכו לעשות זאת יותר ותוכלו ליהנות מחיסכון מרבי. למרות שצפוי כי תשקיעו על רכישת המתקן, אולם מלבד זאת לא יהיו לכם הוצאות מרובות על תפעול ותחזוקה. בר מים זו דרך חסכונית לשתות יותר מים ובגלל זה היא מועדפת על רבים. כאשר תהיו צמאים אינכם צריכים לרכוש מים, המים במתקן זמינים עבורכם סביב השעון וכל שעליכם לעשות הוא פשוט למזוג, במבט לעתיד, זו השקעה משתלמת לכל הדעות.

### 1.4. הצורך.

כפי שראינו, ישנו צורך גדול ויתרונות רבים בשימוש בבר מים. פיתוח בר המים "אריאל 8" ייתן מענה בנושא וישפר משמעותית את איכות החיים שלנו.

## **2. מטרת הפרויקט.**

מטרת הפרויקט היא ליצור בר המים הנקרא "אריאל 8" אשר הינו מכשיר חשמלי נוח וקל לתפעול שמנגיש ומספק מי שתייה קרים וחמים ושמירתם בטמפרטורה הרצויה. בר המים מקרר או מחמם את המים עד לטמפרטורה שהוגדרה לו בעת תכנונו באמצעות שימוש בחיישנים ומערכות בקרה המתוכננות באמצעות רכיבי מעבדה. בנוסף לכך, מטרת הפרויקט היא למידה עמוקה של תכנון ובניית מערכת חשמלית עד הפרטים הקטנים על ידי סימולציות ומימוש אלקטרוני.

### **2.1. תנאי התכנון.**

בר המים "אריאל 8" שתוכנן במסגרת הקורס יכלול:

- שליטה על טווח טמפרטורת המים הקרים והחמים.
- שליטה על טווח טמפרטורת המים הפושרים באמצעות שילוב המים הקרים והחמים.
- הרתחת מים חמים.
- מערך כפתורים הנותן אפשרויות שונות של כמות מזיגת מים (קרים וחמים).
- מתן אפשרות להפסקת מזיגת המים באמצעות לחיצה על כל כפתור במכשיר.
- צג המציג למשתמש בזמן אמת את טמפרטורת המים ואת משך הזמן הנותר למזיגת כוס המים.
- התראה למשתמש כאשר תא אחסון המים העודפים מלא.

## 2.2. דרישות המערכת.

עבור תכנון בר המים נדרשים הפרמטרים הבאים:

- בקרת טווח טמפרטורה- על בר המים לשמור על טווח טמפרטורה מתאים, מים חמים בטווח של  $50^{\circ}\text{C} < temp < 90^{\circ}\text{C}$  ומים קרים בטווח של  $5^{\circ}\text{C} < temp < 10^{\circ}\text{C}$ .
- הרתחת מים חמים- לאחר לחיצה על כפתור הרתחת מים מתבצע תהליך חימום המים ל-  $92^{\circ}\text{C}$  (נבחר להרתיח את המים ב-  $2^{\circ}\text{C}$  מעל הדרישה על מנת לוודא שהדרישה תתקיים), בזמן הרתחת המים נדלקת נורת  $LED1$  אשר מהבהבת.
- מזיגת מים חמים- כפתור לחיצה המאפשר מזיגת מים חמים כאשר טמפרטורת המים  $temp > 90^{\circ}\text{C}$ , בעת מזיגת המים נדלקת נורת  $LED1$  באופן רצוף.
- מזיגת מים קרים- לאחר לחיצה על כפתור מזיגת מים קרים מתבצעת הפעלת משאבת המים הקרים, בעת מזיגת המים נדלקת נורת  $LED2$  באופן רצוף.
- לחיצה על כל לחצן במערכת בזמן מזיגת מים תפסיק באופן מיידי את מזיגת המים.
- הגדרת כמות מזיגת המים (קרים וחמים), כלומר גודל הכוס. ישנם 3 כפתורים אשר שולטים במשך זמן מזיגת המים, אפשרויות גודל הכוס הם מיליו מים במשך  $15\text{ Sec}, 8\text{ Sec}, 4\text{ Sec}$ .
- מזיגת מים פושרים- כפתור לחיצה המאפשר מזיגת כוס מים פושרים למשך  $8\text{ Sec}$  בטווח טמפרטורת מים  $25^{\circ}\text{C} < temp < 35^{\circ}\text{C}$ , בעת מזיגת המים נדלקת נורת  $LED3$  באופן רצוף.
- צג אנלוגי המציג את טמפרטורת המים הקרים ואת טמפרטורת המים החמים בזמן אמת.
- נורת אזהרה מפני גלישת מים- כאשר תא אחסון המים העודפים מלא (כתוצאה ממים שזלגו מחוץ לכוס) נדלקת נורת אזהרה מפני גלישת מים.
- צג אנלוגי המציג את משך הזמן הנותר למילוי הכוס (מניה לאחור בעת שהמשאבה עובדת).
- מימוש הפרויקט הן כ-  $PCB$  וגם באמצעות בקר מתוכנת (ארדואינו).



### 3. תיאור המערכת.

המערכת הנבנית היא מערכת הנקראת "אריאל 8".  
מערכת זו הינה מכשיר חשמלי הנקרא בר מים, מכשיר זה נועד לאספקת מי שתייה קרים וחמים תוך שמירתם בטמפרטורה הרצויה שהוגדרה לו מראש.

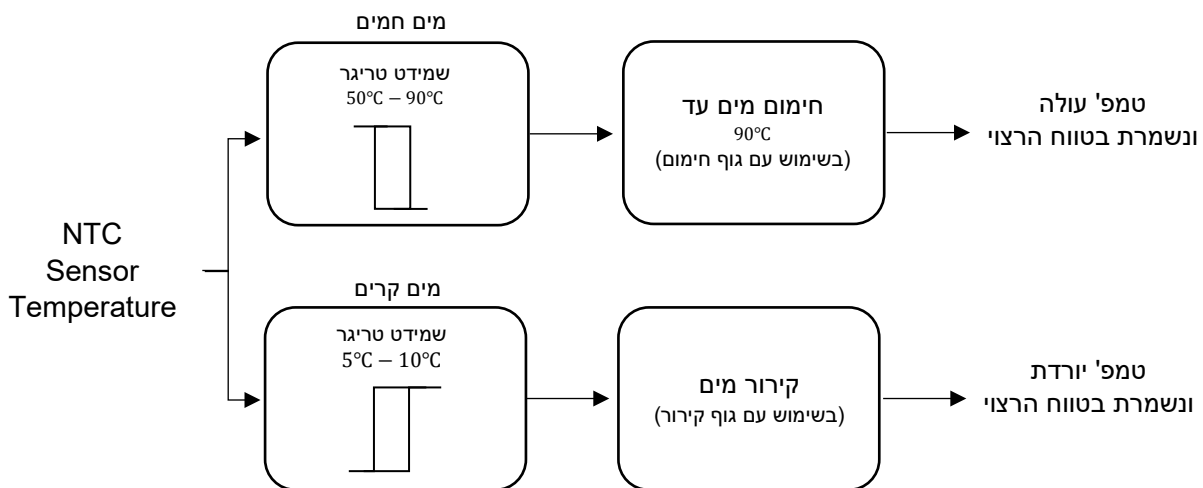
#### 3.1 הסבר כללי על המערכת.

המערכת מופעלת על ידי חיישנים המודדים את טמפרטורת המים באמצעות ערך התנגדותי, במידה והחיישנים מזהים שינוי טמפרטורה משמעותי במים, מופעלים שוב גופי החימום והקירור המחזירים את המים לטמפרטורה הרצויה.  
בנוסף לכך, קיימות במערכת עוד הרבה אמצעי שליטה ובקרה נוספים שנועדו להקל על שימוש המשתמש במערכת, כמו שליטה בכמות מזיגת המים לכוס, מזיגת מים פושרים באמצעות שילוב המים הקרים והחמים, אזהרה מפני גלישת מים עודפים, הרתחת מים, אינדיקציות המציגות בזמן אמת את טמפרטורת המים וזמן שנותר למזיגה באמצעות צג ונורות LED ועוד.

#### 3.2 תכנון החומרה.

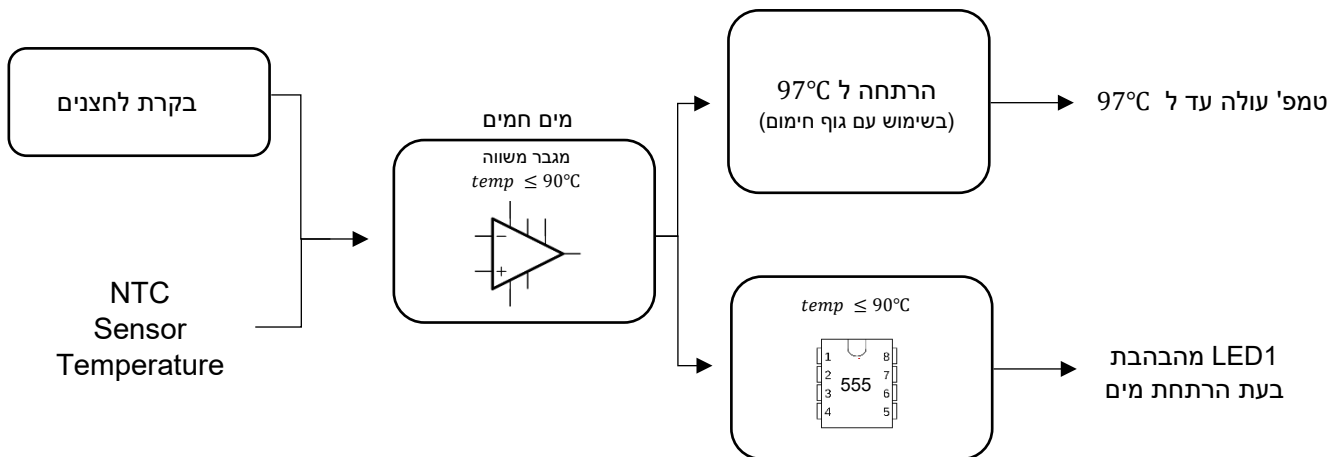
##### סכמת בלוקים:

1. בקרת טווח טמפרטורה.



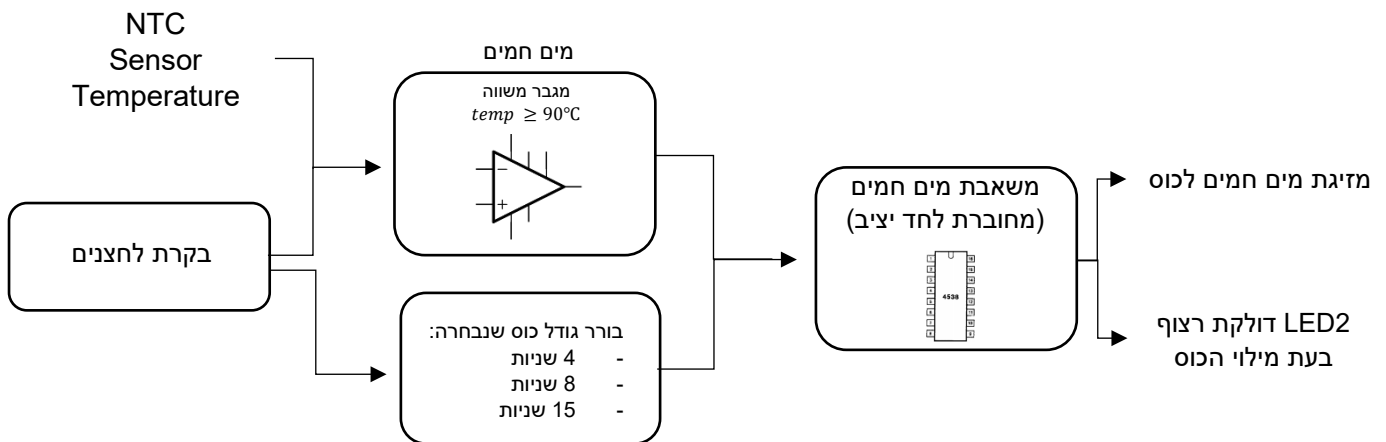
איור 3- סכמת בלוקים עבור בקרת טמפרטורה.

## 2. הרתחת מים חמים.



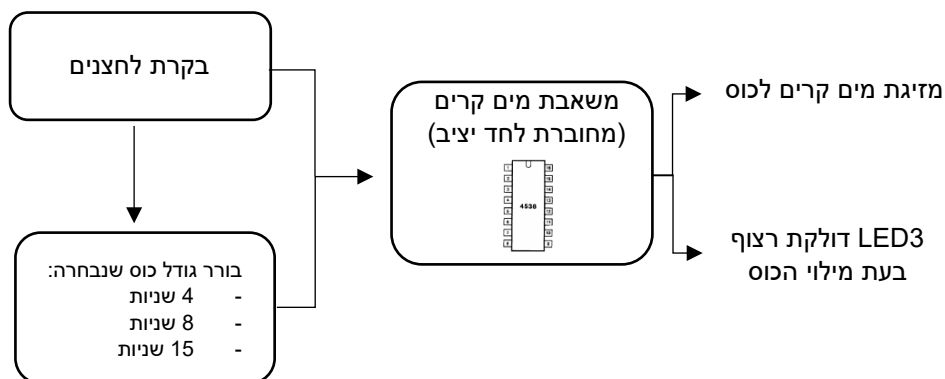
איור 4- סכמת בלוקים עבור הרתחת מים חמים.

## 3. מזיגת מים חמים.



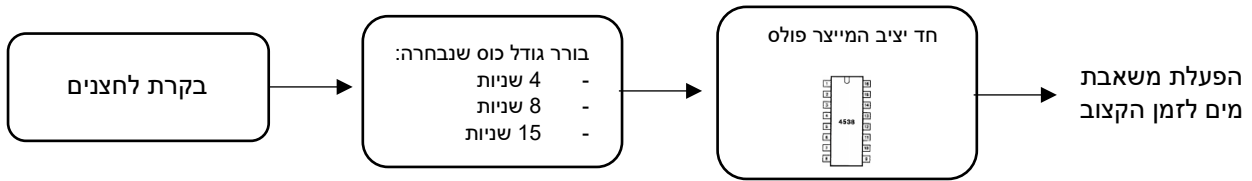
איור 5- סכמת בלוקים עבור מזיגת מים חמים.

## 4. מזיגת מים קרים.



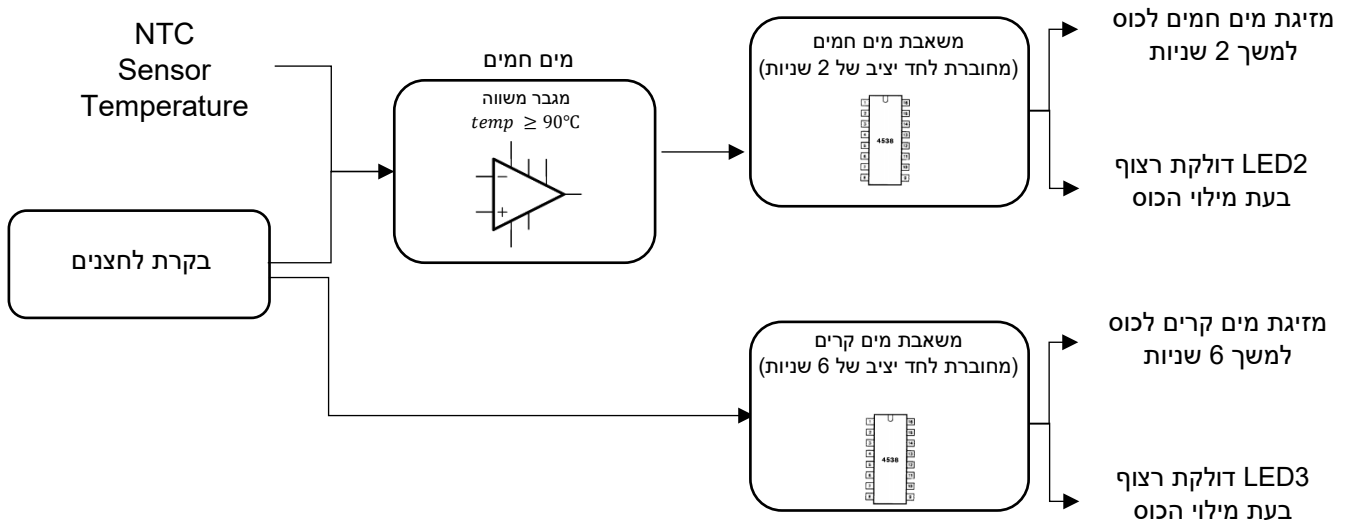
איור 6- סכמת בלוקים עבור מזיגת מים קרים.

5. בקרת גודל כוס (זמני מזיגה).



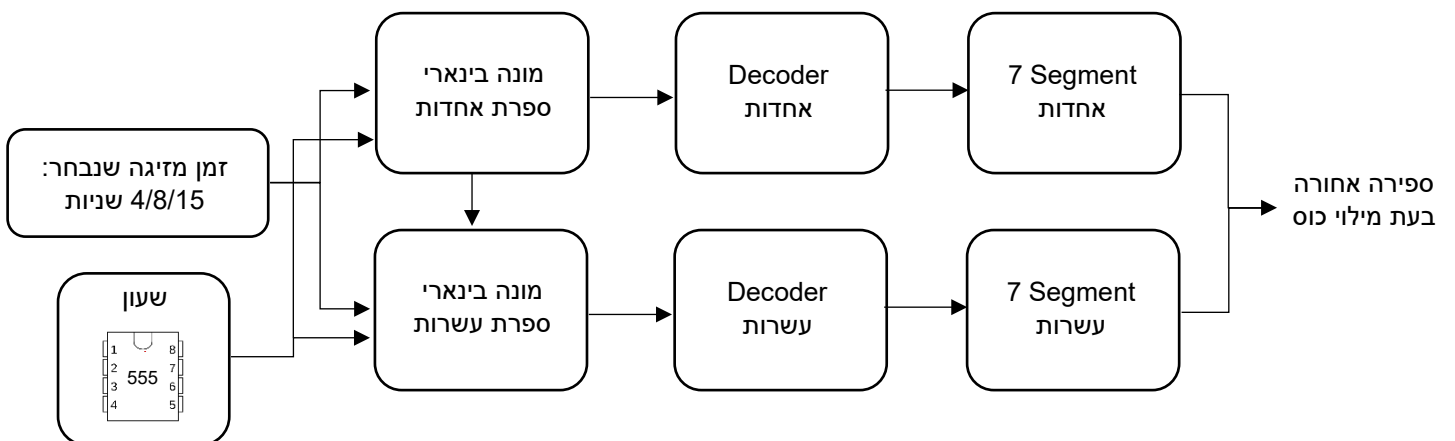
איור 7- סכמת בלוקים עבור בקרת גודל הכוס (זמן מזיגה).

6. מזיגת מים פושרים (למשך 8 שניות).



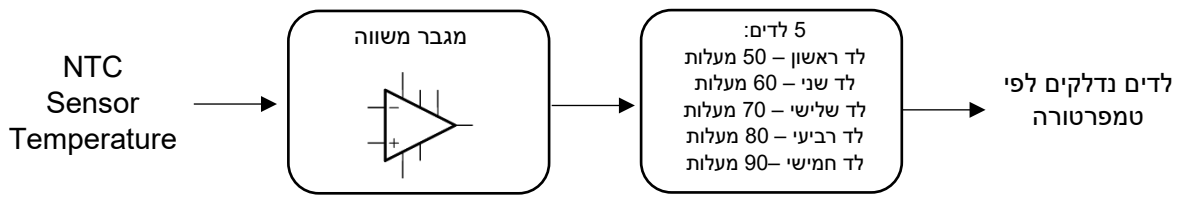
איור 8- סכמת בלוקים עבור מזיגת מים קרים.

7. ספירה לאחר בעת מזיגה.



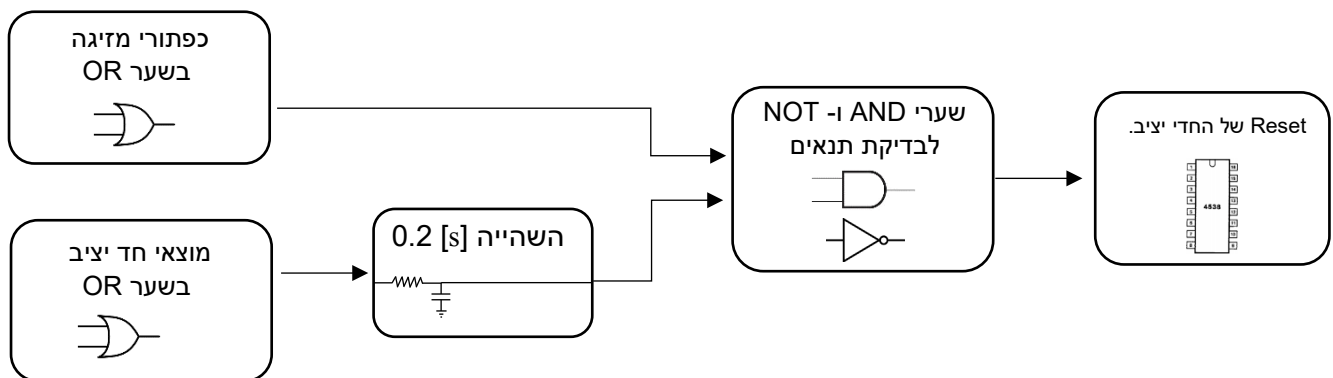
איור 9- סכמת בלוקים עבור ספירה לאחר בעת מזיגה.

8. הצגת ערך טווח טמפרטורה.



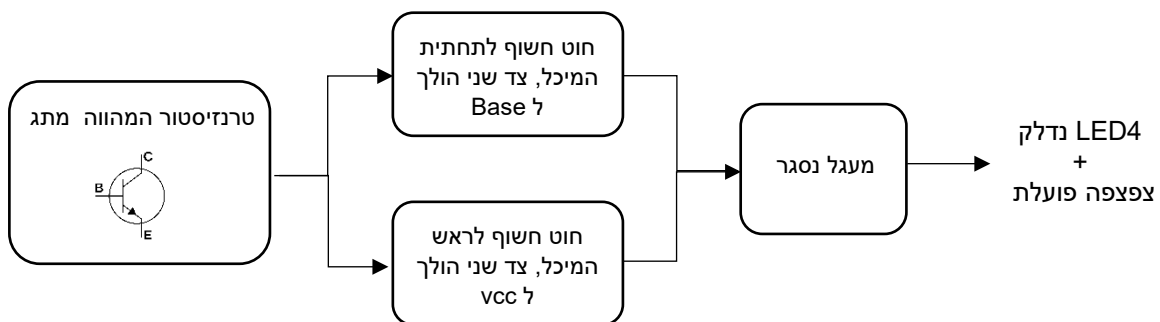
איור 10- סכמת בלוקים עבור הצגת מערך טווח טמפרטורת.

9. בקרת לחצנים (בודק לחיצה בעת מזיגה).



איור 11- סכמת בלוקים עבור בקרת לחצנים.

10. בקרת גלישת מים.



איור 12- סכמת בלוקים עבור בקרת גלישת מים.

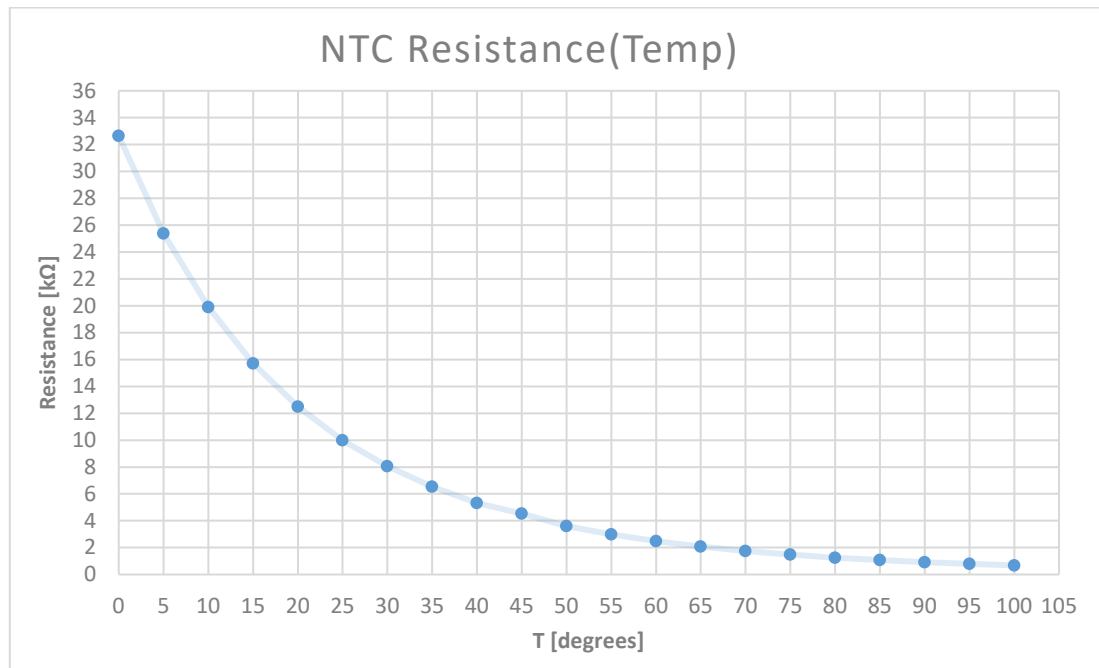
### מקרא רכיבים:

- LED1 - לד הרתחת מים.
- LED2 - לד מזיגת מים חמים.
- LED3 - לד מזיגת מים קרים.
- LED4 - לד אזהרה על גלישת מים במיכל.

### תיאור החומרה:

טמפרטורה – חיישן NTC (Negative Temperature Coefficient) הוא חיישן שמשנה את ערכו ההתנגדותי בהתאם לשינוי בטמפרטורה. ההתנגדות של חיישן NTC יורדת כאשר הטמפרטורה עולה, ועולה כאשר הטמפרטורה יורדת.

עבור תחומי הטמפרטורה הרצויים הובאו ערכי התנגדות החיישן מתוך דפי הנתונים כדלהלן:



איור 13- גרף של חיישן הטמפרטורה (NTC) ביחס להתנגדות.

באיור 13 ניתן לראות את השפעת הטמפרטורה על ההתנגדות ומתוך כך ניתן לבנות את המערכת בהתאם לטווחי הטמפרטורה הרצויים בה. כמו כן ניתן לראות כי ההתנגדות של החיישן יורדת כאשר הטמפרטורה עולה, ועולה כאשר הטמפרטורה יורדת.

### ערכים רצויים של חיישן הטמפרטורה לצורך דרישות המערכת:

על מנת לקיים את דרישות המערכת לטווח טמפ' מים קרים, טווח טמפ' מים חמים והרתחת מים חמים, חיישן הטמפרטורה חובר לרב מודד כאשר בכל פעם הועלתה הטמפרטורה ונמדדה התנגדותו, לאחר מכן נעשה חישוב המתח על נגד הטמפ' בעזרת נוסחת המחלק מתח הבאה :

$$(1) V_{out,NTC} = V_{CC} * \frac{R_{1k}}{R_{1k} + R_{NTC}} = 12 * \frac{1k}{1k + R_{NTC}} [V]$$

טבלה 1 – ערכי התנגדות החיישן לפי הטמפרטורה:

צורך	Temperature[ $^{\circ}C$ ]	Resistance[k $\Omega$ ]	$V_{out,NTC}[V]$
טווח מים קרים	5	25.4	3.39
	10	19.9	4.02
טווח מים חמים	50	3.6	2.6
	90	0.92	6.25
הרתחה	97	0.74	6.89

בטבלה 1 ניתן לראות את ערכי הטמפ', ערכי ההתנגדות וערכי מתח המוצא של חיישן הטמפ'. בעזרת מתחים אלו נוכל לממש את דרישות המערכת.

### טבלת יחס טמפרטורה למים פושרים:

נדרש כי המים הפושרים יהיו בטווח הטמפרטורה של  $25^{\circ}C - 35^{\circ}C$  למשך 8[Sec]. על מנת לקיים דרישה זו תוכנן יחס הטמפרטורות בין המים הקרים לחמים, כאשר זמן מזיגת מים חמים הינו 2[Sec], וזמן מזיגת מים קרים הינו 6[Sec].

טבלה 2 – תוכן מזיגת המים הפושרים

טמפ' מים פושרים [ $^{\circ}C$ ]	טמפ' קרים [ $^{\circ}C$ ]	טמפ' חמים [ $^{\circ}C$ ]
31.75	10	97
28	5	97

מטבלה 2 ניתן לראות את ערך טמפרטורות של המים החמים והקרים וערך הטמפרטורה של המים הפושרים לפי היחס בין זמני מזיגת המים החמים והקרים.

### 3.3. תכנון התוכנה באמצעות מיקרו-בקר (ארדואינו).

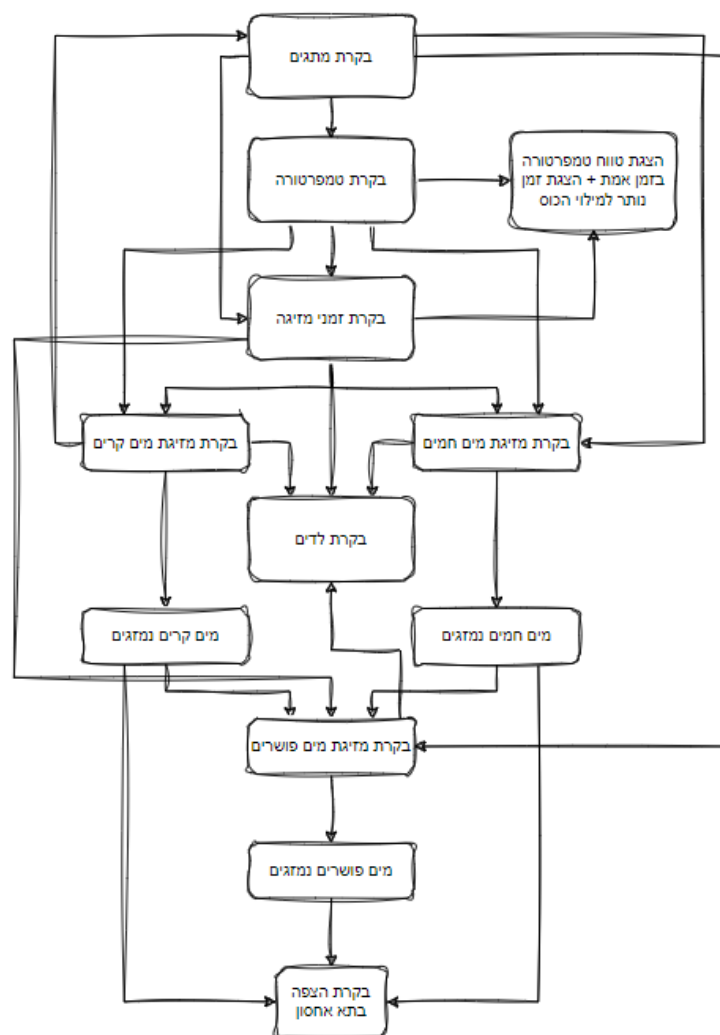
ארדואינו (Arduino) הינו מערכת פיתוח פיזית ותוכנה המבוססת על לוח מיקרו-בקר, המיועדת ליצירת מכשירים אלקטרוניים פשוטים ואינטראקטיביים. שפת התכנות המרכזית של ארדואינו היא "C++".

ארדואינו מספקת ממשק פשוט ומותאם למתכנתים, המפשט את תהליך הפיתוח והקומפילציה של קוד בשפת C++ עבור מיקרו-בקר הארדואינו. כלומר, אף על פי שמדובר בשפת תכנות מתקדמת ומורכבת, תהליך התכנות בארדואינו נעשה באמצעות פונקציות וספריות מובנות במערכת, שמסייעות למתכנתים ליישם פעולות פשוטות כמו קריאה לפורטים אנלוגיים או דיגיטליים, שליטה במנורה או במשאבה, ועוד.

ארדואינו מאפשרת תכנות וטעינה של קוד ללוח מיקרו-בקר (הכרוך בשם "לוח ארדואינו") באמצעות חיבור הלוח למחשב באמצעות כבל USB.

בנוסף ללוח המיקרו-בקר, לארדואינו יש סביבת פיתוח עצמאית שנקראת "Arduino IDE" (Integrated Development Environment). זו תוכנה שנוצרה כדי לספק ממשק ידידותי למתכנתים ולאפשר להם ליצור, לערוך, לקמפל ולהעלות קוד ללוח הארדואינו.

להלן תרשים זרימה כללי של המערכת:



איור 14- תרשים זרימה כללי של המערכת.

#### 4. מימוש המערכת.

אופן המימוש בוצע על גבי מטריצת חיבורים אשר עליה נבנו כלל המעגלים על ידי הרכיבים הבאים:

1. מימוש בקרת טווח טמפרטורת מים חמים, **רכיבים** - נגדים, מגבר LM358 (ע"מ לממש שמידט-טריגר הפוך), חיישן טמפרטורה NTC, נורת לד.
2. מימוש בקרת טווח טמפרטורת מים קרים, **רכיבים** - נגדים, מגבר LM358 (ע"מ לממש שמידט-טריגר), חיישן טמפרטורה NTC, נורת לד.
3. כפתור הרתחת מים חמים ונורה מהבהבת בעת מזיגה, **רכיבים** - נגדים, מגבר LM358 (מגבר משווה), נורות לד, טרנזיסטור 2N2222, קבל, זמן NE555P.
4. כפתור לחיצה המאפשר מזיגת מים חמים, **רכיבים** - כפתור, נגד ונורת לד.
5. כפתור לחיצה המאפשר מזיגת מים קרים, **רכיבים** - כפתור, נגד ונורת לד.
6. לחיצה על כל לחצן בעת מזיגה תפסיק את המזיגה, **רכיבים** - שערי AND, OR, NOT, נגדים וקבלים (לצורך השהייה).
7. בחירת גודל הכוס (זמן מזיגה), **רכיבים** - נגדים, קבלים וחד יציב MC14538 ושער OR.
8. כפתור לחיצה המאפשר מזיגת מים פושרים, **רכיבים** - כפתור, נגדים, קבלים, חד יציב MC14538 ו2 נורות לד.
9. הצגת טמפרטורת המים בזמן אמת, **רכיבים** - נגדים משתנים, מגבר LM358 (מגבר משווה), 5 נורות לד, חיישן טמפרטורה NTC.
10. נורת אזהרה מפני גלישת מים, **רכיבים** - טרנזיסטור MPSA06031, Active Buzzer, נגד ונורת לד.
11. הצגת משך הזמן למילוי כוס, **רכיבים** - נגדים, רכיבי 7 segment, רכיבי 74LS47D Decoder, רכיבי 74LS190D BCD, לצורך שעון - נגדים, קבל, זמן NE555P ונורת לד.

כמו כן המטריצה הוזנה לאספקת מתח קבוע של  $12[V]$  להספקת כלל הרכיבים במעגלים.

אופן המימוש בארדואינו (בקר מתוכנת) בוצע על גבי מטריצת חיבורים אשר עליה הונחו הרכיבים הבאים:

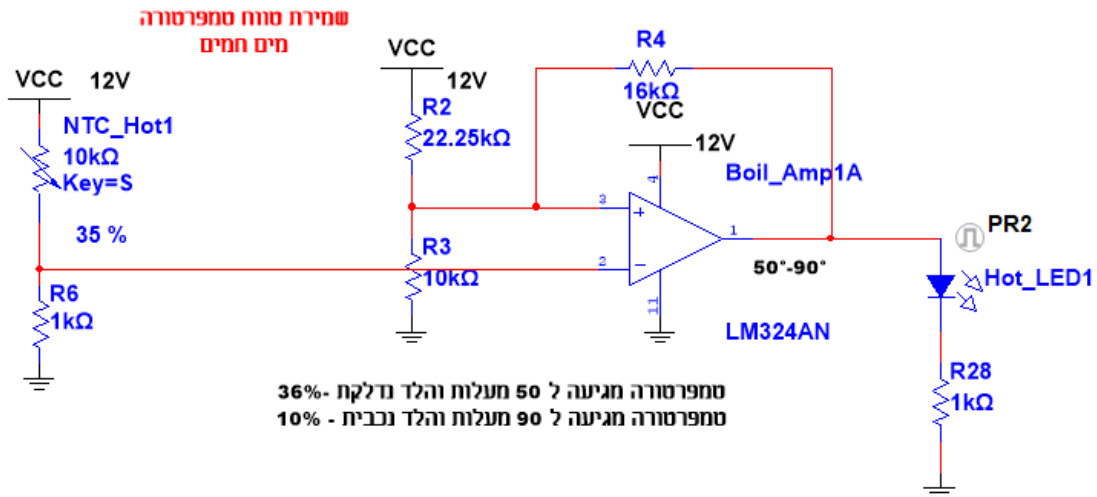
7 כפתורים, נגדים, לוח UNO, מסך LCD, חיישן לחות, נורות במספר צבעים, 2 חיישני טמפרטורה NTC תוכנת Arduino IDE וחטי קצר.



#### 4.1 מימוש החומרה.

##### סכמות חשמליות:

1. תכנון מפורט ברמת החיבורים עבור בלוק בקרת טווח טמפרטורה מים חמים.



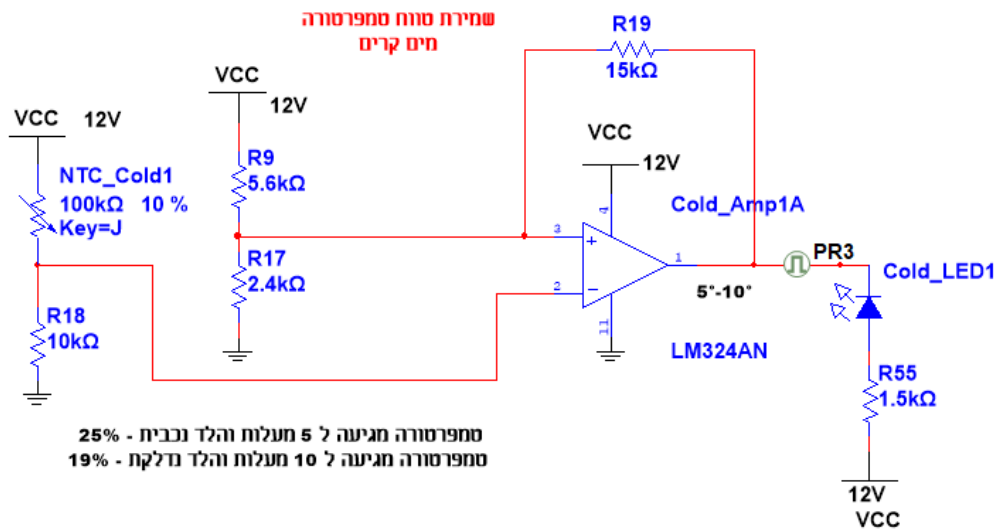
איור 15- מעגל שמירת טווח טמפ' של המים החמים.

חיישן הטמפ' NTC הינו נגד משתנה כפונקציה של הטמפרטורה, הוא מזין מתח כניסה למגבר משווה (נכנס לרגל 2, הרגל השלילית של המגבר).  
באיור 15 ניתן להבחין כי מעגל זה הינו שמידט טריגר הפוך שמוציא מתח בהתאם לטמפרטורה הנמדדת מהחיישן טמפ' (לפי עקומת החשל).  
במהלך הפעלת המעגל מתבצעת השוואה בין רגלי הכניסה של המגבר ומתח המוצא משתנה בהתאם למתחי הסף.  
תפקיד ה- LED הינו לאותת למשתמש האם מתבצע חימום (טמפ' מתחת ל 50 מעלות) או שלא.

הסבר על אופן פעולת המעגל:

כאשר הנגד המשתנה על 36% - טמפרטורה מגיעה ל 50 מעלות והלד נדלקת.  
וכאשר הנגד המשתנה על 10% - טמפרטורה מגיעה ל 90 מעלות והלד נכבית.

2. תכנון מפורט ברמת החיבורים עבור בלוק בקרת טווח טמפרטורה מים קרים.



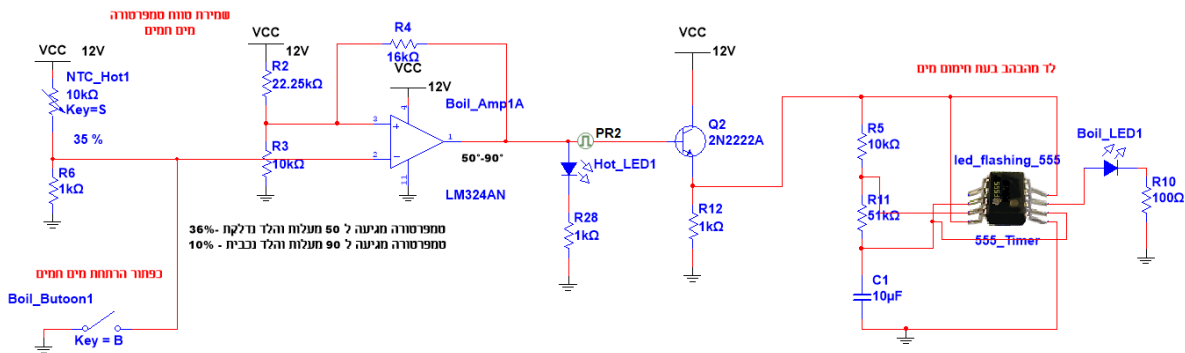
איור 16- מעגל שמירת טווח טמפ' של המים הקרים.

חיישן הטמפ' NTC הינו נגד משתנה כפונקציה של הטמפרטורה, הוא מזין מתח כניסה למגבר משווה (נכנס לרגל 2, הרגל השלילית של המגבר).  
באיור 16 ניתן להבחין כי מעגל זה הינו שמידט טריגר הפוך שמוציא מתח בהתאם לטמפרטורה הנמדדת מהחיישן טמפ' (לפי עקומת החשל).  
במהלך הפעלת המעגל מתבצעת השוואה בין רגלי הכניסה של המגבר ומתח המוצא משתנה בהתאם למתחי הסף.  
ניתן לראות שבמוצא המגבר חובר הספק כך שיתקבל מעגל שמידט טריגר רגיל ולא הפוך כמו באיור 15.  
תפקיד ה- LED הינו לאותת למשתמש האם מתבצע קירור (טמפ' מעל 10 מעלות) או שלא.

הסבר על אופן פעולת המעגל:

כאשר הנגד המשתנה על 25% - טמפרטורה מגיעה ל 5 מעלות והלד נכבה.  
וכאשר הנגד המשתנה על 19% - טמפרטורה מגיעה ל 10 מעלות והלד נדלקת.

### 3. תכנון מפורט ברמת החיבורים עבור בלוק הרתחת מים חמים.



איור 17- מעגל הרתחת מים, נורת הLED מהבהבת בעת ההרתחה.

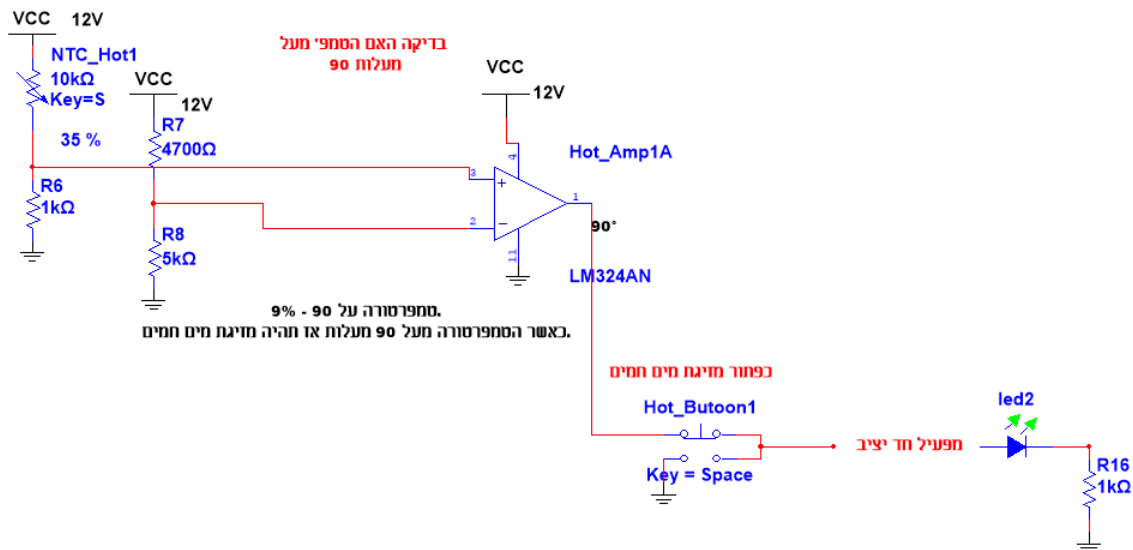
בתכנון בלוק זה (איור 17) בוצע שימוש בשני מעגלים:

- בוצע שימוש במגבר משווה מאיור 15, שמתפקד כמעגל שמידט טריגר. רגל המינוס של המגבר חוברה לענף של נגד הטמפ' כדי לקבל מידע על הטמפ'.
- בוצע שימוש בטרנזיסטור כמתג להפעלת הבהוב בLED הרתחה.
- בוצע שימוש בזמן (רכיב 555) על מנת לגרום לנורת LED להבהב בעת הרתחת המים. רכיב זה פועל כל עוד מקבל מתח הזנה (מתח ממוצא המגבר).

הסבר על אופן פעולת המגבר:

כאשר הנגד המשתנה על 9% - טמפרטורה מגיעה ל 90 מעלות והLED תכבה. במצב זה לא יהיה מתח במוצא המגבר ולכן מעגל ה- 555 יפסיק לפעול. כאשר הטמפרטורה יורדת ההתנגדות גדלה ולכן כל עוד הנגד המשתנה גדול מ 9% וקטן מ 36% (הטמפ' בין 50 מעלות ל 90 מעלות) הLED ידלק. במצב זה יהיה במוצא המגבר מתח אשר יאפשר את הפעלת מעגל ה- 555 והLED תתחיל להבהב. כאשר כפתור הרתחת המים ילחץ, ענף הטמפ' יקוצר, מה שיגרום לקבל ערך של 0[V] לרגע קצר ברגל השלילית של המגבר (שמידט טריגר) וכך המעגל יופעל כי "יחשוב" שהטמפ' מתחת ל 50 מעלות. במצב זה המעגל יופעל ויתבצע חימום עד ל 90 מעלות.

4. תכנון מפורט ברמת החיבורים עבור בלוק מזיגת מים חמים.



איור 18- מעגל מזיגת מים חמים.

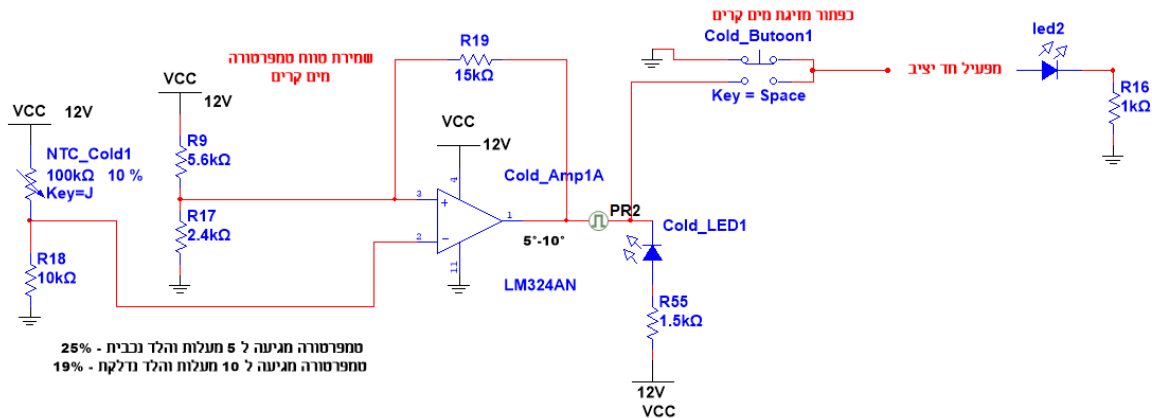
בבלוק זה (איור 18) בוצע שימוש במגבר משווה שבודק שטווח הטמפרטורה מעל 90 מעלות ובמידה וכן מוציא מתח כדי להפעיל את מעגל החד יציב (איור 21) ולאפשר מזיגת מים חמים לכוס (בהתאם לזמני המזיגה/גודל הכוס).

הסבר על אופן פעולת המגבר:

כאשר הנגד המשתנה על 9% - טמפרטורה מעל 90 מעלות והלד נדלקת ובכך מעגל החד יציב יופעל, מה שמאפשר מזיגת מים חמים (כי הדרישה שהטמפ' מעל 90 מעלות מתקיימת).

כאשר הטמפרטורה יורדת ההתנגדות של הנגד טמפ' גדלה ולכן כל עוד גדול מ 9% הלד יכבה, כלומר המעגל יוציא מתח אפסי ובכך מעגל החד יציב לא יופעל.

5. תכנון מפורט ברמת החיבורים עבור בלוק מזיגת מים קרים.



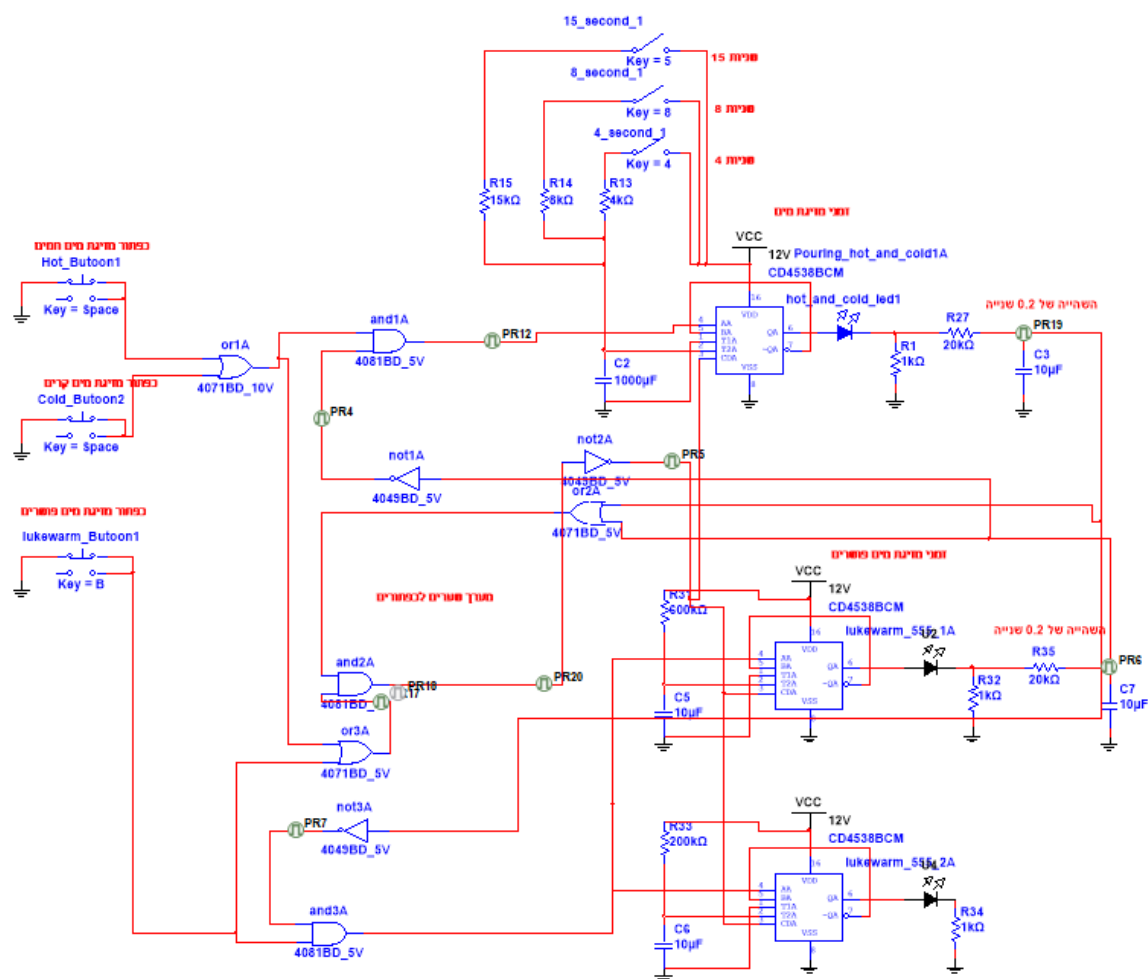
איור 19- מעגל מזיגת מים קרים.

ניתן לראות באיור 19, כי בלוק "בקרת טווח טמפרטורה מים קרים" (איור 16) חובר במוצאו לכפתור המחובר למעגל החד יציב (הפועל לפי זמן מזיגה, איור 21), כך שכאשר טווח הטמפ' בין 5 ל 10 מעלות יתקבל מתח במוצא המגבר. כאשר כפתור המזיגה ילחץ, מתח מוצא המגבר יועבר להפעלת החד יציב, כך שכאשר הטפ' בטווח הרצוי תתאפשר מזיגת מים קרים.

הסבר על אופן פעולת המגבר:

כאשר הנגד המשתנה על 25% - טמפרטורה על 5 מעלות והלד תכבה ובכך המעגל מאפשר מזיגת מים קרים (הסבר מפורט על אופן פעולת המגבר ניתן לראות באיור 16). כאשר הטמפרטורה עולה ההתנגדות של נגד הטמפ' קטנה ולכן כל עוד קטן מ 19% הלד נדלק, והמעגל יוציא מתח אפסי, מה שיגרום לכך שמעגל החד יציב לא יופעל. במצב זה לא תתאפשר מזיגה.

6. תכנון מפורט ברמת החיבורים עבור בלוק עצירת מערכת בעת מזיגה ולחיצה.



איור 20- בלוק עצירת מערכת בעת מזיגה ולחיצה.

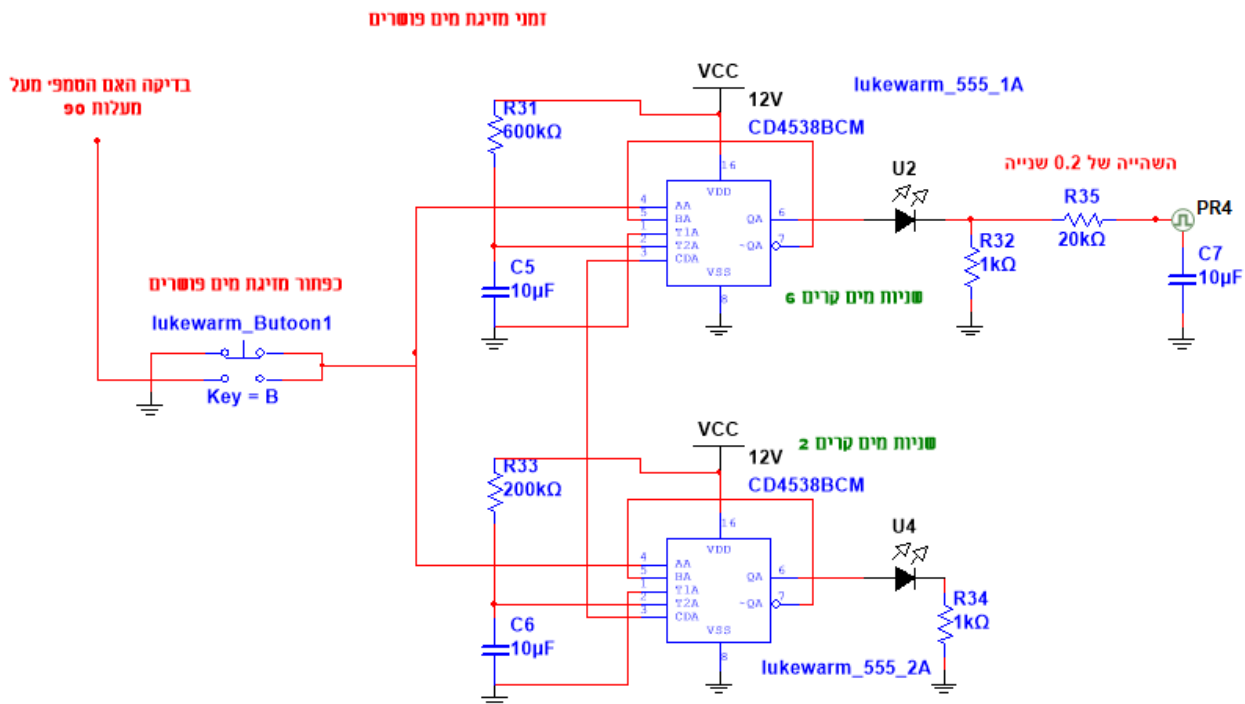
באיור 20 ניתן לראות את המעגל שתפקידו לכבות את המשאבה כאשר נלחץ כפתור במערכת במהלך פעילות המשאבה. במעגל זה בוצע שימוש בשערים לוגיים (OR, NOT, AND) על מנת לבדוק תנאים לוגיים ולבצע פעולות בהתאמה. כמו כן חובר מעגל ההשהיה של  $0.2[\text{Sec}]$  למוצאי החד יציב (האחרים על זמני המזיגה, איורים 21, 22), מעגל ההשהיה חובר על מנת למנוע שגיאה כך שכאשר ילחץ כפתור מזיגת מים, המשאבה תפעל ותכבה בו זמנית עקב התנאים שהוגדרו. כאשר מעגל החד יציב פועל ונלחץ כפתור במערכת, מתבצעת בדיקה דרך השערים הלוגיים ומתקבל מתח של  $0[V]$  לרגל 3 של החד יציב (רגל ה Reset), מה שגורם לכיבוי מעגל החד יציב ולהפסקת המזיגה.

ניתן לראות באיור 21 כי בוצע שימוש ברכיב החד יציב על מנת לייצר פולס לזמן מוקצב להפעלת המשאבה של המים החמים והקרים בהתאם לזמן המזיגה הנבחר (גודל הכוס). ניתן לראות כי ישנם 3 ענפים עם נגדים אשר תפקידם זהה, ענפים אלו אחראיים על זמני המזיגה (4/8/15 שניות). כאשר מחברים את הענף עם המעגל נבחר זמן מזיגה (מעין בורר מצבים).

$$(2) \text{ Time} = R_{\text{run}} * C_2$$

המשתמש בוחר את זמן המזיגה על ידי חיבור הענף וסגירת המעגל.  
במידה ונלחץ כפתור מזיגת מים מתקבל פולס אשר מפעיל את המערכת, במצב זה יתקבל פולס למשך זמן נבחר (לפי הענף המחובר) במוצא החד יציב, מה שיאפשר מזיגה למשך הזמן הנבחר.

8. תכנון מפורט ברמת החיבורים עבור בלוק בקרת מים פושרים.



איור 22- מעגל בקרת מים פושרים.

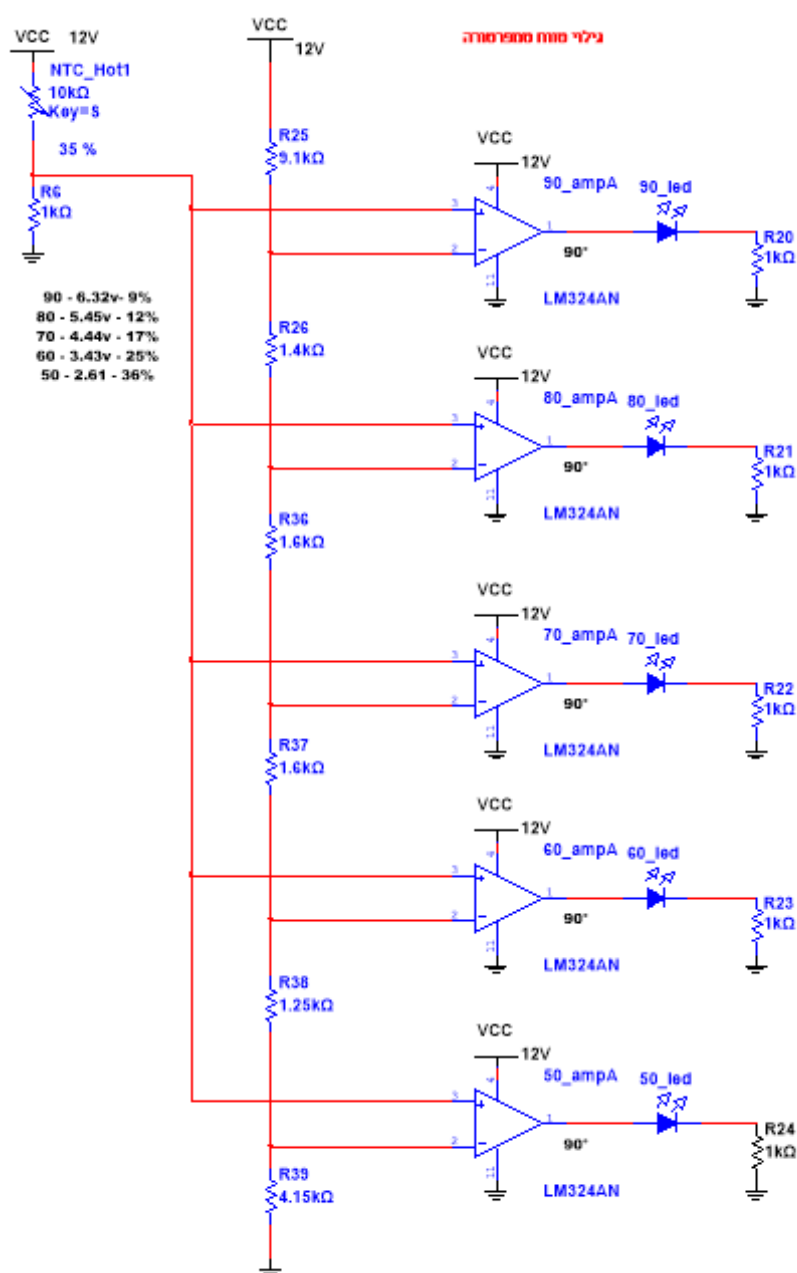
ניתן לראות באיור 22 כי בוצע שימוש ברכיבי החד יציב על מנת לייצר פולס לזמן מוקצב להפעלת המשאבה של המים החמים והקרים על מנת למזוג מים פושרים (למשך 8[Sec]). זמן המזיגה חושב לפי נוסחה (2). תפקיד מעגל ההשהיה במעגל העליון הינו לצורך בקרת הכיבוי במקרה של לחיצה בעת מזיגה (איור 20).

הסבר על אופן פעולת המעגלים:

כאשר מתבצעת לחיצה על כפתור המים הפושרים, מתבצעת בדיקה האם הטמפ' מעל 90 מעלות (איור 18), במידה וכן מתקבל פולס בכניסות החד יציב אשר מפעיל אותם. המעגל העליון מחובר למשאבת המים הקרים והוא אחראי על מזיגת מים קרים למשך 6[Sec], והמעגל התחתון מחובר למשאבת המים החמים והוא אחראי על מזיגת מים קרים למשך 2[Sec]. במצב זה מתקבל טווח הטמפ' הרצוי למים הפושרים (ניתן לראות חישובים בטבלה 2).



9. תכנון מפורט ברמת החיבורים עבור בלוק הצגת טמפרטורת חמים בזמן אמת.



איור 23- מעגל הצגת טמפרטורת חמים בזמן אמת.

מאיור 23 ניתן לראות כי בוצע שימוש במספר מגברי משווה שתפקידם לבצע השוואה בין 2 רגלי הכניסה שלהם. בוצע שימוש בענף נגדים שמשמשים כמחלק מתח הספקה אשר מתחברים לרגלי המינוס של המגבר, ולרגל הפלוס של המגברים חובר נגד הטמפרטורה.

כאשר המתח ברגל פלוס (מתח של נגד הטמפרטורה) גדולה מרגל המינוס (מתח הסף המייצג ערך טמפרטורות) יתקבל במוצאי המגברים מתח בהתאמה, מה שיאפשר את הפעלת הלדים. מעגל זה מראה את ערך הטמפרטורה בזמן אמת, בטווח של 50-90 מעלות בקפיצות של 10 מעלות בין כל לד.

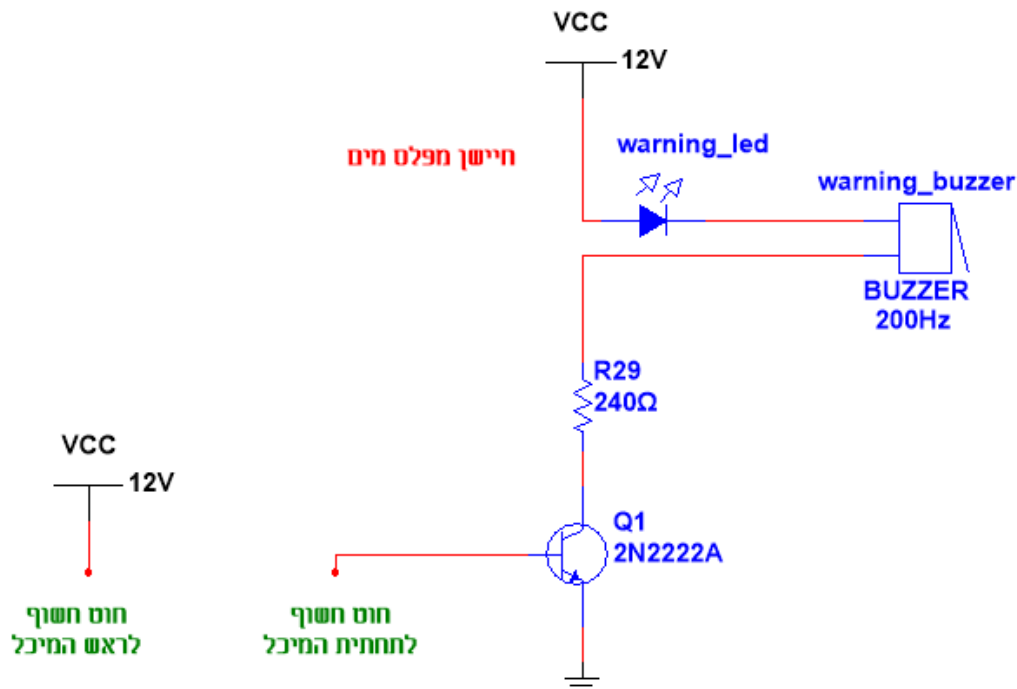
ניתן לראות בטבלה הבאה את ערך המתח המפעיל כל מגבר המייצג טמפרטורה:

טבלה 3 – מתח כתלות בטמפרטורה.

טמפרטורה $[^{\circ}C]$	מתח נגד הטמפ' (רגל פלוס) $[V]$	מתח סף (רגל מינוס) $[V]$
90	6.32	6.30
80	5.45	5.42
70	4.44	4.42
60	3.43	3.41
50	2.61	2.60

מטבלה 3 ניתן לראות כי כל טמפרטורה מיוצגת כמתח הנכנס אל רגל הפלוס של המגבר. כמו כן, מתח הסף חושב לפי מחלק מתח (נוסחה 1) והופחת במעט כך שכאשר הטמפ' בערך הרצוי יתקבל מתח במוצא המגבר. מעגל זה מפעיל את הלדים המייצגים את ערך הטמפ' המדוד בזמן אמת.

10. תכנון מפורט ברמת החיבורים עבור בלוק אזהרה מפני גלישת מים.



איור 24- מעגל אזהרה מפני גלישת מים.

באיור 24 ניתן כי בוצע שימוש בטרנזיסטור מסוג NPN אשר משמש כמתג. כמו כן ניתן לראות שלרגל ה BASE של הטרנזיסטור חובר חוט קצר חשוף אשר מחובר לתחתית מיכל המים. בנוסף חובר חוט חשוף נוסף אשר מחובר למתח ההספקה של המערכת, חוט זה מחובר לראש מיכל המים. במעגל זה בוצע שימוש בתכונת המים אשר הינם מוליכים.

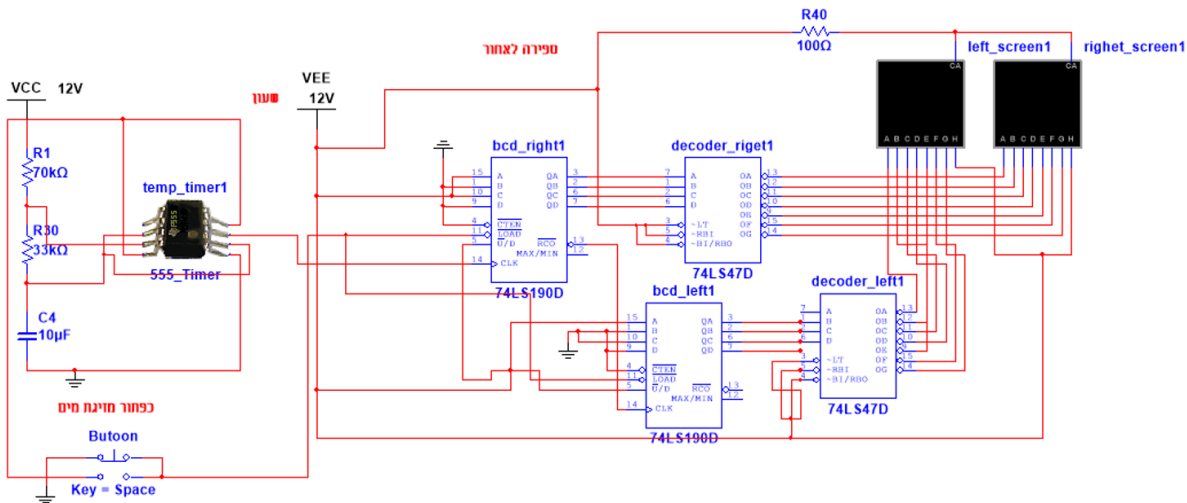
הסבר על אופן פעולת המעגל:

כאשר מפלס המים עולה עד לסוף המיכל, המעגל נסגר וזורם זרם ל BASE של הטרנזיסטור.

במצב זה הטרנזיסטור במצב פעיל, מה שמאפשר זרימת זרם בין האמיטר לקולקטור, במצב זה יופעל לד וזמזם אזהרה.

כאשר אין סגירת מעגל (מפלס המים נמוך) הטרנזיסטור במצב קיטעון והלד והזמזם לא יופעלו.

11. תכנון מפורט ברמת החיבורים עבור בלוק משך זמן נותר למילוי כוס.



איור 25- מעגל הצגת משך זמן נותר למילוי כוס.

במעגל שבאיור 25 ניתן להבחין בשני מעגלים עיקריים:

- מעגל ספירה לאחור – מעגל זה בנוי ממספר רכיבים:

1. רכיב BCD אשר תפקידו לספור מ 9 עד 0, מונה זה סופר מטה ע"י הכנסת ערך '1' לוגי לרגל 5. ניתן להכניס לרגלי הרכיב (9,10,1,15) ערך ממנו המונה יתחיל למנות מטה. כאשר כפתור המזיגה ילחץ יתקבל ערך לוגי '1' לרגל LOAD (רגל 11) המונה יתחיל למנות המערך הנבחר ומטה (לפי בחירת המשתמש).  
רכיב זה משורשר לרכיב BCD נוסף (הרכיב התחתון) אשר אחראי על ספרת העשרות, כאשר העליון אחראי על ספרת היחידות.  
ניתן לראות כי מוצאי הרכיבים מחוברים לרכיב ה Decoder.
2. רכיב Decoder אשר תפקידו להמיר את הכניסות שמקבל (ממוצאי המונה הבינארי) למספר יציאות גדול יותר ובכך מאפשר להדפיס בעזרת רכיב ה 7 Segment להדפיס את ערך מוצא המונה הבינארי כספרה עשרונית.
3. רכיב 7 Segment אשר תפקידו להראות את ערך מוצאי המונה הבינארי ולהציג את הערך כמספר עשרוני (ע"י מעבר ברכיב ה Decoder)

- שעון לספירת המונה הבינארי - מעגל זה בנוי מרכיב 555 אשר זמן המחזור שלו הינו 1[Sec].

מוצא השעון חובר לרגל השעון (רגל 14) של רכיב ה BCD, מה שמאפשר מנייה בכל שנייה.

בטבלה הבאה ניתן לראות את ערכי כניסות המונה הבינארי (9,10,1,15) ואיזה מספר עשרוני הם מייצגות.

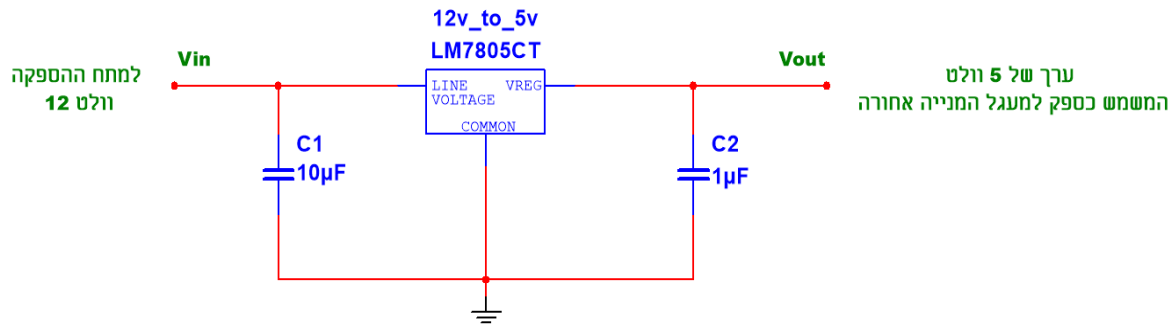
טבלה 4 – ערכי כניסות המונה הבינארי.

ערך עשרוני	ערך בינארי		BCD תחתון (עשרות)				BCD עליון (אחדות)			
	עשרות	אחדות	9 MSB	10	1	15 LSB	9 MSB	10	1	15 LSB
15	0001	0101	0	0	0	1	0	1	0	1
8	0000	1000	0	0	0	0	1	0	0	0
4	0000	0100	0	0	0	0	0	1	0	0

ניתן לראות בטבלה 4 את ערכי הכניסות של המונה הבינארי (רגלים 9,10,1,15) וכיצד ניתן להגדיר מאיזה ערך עשרוני הספירה מטה תחל, בהתאם לבחירת המשתמש.

רכיב ה BCD פועל כך שכאשר לא מחובר ערך לכניסות 9,10,1,15 הוא יתחיל למנות מ 9, כלומר חשוב לשים לב ולחבר אדמה בכניסות הרצויות שיהיו 0 לוגי בהתאם לטבלה.

12. תכנון מפורט ברמת החיבורים עבור מעגל מייצב מתח.



איור 26- מעגל המייצב מתח.

באיור 26 ניתן לראות מעגל מייצב מתח, תפקיד מעגל זה הוא להמיר מתח של  $12[V]$  למתח של  $5[V]$ .

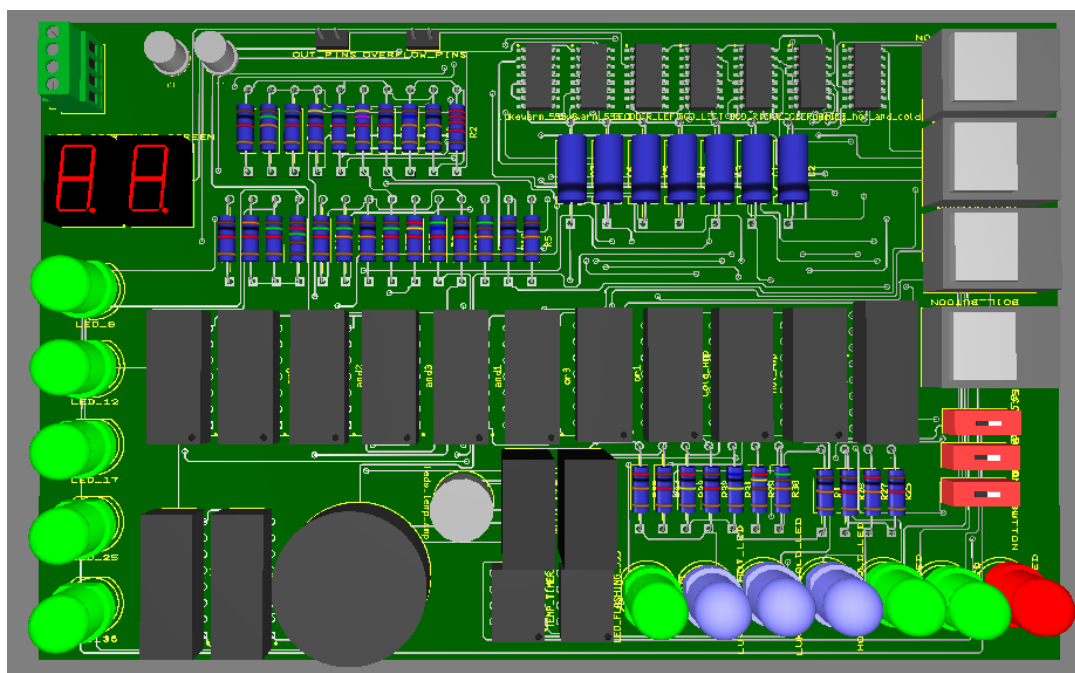
הצורך במעגל זה נובע בגלל הגבלת מתח ההספקה של רכיב ה  $BCD$  מסעיף 11 (איור 25).

הגבלת מתח הרכיב הינה עד ל  $5[V]$ , כאשר מתח האספקה של המערכת הינו  $12[V]$ .

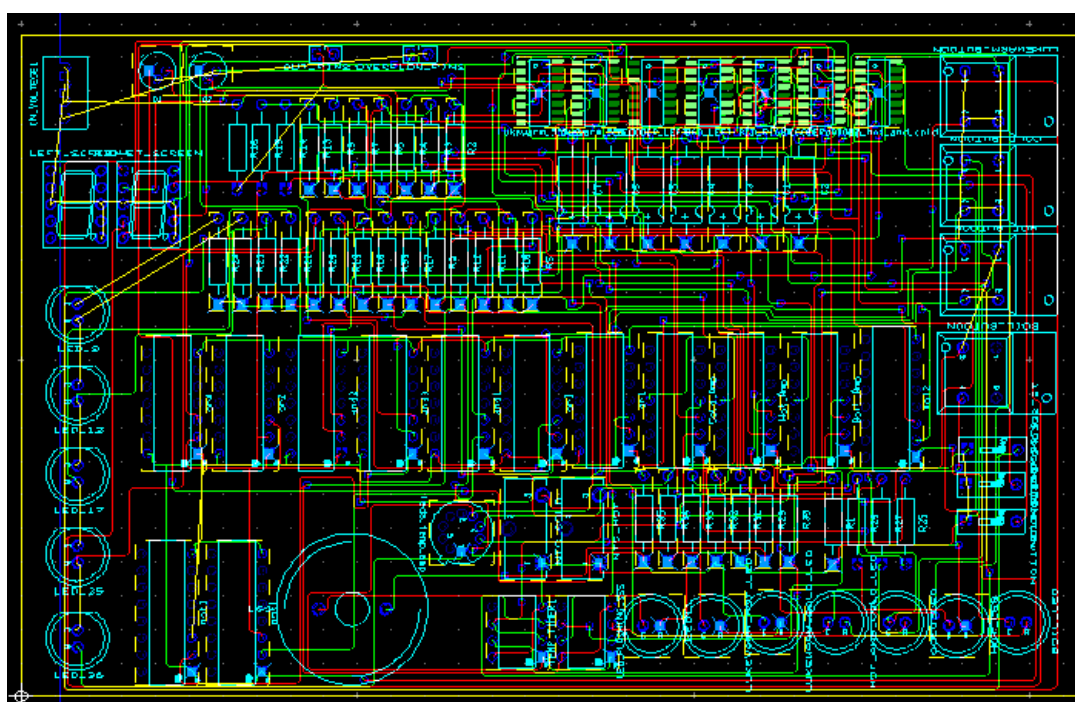
מעגל זה בנוי מרכיב LM7805 בשילוב עם 2 קבלים.

רכיב זה פועל כך שבכניסתו מתקבל מתח מסוים, והוא מוציא מתח קבוע של  $5[V]$ , הפרש המתח נופל על הרכיב עצמו.

## PCB - Printed Circuit Board של המערכת:



איור 27- PCB של כלל המערכת בתצוגת תלת ממד.



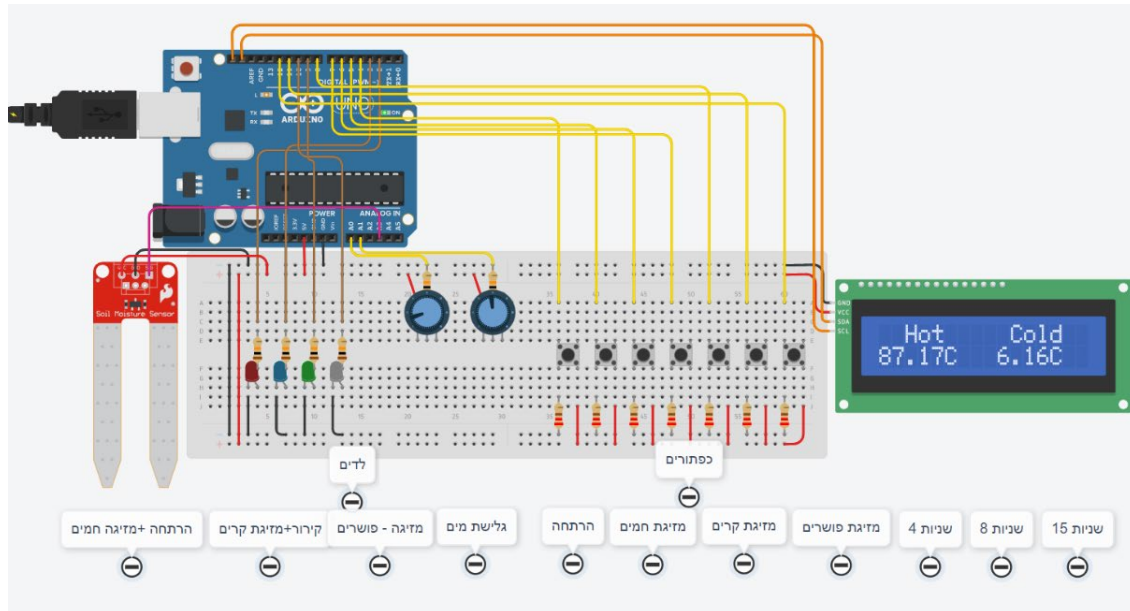
איור 28- PCB של כלל המערכת ברמת חיבורים.

באיור 27 ניתן לראות את כלל המערכת במעגל מודפס (PCB).  
 כמו כן ניתן לראות כי החיבור בין הרכיבים נעשה ללא חוטי חשמל. את מקומם תופסים פסי  
 נחושת שהודפסו על הלוח, שהוא מצע שאינו מוליך.  
 באיור 28 ניתן לראות הדמיה ב 3D למערכת המתוכננת לפני הדפסה, ברמת הרכיבים  
 והחיבורים ביניהם.

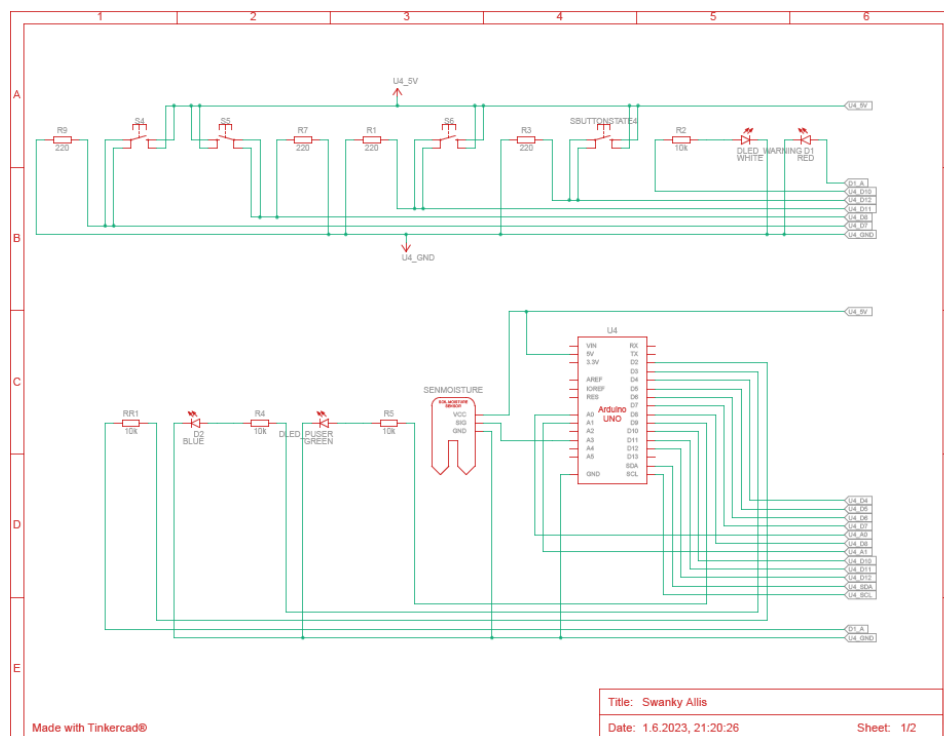
#### 4.2. מימוש התוכנה באמצעות מיקרו-בקר (ארדואינו).

נדרש לממש את הפרויקט באמצעות בקר מתוכנת (ארדואינו), לצורך כך הורכב המעגל על המטריצה ובוצעה סימולציה.

להלן סכמת החיבורים וסימולציית המערכת:

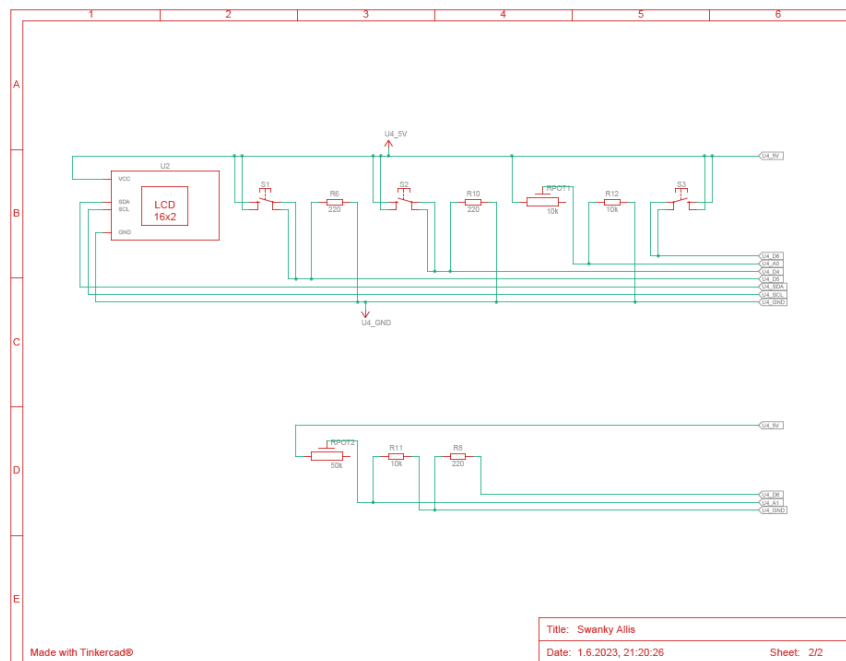


איור 29- סכמת חיבורים ארדואינו



איור 30- סכמת חיבורים.





איור 31- סכמת חיבורים.

באיור 29 ניתן לראות את הסימולציה וסכמת חיבור המעגל לצורך מימוש הפרויקט באמצעות בקר מתוכנת.

באיורים 30, 31 ניתן לראות את סכמת החיבורים עם ערכי הרכיבים ששמשו לצורך בניית מערכת זו.

לאחר מכן בוצע שימוש בתוכנת Arduino IDE ונכתב קוד המתאים לדרישות המערכת. קוד זה נכתב בשפת תכנות "C++" ובוצע שימוש במגוון ספריות ע"מ לבצע שימוש ברכיבים אשר במעגל.

קוד זה נכתב ונבנה לפי תרשים הזרימה (איור 14), תוך מתן תשומת לב לדרישות ולהתניות של המערכת.

לצורך חישוב ערך טמפרטורת חיישן ה NTC בוצע שימוש בנוסחה הבאה:

$$(3) Hot Temperature = \frac{1}{0.001129148 + 0.000234125 * ntc\_ln + 0.0000000876741 * (NTC\_ln)^3} - 273.15$$

כאשר:

$$(4) NTC\_ln = \log \left( \left( 5 * \frac{10}{(R_{NTC}) * \frac{5}{1023}} - 10 \right) * 1000 \right)$$

נוסחה זו נרשמה כקוד וכך ניתן לקבל את הטמפרטורה בזמן אמת לפי התנגדות חיישן הטמפרטורה.

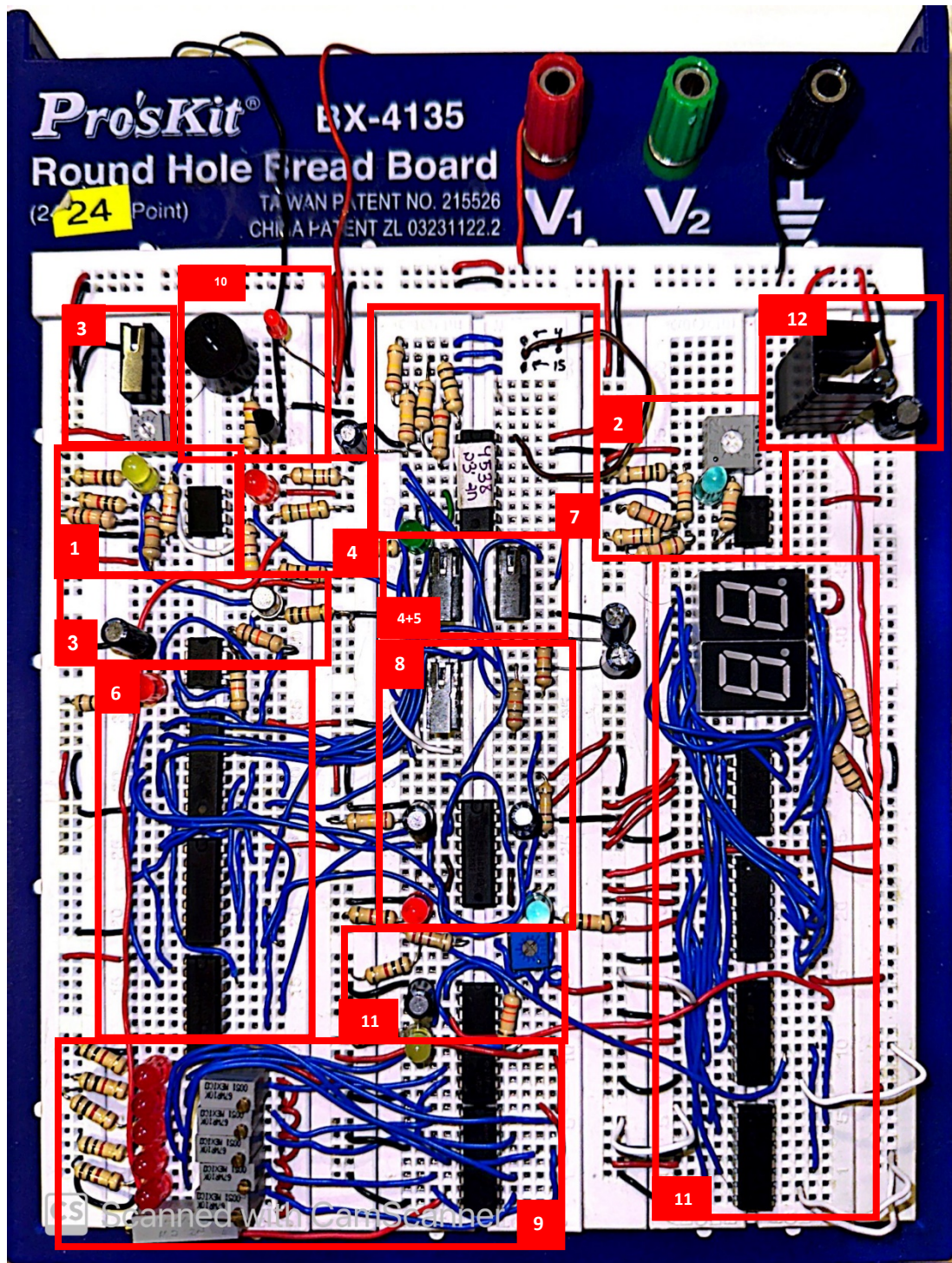
לאחר סיום כתיבת הקוד, הקוד הועלה ללוח ה UNO לצורך הפעלת המערכת ובדיקתה.

## 5. ניסויים ובדיקות.

לאחר הרכבת המעגלים על גבי מטריצת חיבורים נערכו סדרת ניסויים לבחינת תוצאות המימוש. בכלל המוצאים חוברו נורות לד המאפשר זיהוי ויזואלי של מוצאי המעגלים ובנוסף נמדדו ערכם על ידי צג הסקופ.

### 5.1 מערך הניסוי.

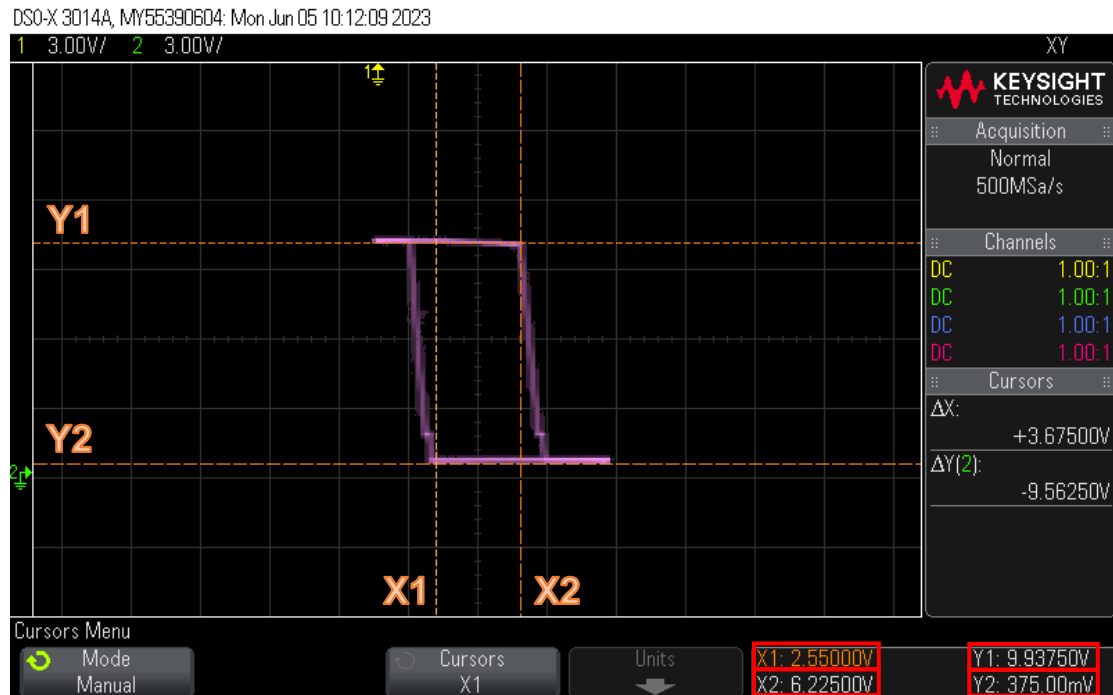
המערכת הורכבה באופן המתואר להלן:



איור 32- מטריצת החיבורים.

## 5.2 מכשירי המדידה.

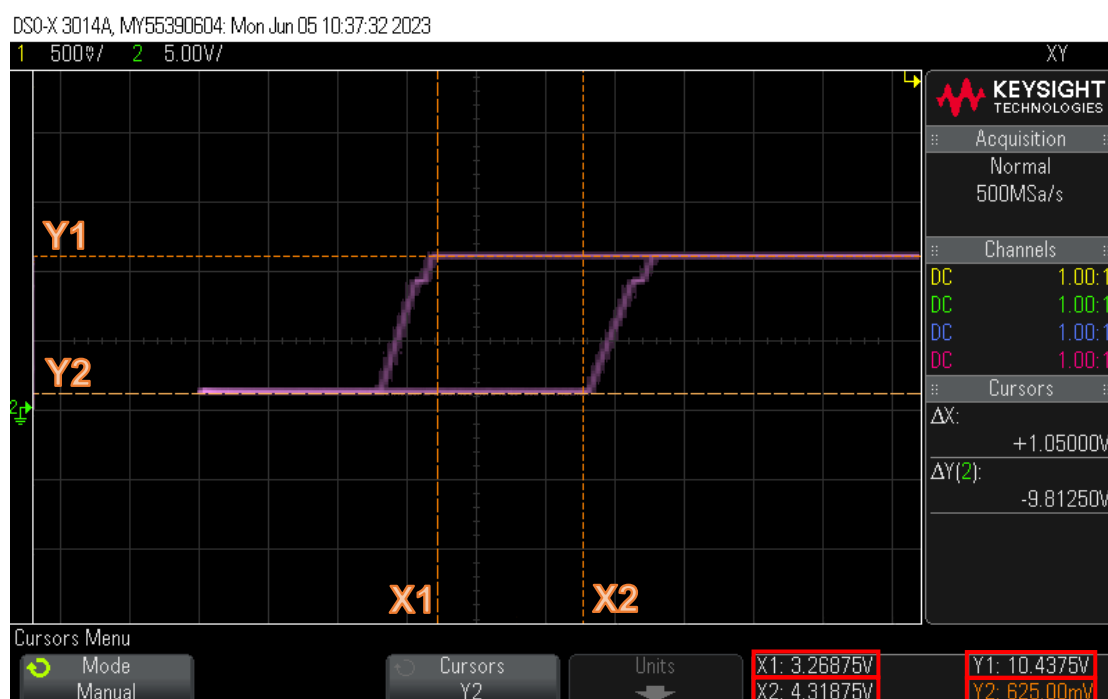
לצורך בדיקת תקינות מעגל בקרת טווח טמפרטורת מים חמים שנמצא בבולק 1 באיור 32 במטריצה, ובסכמת החיבורים באיור 15, חובר הסקופ למעגל.  
להלן תוצאות צג הסקופ:



איור 33- מעגל בקרת טווח טמפרטורת מים חמים.

ניתן לראות באיור 33 את תצורת מעגל בקרת טווח טמפרטורת מים חמים במישור XY. בנוסף, ניתן להבחין כי מדובר בעקומת חשל ברורה שערכי הסף שלה מסומנים באמצעות Cross X1 ו-Cross X2. עקומת חשל (עקומת היסטריזיס) היא עיכוב בתגובה לעירור של מערכת. ברגע שאות הכניסה מגיע למתח הסף התחתון (Cross X1) מתקבל במוצא 1 לוגי וברגע שאות הכניסה מגיע למתח הסף העליון (Cross X2) אות המוצא מקבל ערך של 0 לוגי. ערכי הסף Cross X1 ו-Cross X2 שהתקבלו הינם בהתאמה 2.55[V] ו- 6.225[V]. ערכים מדודים אלה כמעט זהים לערכים התיאורטיים שהינם: מתח 2.6[V] מצביע על 50°C ומתח 6.25[V] מצביע על 90°C. ניתן לראות את הערכים התיאורטיים בטבלה 1. מתוך כך ניתן לראות כי אכן טווח הטמפרטורה הרצוי נשמר.

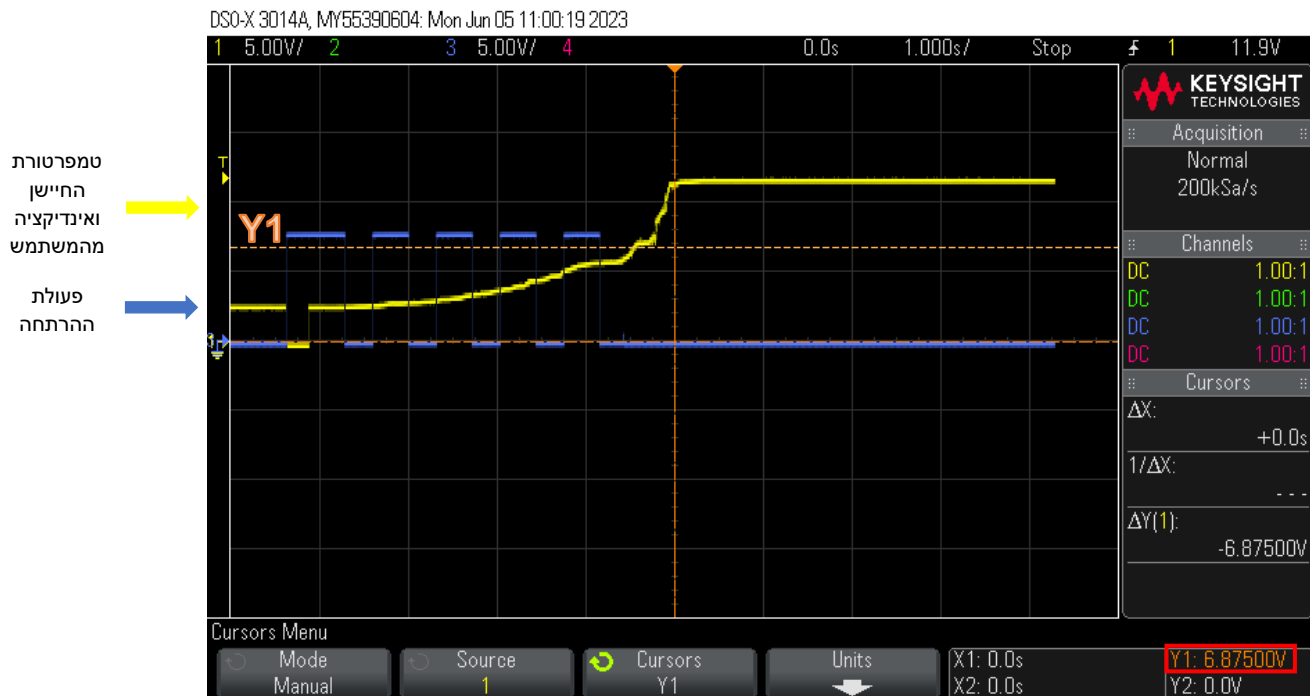
לצורך בדיקת תקינות מעגל בקרת טווח טמפרטורת מים קרים שנמצא בבולק 2 באיור 32 במטריצה, ובסכמת החיבורים באיור 16, חובר הסקופ למעגל.  
להלן תוצאות צג הסקופ:



איור 34- מעגל בקרת טווח טמפרטורת מים קרים.

ניתן לראות באיור 34 את תצורת מעגל בקרת טווח טמפרטורת מים קרים במישור XY. בנוסף, ניתן להבחין כי מדובר בעקומת חשל ברורה שערכי הסף שלה מסומנים באמצעות Cross X1 ו- Cross X2. עקומת חשל (עקומת היסטריזיס) היא עיכוב בתגובה לעירור של מערכת. ברגע שאות הכניסה מגיע למתח הסף התחתון (Cross X1) מתקבל במוצא 0 לוגי וברגע שאות הכניסה מגיע למתח הסף העליון (Cross X2) אות המוצא מקבל ערך של 1 לוגי. ערכי הסף Cross X1 ו- Cross X2 שהתקבלו הינם בהתאמה 3.27[V] ו- 4.31[V]. ערכים מדודים אלה קרובים מאוד לערכים התיאורטיים שהינם: מתח 3.39[V] מצביע על 5° ומתח 4.02[V] מצביע על 10°C. ניתן לראות את הערכים התיאורטיים בטבלה 1. מתוך כך ניתן לראות כי אכן טווח הטמפרטורה הרצוי נשמר.

לצורך בדיקת תקינות מעגל הרתחת מים חמים שנמצא בבלוק 3 + 4 באיור 32 במטריצה, ובסכמת החיבורים באיור 17, חובר הסקופ למעגל.  
להלן תוצאות צג הסקופ:



איור 35- מעגל הרתחת מים חמים.

ניתן לראות באיור 34 שני גרפים.

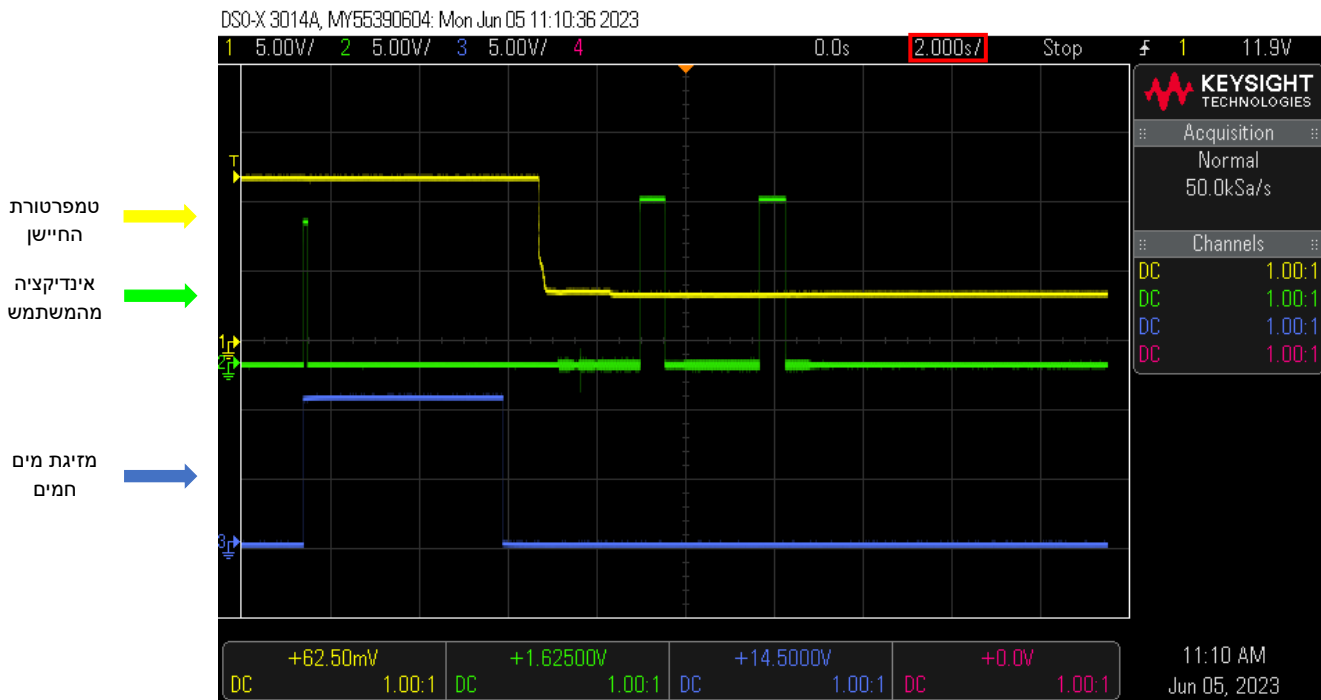
בגרף הצהוב ניתן לראות את טמפרטורת החיפוש באמצעות המתח עליו (ככל שטמפרטורת המים עולה כך יורד ערך ההתנגדות של החיפוש וכתוצאה מכך המתח על החיפוש עולה) ואת אינדיקציית ההפעלה מהמשתמש, בנוסף, ניתן לראות את 'הלם' שלילי הנוצר מלחיצת המשתמש על כפתור מזיגת המים החמים.

בגרף הכחול ניתן לראות את הבהוב נורת ההרתחה.

ניתן להבחין כי לאחר שמתקבלת בגרף הצהוב אינדיקציה (לחיצת כפתור) מהמשתמש מתקבל בגרף הכחול אות ריבועי שמראה את הבהוב נורת ההרתחה, בנוסף לכך, המתח על החיפוש גדל (כלומר הטמפרטורה גדלה) עד אשר הוא מגיע למתח של 6.875[V] שמצביע על 97°C, מתח מדוד זה כמעט זהה לערכו התיאורטי שהוא 6.89[V] לפי טבלה 1.

כאשר המתח על החיפוש מגיע למתח זה ניתן לראות את הפסקת האות הריבועי, מתוך זה ניתן לראות שהסתיימה פעולת ההרתחה ל- 97°C.

לצורך בדיקת תקינות מעגל מזיגת מים חמים שנמצא בבוקר 4 + 5 באיור 32 במטריצה,  
ובסכמת החיבורים באיור 18, חובר הסקופ למעגל.  
להלן תוצאות צג הסקופ:



איור 36- מעגל מזיגת מים חמים.

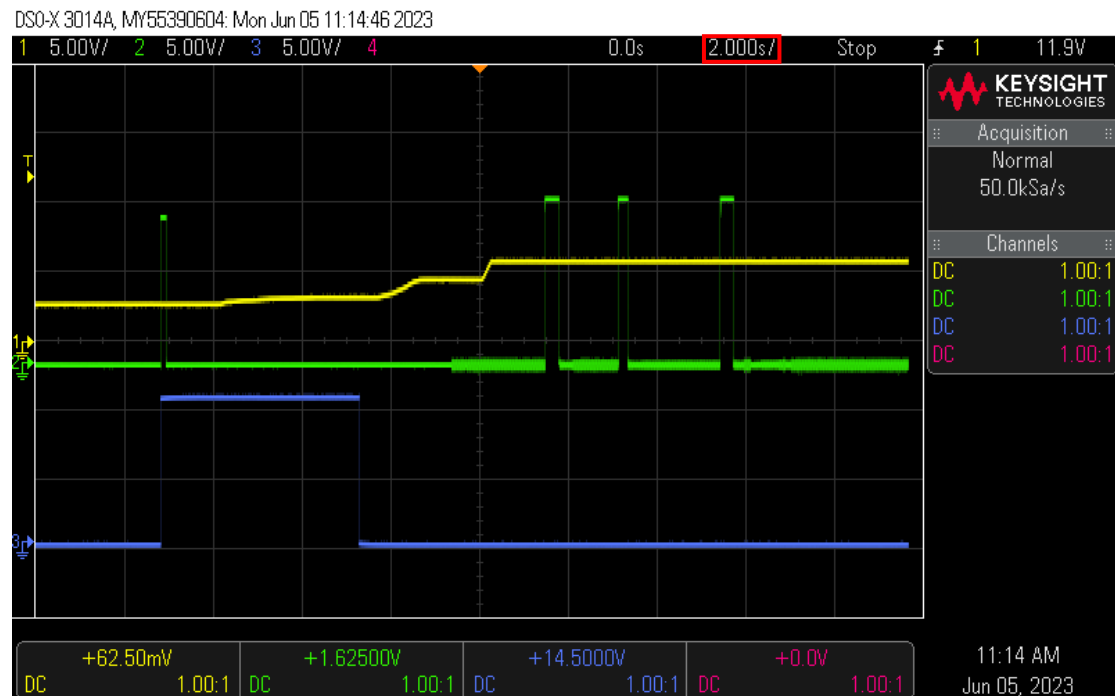
ניתן לראות באיור 36 שלושה גרפים.

בגרף הצהוב ניתן לראות את טמפרטורת החיפוש באמצעות המתח עליו (ככל שטמפרטורת המים עולה כך יורד ערך ההתנגדות של החיפוש וכתוצאה מכך המתח על החיפוש עולה).  
בגרף הירוק ניתן לראות 'הלמים', הלמים אלו נוצרים מלחיצתו של המשתמש על מתג המזיגה.

בגרף הכחול ניתן לראות את משך פעולת המזיגה.  
כל ריבוע בתצוגה מייצג 2[Sec] וכי רוחבו של הפולס המתקבל הוא בערך שני ריבועים, דבר זה מראה על תקינות זמן המזיגה (4[Sec]).  
ניתן להבחין בשלושה ניסיונות מזיגת מים מהמשתמש ('הלמים') כאשר רק הניסיון הראשון מצליח לגרום לפעולת מזיגה בעוד הניסיונות האחרים לא מצליחים, שוני זה נובע מכך שטמפרטורת המים מעל 90°C רק בזמן ניסיון הלחיצה הראשון, בעוד שניתן לראות שלאחר מכן בזמן הניסיונות האחרים המתח על החיפוש ירד משמעותית, כלומר טמפרטורת המים ירדה מ- 90°C, לכן ניסיונות הלחיצה האחרים לא מצליחים לגרום לפעולת מזיגה.



לצורך בדיקת תקינות מעגל מזיגת מים קרים שנמצא בבולק 2 + 4 + 5 באיור 32 במטריצה, ובסכמת החיבורים באיור 19, חובר הסקופ למעגל. להלן תוצאות צג הסקופ:



איור 37- מעגל מזיגת מים קרים.

ניתן לראות באיור 37 שלושה גרפים.

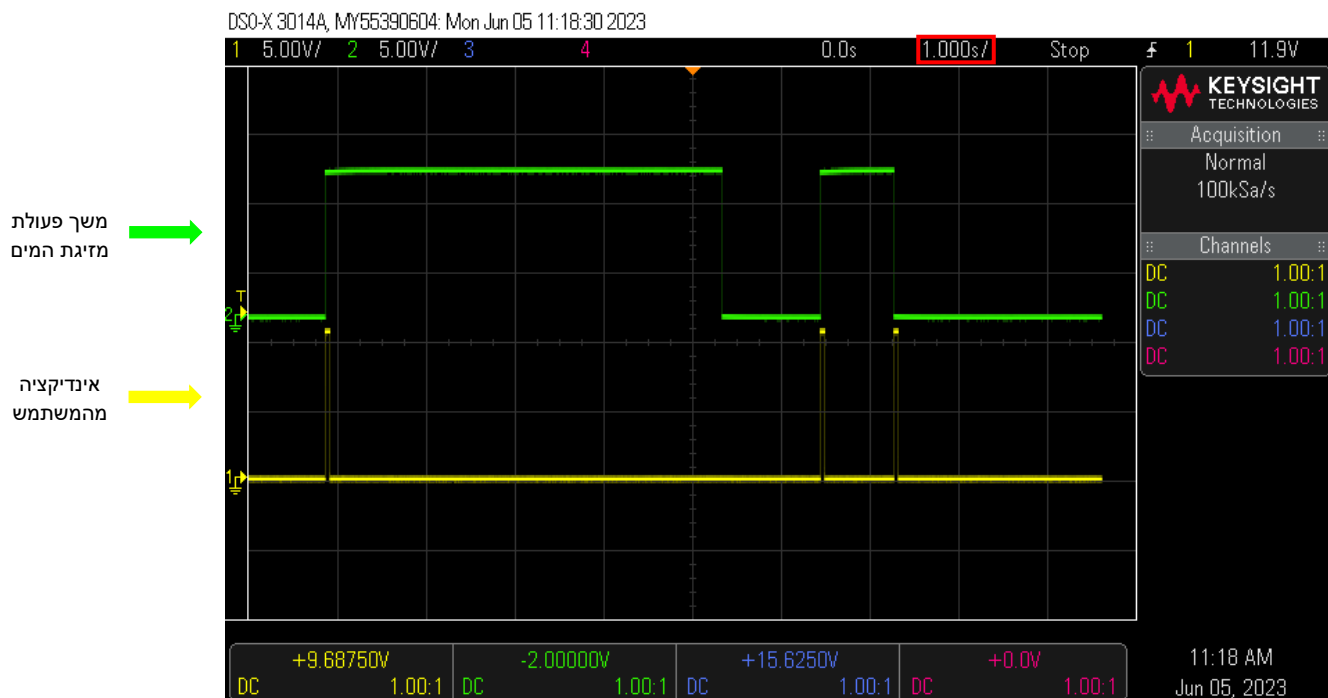
בגרף הצהוב ניתן לראות את טמפרטורת החיישן באמצעות המתח עליו (ככל שטמפרטורת המים עולה כך יורד ערך ההתנגדות של החיישן וכתוצאה מכך המתח על החיישן עולה). בגרף הירוק ניתן לראות 'הלמים', הלמים אלו נוצרים מלחיצתו של המשתמש על מתג המזיגה.

בגרף הכחול ניתן לראות את משך פעולת המזיגה.

כל ריבוע בתצוגה מייצג 2[Sec] וכי רוחבו של הפולס המתקבל הוא בערך שני ריבועים, דבר זה מראה על תקינות זמן המזיגה (4[Sec]).

ניתן להבחין בארבעה ניסיונות מזיגת מים מהמשתמש ('הלמים') כאשר רק הניסיון הראשון מצליח לגרום לפעולת מזיגה בעוד הניסיונות האחרים לא מצליחים, שוני זה נובע מכך שטמפרטורת המים בטווח הרצוי  $5^{\circ}\text{C} < \text{temp} < 10^{\circ}\text{C}$  רק בזמן ניסיון הלחיצה הראשון, בעוד שניתן לראות שלאחר מכן בזמן הניסיונות האחרים המתח על החיישן עלה משמעותית, כלומר טמפרטורת המים עלתה מ-  $10^{\circ}\text{C}$  וכבר לא בטווח הרצוי, לכן ניסיונות הלחיצה האחרים לא מצליחים לגרום לפעולת מזיגה.

לצורך בדיקת תקינות מעגל הפסקת מזיגת מים שנמצא בבלוק 6 באיור 32 במטריצה, ובסכמת החיבורים באיור 20, חובר הסקופ למעגל.  
להלן תוצאות צג הסקופ:

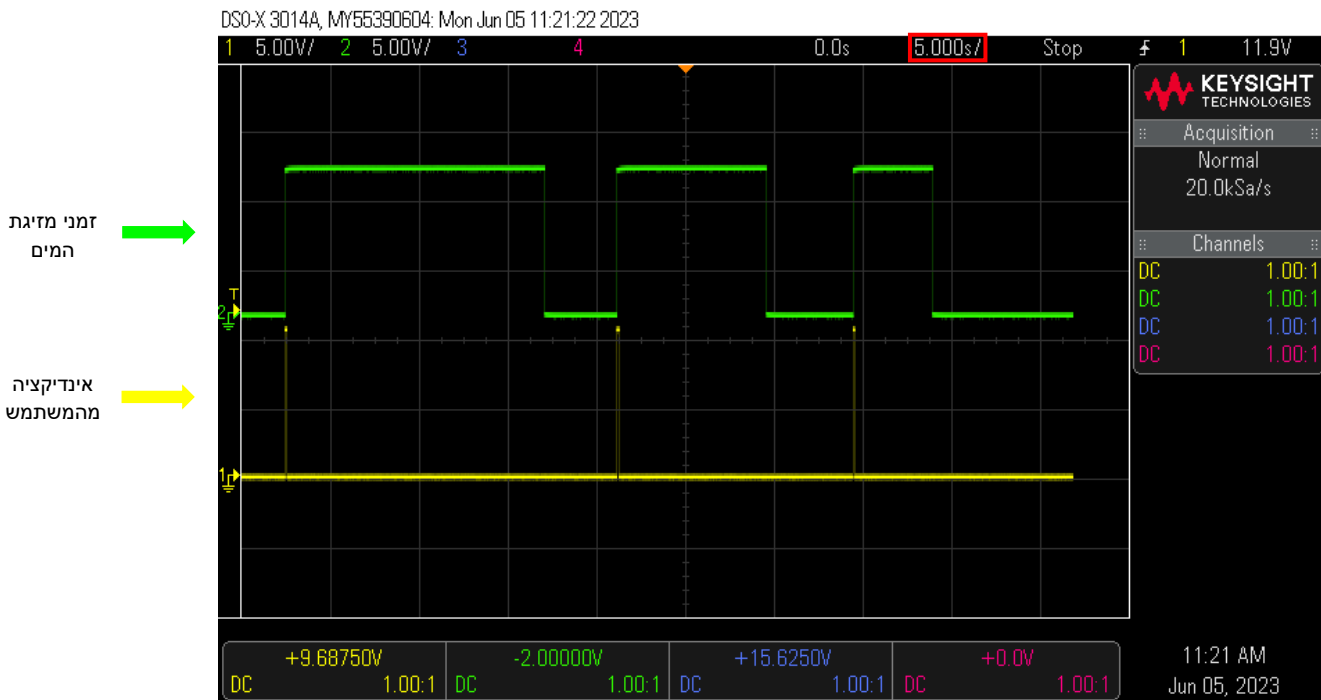


איור 38- מעגל הפסקת מזיגת מים.

ניתן לראות באיור 38 שני גרפים.  
בגרף הירוק ניתן לראות את משך פעולת מזיגת המים.  
בגרף הצהוב ניתן לראות 'הלמים', הלמים אלו נוצרים מלחיצתו של המשתמש על מתג המזיגה.  
כל ריבוע בתצוגה מייצג 1[Sec].  
בניסיון הלחיצה הראשון ניתן להבחין שזמן המזיגה הוא 4[Sec], בערך 4 ריבועים, לאחר מכן, בוצע ניסיון הלחיצה השני וניתן לראות כי התחילה שוב פעולת מזיגה, לבסוף, בוצע ניסיון הלחיצה השלישי וניתן לראות שפעולת המזיגה שהתחילה בניסיון המזיגה הקודם נקטעה ונעצרה.  
קטיעה זו נוצרת כתוצאה מלחיצה חוזרת על אחד מלחצני המערכת, דבר הגורם לעצירה מוחלטת של פעולת המזיגה לפי הדרישות.



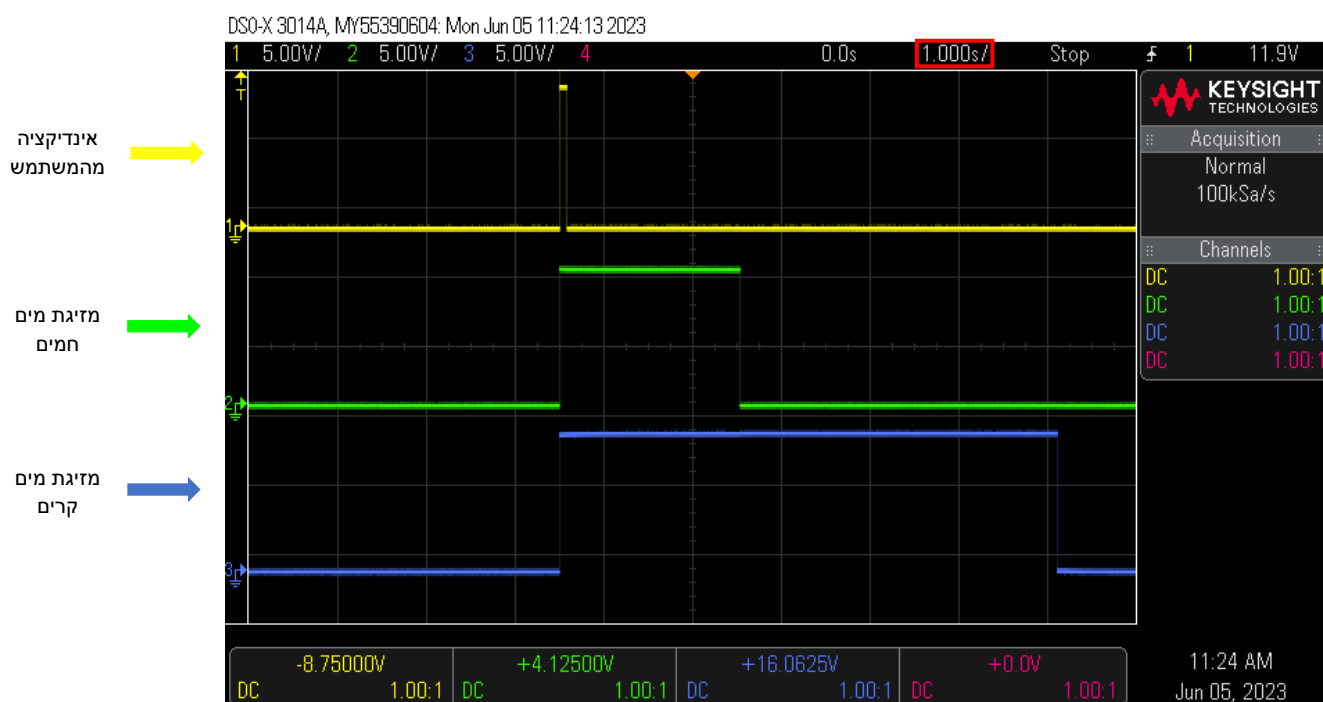
לצורך בדיקת תקינות מעגל הגדרת גודל הכוס שנמצא בבלוק 7 באיור 32 במטריצה, ובסכמת החיבורים באיור 21, חובר הסקופ למעגל.  
להלן תוצאות צג הסקופ:



איור 39- מעגל הגדרת גודל הכוס.

ניתן לראות באיור 39 שני גרפים.  
בגרף הירוק ניתן לראות את זמני מזיגת המים.  
בגרף הצהוב ניתן לראות 'הלמים', הלמים אלו נוצרים מלחיצתו של המשתמש על מתג המזיגה.  
כל ריבוע בתצוגה מייצג 5[Sec].  
בכל פעם ברגע שמתקבל מהמשתמש לחיצת מזיגת מים נוכל להבחין שמתחיל פולס, כל פעם באורך אחר, דבר זה נובע מהבחירה שהמשתמש מזין למערכת.  
בלחיצה הראשונה ניתן להבחין באורך פולס המשתרע על בערך 3 משבצות אשר מייצג את זמן המזיגה הארוך שהוא 15[Sec], לאחר מכן בלחיצה השנייה ישנו פולס המשתרע על בערך משבצת וחצי אשר מייצג את זמן המזיגה הבינוני שהוא 8[Sec] ולבסוף בלחיצה השלישית ישנו פולס המשתרע על כמעט משבצת אחת אשר מייצג את זמן המזיגה הקצר שהוא 4[Sec].

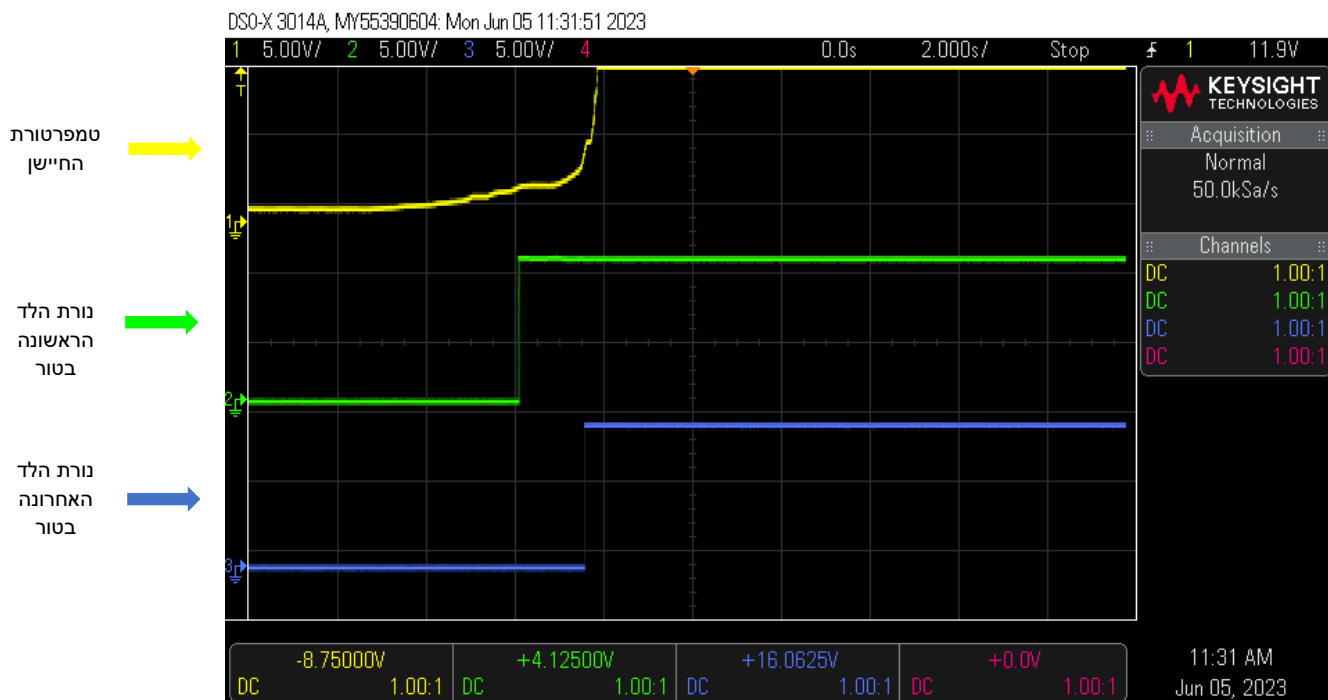
לצורך בדיקת תקינות מעגל מזיגת מים פושרים שנמצא בבולק 8 באיור 32 במטריצה,  
ובסכמת החיבורים באיור 22, חובר הסקופ למעגל.  
להלן תוצאות צג הסקופ:



איור 40- מעגל מזיגת מים פושרים.

ניתן לראות באיור 40 שלושה גרפים.  
בגרף הצהוב ניתן לראות 'הלמים', הלמים אלו נוצרים מלחיצתו של המשתמש על מתג המזיגה.  
בגרף הירוק ניתן לראות את משך פעולת המזיגה של המים החמים ובגרף הכחול את משך פעולת המזיגה של המים הקרים.  
כל ריבוע בתצוגה מייצג 1[Sec].  
לאחר ניסיון הלחיצה מהמשתמש ניתן לראות את משך זמן המזיגה של המים החמים שהוא 2[Sec], בערך 2 משבצות ואת משך זמן המזיגה של המים הקרים שהוא 6[Sec], כמעט 6 משבצות.  
ערכים מדודים אלו קרובים וכמעט זהים לערכים התיאורטיים שחושבו באמצעות טבלה 2.

לצורך בדיקת תקינות מעגל הצגת טמפרטורת מים חמים בזמן אמת שנמצא בבולק 9 באיור 32 במטריצה, ובסכמת החיבורים באיור 23, חובר הסקופ למעגל. להלן תוצאות צג הסקופ:



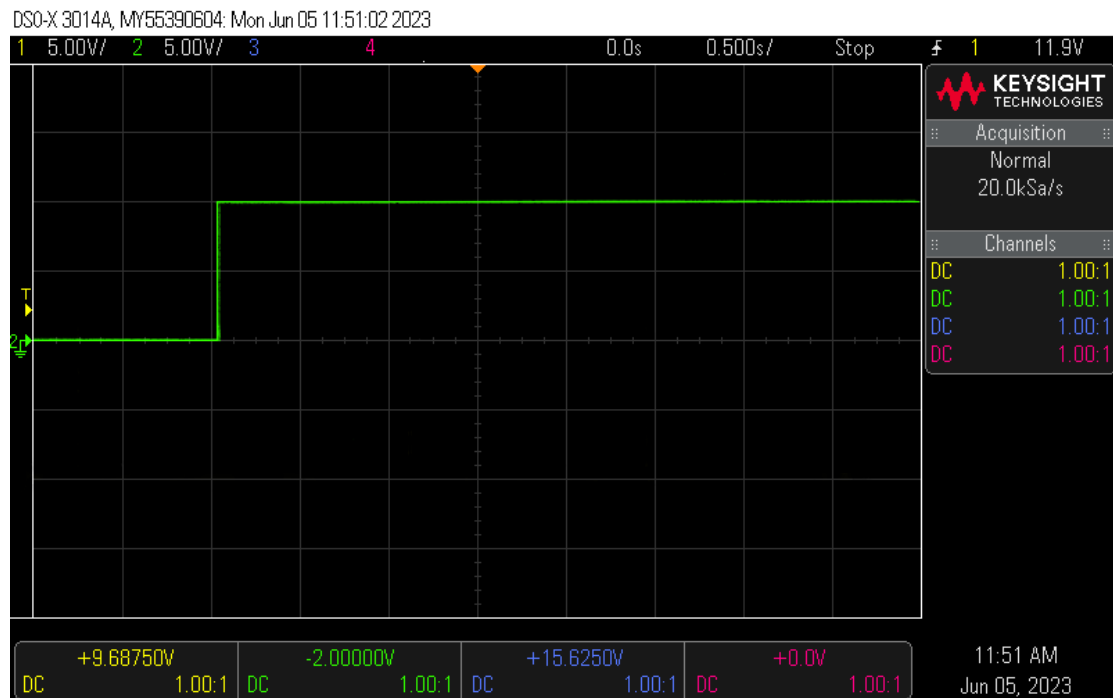
איור 41- מעגל הצגת טמפרטורת מים חמים בזמן אמת.

ניתן לראות באיור 41 שלושה גרפים.

בגרף הצהוב ניתן לראות את טמפרטורת החיפוש באמצעות המתח עליו (ככל שטמפרטורת המים עולה כך יורד ערך ההתנגדות של החיפוש וכתוצאה מכך המתח על החיפוש עולה). לאחר מכן טמפרטורת החיפוש גדלה וניתן לראות שינויים בגרפים הירוק והכחול. בגרף הירוק ניתן לראות לאחר שטמפרטורת החיפוש גדלה קצת את הדלקת נורת הלד הראשונה שמסמלת שטמפרטורת המים הגיעה לטווח  $50^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$ . בגרף הכחול ניתן לראות לאחר שטמפרטורת החיפוש גדלה יותר את הדלקת נורת הלד האחרונה שמסמלת שטמפרטורת המים הגיעה ליותר מ-  $90^{\circ}\text{C}$ .

לצורך בדיקת תקינות מעגל אזהרה מפני גלישת מים שנמצא בבולק 10 באיור 32 במטריצה,  
ובסכמת החיבורים באיור 24, חובר הסקופ למעגל.  
להלן תוצאות צג הסקופ:

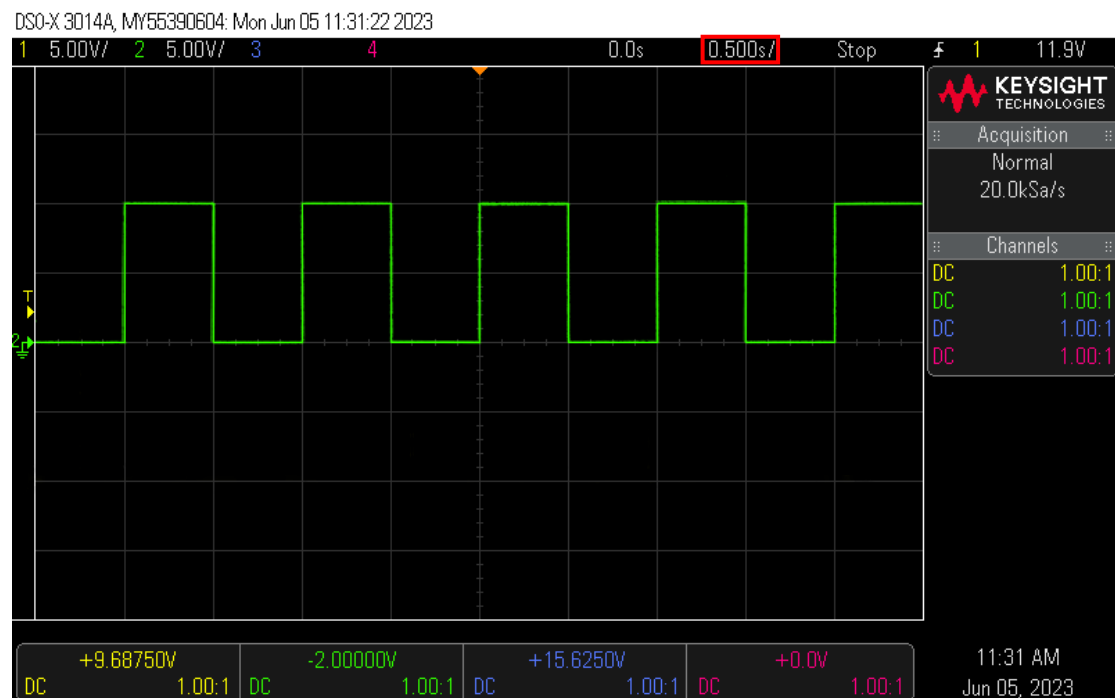
אזהרת  
גלישת מים



איור 42- מעגל אזהרה מפני גלישת מים.

ניתן לראות באיור 42 גרף אחד.  
ניתן להבחין בתצוגה ולראות כי כאשר נסגר המעגל, כלומר כאשר תא אחסון המים מתמלא  
במים וגורם לכך שהמעגל ייסגר, המשתמש מקבל אזהרה מפני גלישת מים בתא האחסון  
באמצעות נורת לד.

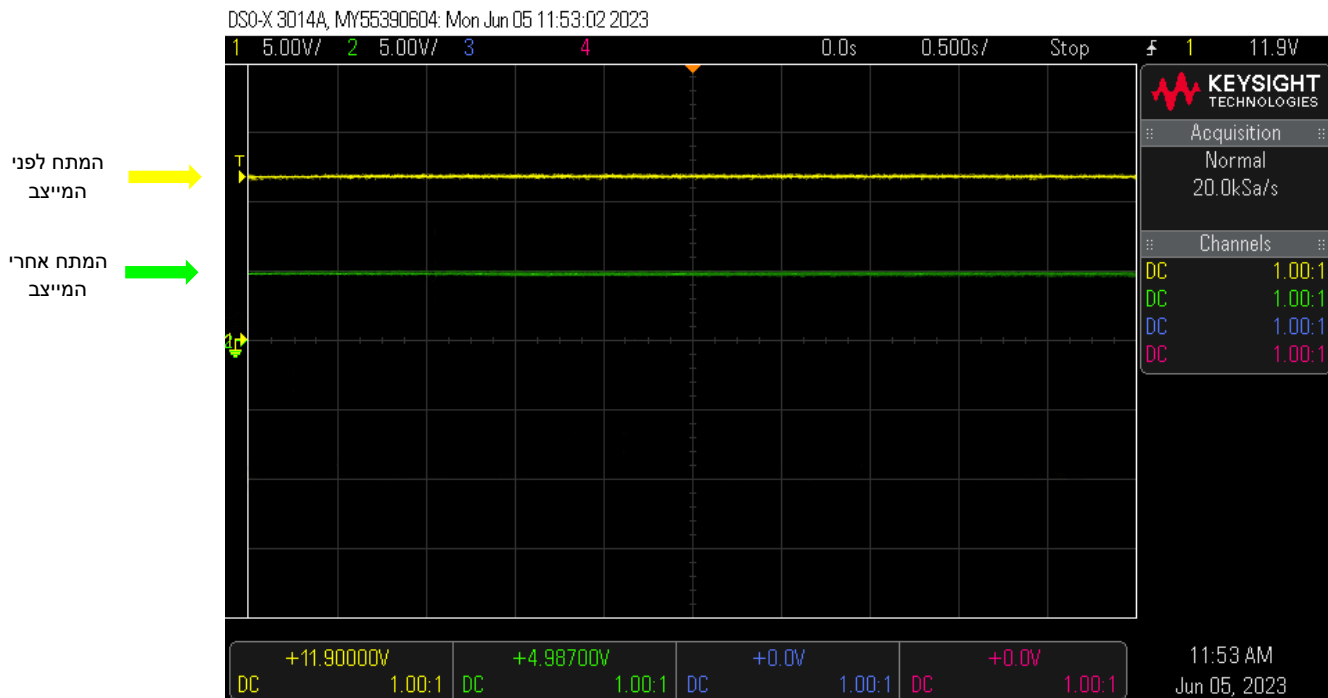
לצורך בדיקת תקינות שעון המערכת של מעגל הצגת משך הזמן הנותר למילוי הכוס שנמצא בבlook 11 באיור 32 במטריצה, ובסכמת החיבורים באיור 25, חובר הסקופ למעגל. להלן תוצאות צג הסקופ:



איור 43- מעגל הצגת משך הזמן הנותר למילוי הכוס.

ניתן לראות באיור 43 גרף אחד.  
ניתן להבחין בתצוגה ולראות את שעון המערכת.  
שעון זה משמש ליצירת המונה הבינארי הנועד לצורך הצגת משך הזמן הנותר למילוי הכוס באמצעות רכיבי 7 segment.  
ניתן לראות שכל ריבוע בתצוגה מייצג 0.5[Sec], בנוסף, את זמן המחזור של הגרף שווה בדיוק ל-2 משבצות, לכן ניתן להבין מכך שזמן המחזור של שעון המערכת הינו 1[Sec].

לצורך בדיקת תקינות מעגל מייצב מתח שנמצא בבלוק 12 באיור 32 במטריצה, ובסכמת החיבורים באיור 26, חובר הסקופ למעגל.  
להלן תוצאות צג הסקופ:



איור 44- מעגל מייצב מתח.

ניתן לראות באיור 44 שני גרפים.  
בגרף הצהוב ניתן לראות את רמת המתח לפני מייצב המתח.  
בגרף הירוק ניתן לראות את רמת המתח לאחר מייצב המתח.  
ניתן להבחין שהמעגל עושה את תפקידו כנדרש וכצפוי ומוריד את רמת המתח מ- 12[V]  
לפני מייצב המתח ל- 5[V] אחרי מייצב המתח.

## 6. תוצאות ומסקנות הפרויקט.

### 6.1. תוצאות הפעלת המערכת.

- במעגלי טווח הטמפרטורה התקבל כצפוי כי עבור טווח טמפרטורה רצוי במים חמים קיים היסטריזיס בין  $50^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$  להפעלת מכשיר חימום בכדי להגיע לרתיחה, וכן עבור טווח טמפרטורה רצוי במים קרים קיים היסטריזיס בין  $5^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}$  להפעלת מכשיר קירור בכדי להוריד טמפרטורה למצב הרצוי.
- במעגל הרתחת מים חמים התקבלה עבור אינדיקציית הרתחה מהמשתמש הפעלת נורת לד מהבהבת כנדרש והפעלת מכשיר חימום בכדי להגיע לרתיחה ב-  $97^{\circ}\text{C}$  כצפוי.
- במעגלי מזיגת מים חמים או קרים בהתאמה מתקבלת כצפוי הפעלה של המשאבה האחראית על מזיגת המים והפעלת הלד המתאים עבור אינדיקציה מתאימה מהמשתמש לטווח הטמפרטורה הרצוי במים החמים ( $50^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$ ) או הקרים ( $5^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}$ ). כשמתקבלת בהתאמה אינדיקציה מהמשתמש למזיגת מים חמים או קרים כאשר המים לא בטווח הטמפרטורה הרצוי שלהם לא מופעלת המשאבה.
- במעגל הפסקת מזיגת מים חמים, קרים או פושרים מתקבלת כצפוי עצירה מוחלטת של פעולת המזיגה עבור קבלת אינדיקציה כלשהיא מהמשתמש באמצעות אחד הכפתורים במעגל בזמן מזיגת המים.
- במעגל הגדרת גודל הכוס התקבלו זמני המזיגה הנדרשים ( $4[\text{Sec}]$ ,  $8[\text{Sec}]$ ,  $15[\text{Sec}]$ ) כפי שהיה ניתן לצפות בעבור קבלת האינדיקציה המתאימה מהמשתמש.
- במעגל מזיגת מים פושרים מתקבלת כצפוי הפעלה של המשאבות האחראיות על מזיגת המים החמים ( $2[\text{Sec}]$ ) והקרים ( $6[\text{Sec}]$ ) במקביל והפעלת הלד המתאים עבור אינדיקציה מהמשתמש המתאימה לטווח הטמפרטורה הרצוי במים הפושרים ( $25^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$ ). כשמתקבלת אינדיקציה מהמשתמש למזיגת מים פושרים כאשר המים לא בטווח הטמפרטורה הרצוי לא מופעלות המשאבות.
- במעגל הצגת טמפרטורת מים חמים בזמן אמת התקבל (באמצעות הסקופ ובאמצעות רצף נורות הלד על המטריצה) שכאשר טמפרטורת המים החמים הם  $50^{\circ}\text{C}$  נדלקת נורת הלד הראשונה וכאשר טמפרטורת המים החמים הם  $90^{\circ}\text{C}$  נדלקת נורת הלד האחרונה. ישנן 5 נורות לד, כל נורה מסמלת את המעלות שבין  $50^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$  בטווח של  $10^{\circ}\text{C}$ .
- במעגל אזהרה מפני גלישת מים התקבל כנדרש הפעלת נורת הלד והצפצפה כאשר נסגר מעגל ותא אחסון המים התמלא לחלוטין.
- במעגל הצגת משך הזמן הנותר למילוי הכוס התקבלה באמצעות רכיבי ה- 7 segment הצגת משך הזמן המתאים ( $4[\text{Sec}]$  או  $8[\text{Sec}]$  או  $15[\text{Sec}]$ ) שנותר למילוי הכוס באמצעות שעון המערכת וחייבורי הרכיבים המתאימים במטריצה כצפוי. בנוסף, המעגל הופעל רק באמצעות רמת המתח שהתקבלה לאחר מייצב המתח-  $5[\text{V}]$ .

### 6.1.1. שגיאות במערכת.

טווח טמפרטורה מים חמים וקרים- ישנה אפשרות שגיאה של עד כ-  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

טווח טמפרטורה מים פושרים- ישנה אפשרות שגיאה של עד כ-  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

טווח זמני המזיגה והספירה לאחר- ישנה אפשרות שגיאה של עד כ-  $\pm 0.5[\text{Sec}]$ .

- כל השגיאות במערכת נובעות מחוסר אידיאליות של רכיבי המעבדה וציוד הבדיקה.

### 6.1.2. אתגרים במהלך הפרויקט.

במהלך הפרויקט נתקלנו בקשיים ואתגרים רבים במעגלים שונים שדרשו חשיבה מאומצת. על ידי ביצוע ניסויים ובדיקות רבות בוצעו שינויים ותוספות מתאימות למעגלים השונים בכדי להגיע לפתרונות מתאימים ויעילים.

מוצגים להלן האתגרים הרבים בהן נתקלנו ודרכי החשיבה והפתרון שלהן:

- בקרת טווח טמפרטורת מים חמים- בתחילה נקבע מתח סף של  $90^{\circ}\text{C}$  למים החמים ובכל פעם כשירדה אפילו מעלה אחת הופעלה מחדש פעולה ההרתחה.
  - בעיה זאת נפתרה בעזרת מגבר משוב חיובי הנותן עקומת חשל בטווח הטמפרטורה הרצוי.
- בקרת טווח טמפרטורת מים קרים- בתחילה נבדק המעגל כאשר קוטביות נורת הLED שלו בממתח קדמי (כמו במים החמים) והמעגל אינו הגיב כצפוי.
  - רק לאחר בדיקה והסקת המסקנה שנורת הLED צריכה להיות בממתח אחורי המעגל הגיב ותפקד כצפוי.
- בקרת טווח טמפרטורת מים פושרים- לא נמצאה הדרך להגיע למצב כלשהו שיתקבלו מים פושרים בטווח הנדרש באמצעות ערבוב ביחס מסוים של מים חמים וקרים.
  - לאחר בדיקות וניסיונות רבות נמצאה הדרך לקבלת מים פושרים בטווח הרצוי. מים פושרים יתקבלו רק כאשר טמפרטורת המים החמים תהיה מעל ל-  $90^{\circ}\text{C}$  באמצעות יחס מזיגה של מים חמים-  $2[\text{Sec}]$  ושל מים קרים-  $6[\text{Sec}]$ .
- הרתחת מים חמים- כשנבנה המעגל בחיבור בטור למעגל בקרת טווח טמפרטורת מים חמים קרה משהו מוזר לרמת המתח במעגל, מסיבה לא ברורה המתח לאחר חיבור המעגל בטור ירד למתח אפסי שגרם לכך שהמעגל לא יפעל ולא תתבצע הרתחה, למרות זאת שכאשר המעגל היה מנותק מהטור המתח בנקודת חיבור המעגל נבדק באמצעות הרב מודד שהראה שהיה גבוה בהרבה וברור שמספיק להפעלת המעגל.
  - בעיה זו נפתרה באמצעות טרנזיסטור כאשר חובר המתח בנקודה לרגל B של הטרנזיסטור, הטרנזיסטור שלט בהעברת המתח למעגל באמצעות קבלת מתח ברגל B.



- הגדרת גודל הכוס- כשהורכבו רכיבי החד יציב במעגל התקבלו מעגלים מרצדים כשכל נגיעה קטנה במטריצה גרמה להפעלה של פולס חדש כלשהו מרכיבי החד יציב.
- לאחר חקירה עמוקה נמצאה הסיבה והפתרון לתופעה. בתחילה הורכבו במעגלים כפתורים שאין להם חיבור לאדמה לכן כל תנועה קטנה גרמה לפולס (אות 'הלם') קטן אשר הפעיל את החד יציב. לאחר שהורכב בכל כפתור נגד עומס קטן שחובר לאדמה המעגלים עבדו כנדרש. לבסוף נמצאו כפתורים בעלי רגל נוספת אשר לה חיבור לאדמה, מה שגרם לכך שכבר אין צורך בנגד העומס הקטן.
- עצירת מזיגת מים- כשהורכב המעגל התגלתה בעיה בעצירת המערכת.
- בעיה זו נפתרה באמצעות השהייה קטנה של נגד וקבל לאחר כל כפתור, השהייה יצרה פעולה תקינה של ברכיבי החד יציב.
- הצגת משך הזמן הנותר למילוי הכוס- המעגל נבנה באמצעות כמה סוגי רכיבים כשחלק מהם הוא רכיבי ה- 74LS47D Decoder, לאחר שנבדק ה- Datasheet שלו נמצא כי רכיב יכול לעבוד במקסימום מתח של  $5[V_{dc}]$  מה שלא תואם את המערכת שלנו שהופעלה במתח של  $12[V_{dc}]$ .
- לאחר חקירה על אמצעים להורדת מתח נמצאה ומומשה אפשרות של שימוש ברכיב LM7805 שתפקידו הוא מייצב מתח ל-  $5[V_{dc}]$ .
- הצגת טמפרטורת מים חמים בזמן אמת- כשנבנה המעגל הובן שהמעגל צורך מעל  $12[V]$  בשל צריכה רבה של נגדים ונורות לד, נבדקה האפשרות להגברת המתח באמצעות מגבר אך אפשרות זו לא צלחה והמתח לא הוגבר כראוי.
- לאחר חשיבה מרובה עלה הרעיון לפצל את המגבר ל- 5 מגברים ולשים מגבר לפני כל נורת לד עם הגברת מתח יותר קטנה מהתכנון וככה להתגבר על מכשול המגבר.

## 6.2. מסקנות הפרויקט.

- התכנון הראשוני הינו גורם מאוד משמעותי באיכות מימוש המעגל, לכן נדרש לבצע תכנון ראשוני מעמיק הכולל הבנת דרישות, סכמת בלוקים וביצוע סימולציות. דבר זה יעלה משמעותית את איכות מימוש המערכת בפועל.
- בעת בחירת רכיב, חשוב לעבור על דפי הנתונים שלו ולבדוק את אופן פעולתו ומתח ההספקה אליו הוא נדרש, דבר ימנע שריפת רכיבים ופגיעה כללית במערכת.
- חשוב לבצע מדידות לאחר כל מימוש של מעגל ולבצע השוואה לסימולציות שבוצעו קודם לכן, דבר זה מאמת כי אכן המעגל נבנה ומומש כנדרש, והוא מקיים את הדרישות.
- כאשר יש קשר בין מעגלים שונים, מומלץ להשתמש בטרנזיסטור כמתג בין המעגלים (ניתן לראות איור 17 לדוגמא), דבר זה יכול לעזור למנוע פגיעה במעגלים.
- בעת מימוש חלקי המעגל על המטריצה, מומלץ לתכנן את אופן בניית המעגל וזאת כדי שיהיה מספיק מקום לבניית כל המערכת על מטריצת החיבורים.
- ניתן לצמצם רכיבים במעגל ע"י שימוש ברכיב אחד בעל מימוש כפול.
- בעת מדידות בפועל מתקלים שגיאות גדולות יותר ביחס לסימולציות התאורטיות, כדי למנוע זאת חשוב לוודא כי ערכם של הרכיבים קרוב ככל שניתן לערכם של הרכיבים התאורטיים.
- כאשר יש הגבלת מתח ברכיב, אשר קטנה ממתח האספקה של המעגל, ניתן להשתמש במעגל מייצב מתח (ניתן לראות באיור 26).
- שימוש בבקר מתוכנת (ארדואינו) יעיל בהרבה מבניית מעגל על מטריצה, ניתן לראות כי המימוש של הארדואינו הינו מימוש קל יותר, גמיש יותר, מהיר יותר, נוח יותר ופשוט יותר. כמו כן ניתן לשנות בקלות בכל רגע את דרישות המערכת על ידי שינוי הקוד בקלות. שינוי בדרישות המערכת על המטריצה הינו שינוי מאוד מסורבל וארוך.
- בעת ביצוע סימולציה למערכת טרם הדפסת ה PCB, חשוב מאוד לרשום את שמו של כל רכיב וזאת כדי לאפשר לנו למקם בקלות את הרכיבים לאחר קבלת המעגל המודפס.
- בעת עבודה במעבדה, חשוב מאוד להקפיד על עבודה תקינה עם הציוד, לשמור על סביבה יבשה ונקייה. דברים אלו מונעים בעיות לא נעימות.

### 6.3. סיכום.

בפרויקט הנדסי זה תוכננה ויושמה מערכת בר מים חכמה אשר מספקת ומנגישה מים חמים, קרים ופושרים לשתיה.

בתחילה נלמדו ונותחו. דרישות אלו כללו:

שליטה בטווח הטמפרטורות של מים קרים וחמים, יצירת מים פושרים בטווח מסוים על ידי ערבוב מים חמים קרים ביחס מסוים, הרתחת מים חמים, מזיגת כוסות מים חמים וקרים בכמויות שונות ( $4[Sec]$ ,  $8[Sec]$ ,  $15[Sec]$ ), מתן אפשרות לעצירת מזיגת המים באמצעות לחיצה על אחד מכפתורי המערכת, הצגת טמפרטורת המים החמים והקרים ואת משך הזמן שנותר למזיגת הכוס בזמן אמת והתראת אזהרה למשתמש כאשר תא אחסון המים העודפים מלא.

מתוך דרישות אלו תוכננה סכמת בלוקים אשר באמצעותה תוכננה ויושמה המערכת כולה ברמת החיבורים והרכיבים.

תכנון החומרה בוצע לאחר מכן באמצעות תוכנת הדמיית הסימולציה Multisim אשר שימשה לבדיקה והדמיה של המעגלים במערכת בכדי לוודא שהם תקינים ואיכותיים.

לאחר השלמת תכנון החומרה, התכנון יושם על גבי מטריצת חיבורים. מטריצת החיבורים הראתה כיצד הרכיבים יהיו מחוברים זה לזה פיזית.

לאחר מכן בוצעו בדיקות תקינות המעגלים במטריצת החיבורים באמצעות סקופ. הסקופ שימש לבדיקת המעגלים כדי לוודא שהם פועלים כהלכה.

לאחר השלמת בדיקות תקינות המעגל במטריצה, תוכנן מעגל PCB עבור המערכת. מעגל PCB הוא לוח מעגלים מודפסים אשר משמש להפוך את המעגלים לקלים יותר לייצור.

לאחר המימוש תוכנן מעגל PCB המוכן להדפסה עבור מערכת זו.

בנוסף, המערכת כולה תוכננה ומומשה באמצעות מיקרו-בקר (ארדואינו), מיקרו-בקר זה הוא מחשב קטן שניתן לתכנת ולשלט במכשירים אלקטרוניים. שימוש במיקרו-בקר מאפשר את יישום מערכת בר המים בקלות ומאפשר שדרוגים והתאמות אישיות עתידיות.

במהלך כל העבודה בפרויקט נעשה תיעוד של המדידות שנעשו. תיעוד זה שימש לביצוע תיקונים במעגלים בכדי לייעל את המערכת.

## **7. רשימות.**

### **7.1. רשימת טבלאות.**

- טבלה 1- ערכי התנגדות חיישן טמפרטורה ..... 13
- טבלה 2- ערכי התנגדות חיישן הטמפרטורה למים פושרים ..... 13
- טבלה 3- מתח כתלות בטמפרטורה עבור הצגת טמפ' ..... 25
- טבלה 4- ערכי כניסות המונה הבינארי ..... 28

### **7.2. רשימת איורים.**

- איור 1- מכונת השאדוף ..... 3
- איור 2- תצוגת בר המים אריאל 8 ..... 4
- איור 3- סכמת בלוקים עבור בקרת טמפרטורה ..... 8
- איור 4- סכמת בלוקים עבור הרתחת מים חמים ..... 9
- איור 5- סכמת בלוקים עבור מזיגת מים חמים ..... 9
- איור 6- סכמת בלוקים עבור מזיגת מים קרים ..... 9
- איור 7- סכמת בלוקים עבור בקרת גודל הכוס (זמן מזיגה) ..... 10
- איור 8- סכמת בלוקים עבור מזיגת מים קרים ..... 10
- איור 9- סכמת בלוקים עבור ספירה לאחור בעת מזיגה ..... 10
- איור 10- סכמת בלוקים עבור הצגת מערך טווח טמפרטורת ..... 11
- איור 11- סכמת בלוקים עבור בקרת לחצנים ..... 11
- איור 12- סכמת בלוקים עבור בקרת גלישת מים ..... 11
- איור 13- גרף של חיישן הטמפרטורה (NTC) ביחס להתנגדות ..... 12
- איור 14- תרשים זרימה כללי של המערכת ..... 14
- איור 15- מעגל שמירת טווח טמפ' של המים החמים ..... 16
- איור 16- מעגל שמירת טווח טמפ' של המים הקרים ..... 17
- איור 17- מעגל הרתחת מים, נורת הלבד מהבהבת בעת ההרתחה ..... 18
- איור 18- מעגל מזיגת מים חמים ..... 19
- איור 19- מעגל מזיגת מים קרים ..... 20
- איור 20- בלוק עצירת מערכת בעת מזיגה ולחיצה ..... 21
- איור 21- מעגלי בקרת גדלי כוס ..... 22
- איור 22- מעגל בקרת מים פושרים ..... 23
- איור 23- מעגל הצגת טמפרטורת חמים בזמן אמת ..... 24
- איור 24- מעגל אזהרה מפני גלישת מים ..... 26
- איור 25- מעגל הצגת משך זמן נותר למילוי כוס ..... 27

29	איור 26- מעגל המייצב מתח
30	איור 27- PCB של כלל המערכת בתצוגת תלת ממד
30	איור 28- PCB של כלל המערכת ברמת חיבורים
31	איור 29- סכמת חיבורים ארדואינו
31	איור 30- סכמת חיבורים
32	איור 31- סכמת חיבורים
33	איור 32- מטריצת החיבורים
34	איור 33- מעגל בקרת טווח טמפרטורת מים חמים
35	איור 34- מעגל בקרת טווח טמפרטורת מים קרים
36	איור 35- מעגל הרתחת מים חמים
37	איור 36- מעגל מזיגת מים חמים
38	איור 37- מעגל מזיגת מים קרים
39	איור 38- מעגל הפסקת מזיגת מים
40	איור 39- מעגל הגדרת גודל הכוס
41	איור 40- מעגל מזיגת מים פושרים
42	איור 41- מעגל הצגת טמפרטורת מים חמים בזמן אמת
43	איור 42- מעגל אזהרה מפני גלישת מים
44	איור 43- מעגל הצגת משך הזמן הנותר למילוי הכוס
45	איור 44- מעגל מייצב מתח

## 8. נספחים.

### 8.1. דפי נתונים.

מגברי שרת LM358-

<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/General/LM358.pdf>

חיישן טמפרטורה NTC-

<https://www.tme.eu/Document/7f93a3d121ea8402378cf8bc6239e8d2/B57164K104J-EPCOS-datasheet-10192.pdf>

נורות לד-

[http://www1.futureelectronics.com/doc/EVERLIGHT%C2%A0/334-15\\_\\_T1C1-4WYA.pdf](http://www1.futureelectronics.com/doc/EVERLIGHT%C2%A0/334-15__T1C1-4WYA.pdf)

טרנזיסטור 2N2222-

<https://www.farnell.com/datasheets/296640.pdf>

זמן NE555P-

<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf>

שערי NOT-

[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4049ub.pdf?ts=1686026190157&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4049ub.pdf?ts=1686026190157&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)

שערי AND-

[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4081b.pdf?ts=1686048579648&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4081b.pdf?ts=1686048579648&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)

שערי OR-

<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4071b.pdf>

חד יציב MC14538-

<https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/mc14538b-d.pdf>

טרנזיסטור MPSA06031-

<https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/mpsa05-d.pdf>

Active Buzzer-

<http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/LTE12-Series.pdf>

7 segment-

<https://www.farnell.com/datasheets/2095789.pdf>

74LS47D Decoder-

<http://www.sycelectronica.com.ar/semiconductores/74LS47.pdf>

74LS190D BCD-

[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74ls191.pdf?ts=1686064523218&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74ls191.pdf?ts=1686064523218&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)

## 8.2. קוד התוכנה של הבקר המתוכנת (ארדואינו).

```
#include <math.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // ספרייה למסך

#define sensor1 A0 // ntc חמים
#define sensor2 A1 // ntc קרים
#define lukewarm_led 9 // לד פושרים
#define warning_led 10 // לד אזהרה

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

const int ntc_hot = A0; // חיישן טמפרטורה חמים
const int ntc_cold = A1; // חיישן טמפרטורה קרים
const int boil_led = 2; // הבהוב לד הרתחה

int boil_button = 0; // הרתחה
int hot_button = 0; // מזיגה חמים
int cold_button = 0; // מזיגה קרים
int lukewarm_button = 0; // מזיגה פושרים
int sec_4_button = 0; // שניות מזיגה 4
int sec_8_button = 0; // שניות מזיגה 8
int sec_15_button = 0; // שניות מזיגה 15
int pouring_time=0; // משתנה לזמן מזיגת כוס
int overflow = 0; // חיישן לחות
double lukewarm_temperature = 0; // משתנה לטמפרטורת מים פושרים

byte degree[] = {B00110,B01001,B01001,B00110,B00000,B00000,B00000,B00000};
// קוד לסימן מעלות

void setup() // תוכנית ראשית שרצה בהתחלה
{
    lcd.init(); // הפעלת מסך
    lcd.backlight(); // הפעלת תאורה אחורית
    lcd.begin(16,2); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
    lcd.createChar(1, degree); // הגדרת 1 לסימן מעלות
    lcd.setCursor(3,0); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
    lcd.print("Welcome to"); // הדפסה
    lcd.setCursor(5,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
    lcd.print("Ariel 8");
    delay(2500); // השהייה של 2 וחצי שניות
    lcd.clear(); // נקה מסך
    Serial.begin(9600); // הגדר קצב העברת נתונים עבור תקשורת טורית
    pinMode(boil_led, OUTPUT); // לד הבהוב בעת הרתחה
}
```

```

void loop() // תוכנית שרצה בצורת לולאה
{
/*-----בלוק חישוב טמפרטורת מים חמים וקרים-----*/
/*-----חישוב טמפרטורת חמים-----*/
    int ntc_hot_adc;
    double output_voltage_1, ntc_hot_resistance, ntc_hot_resistance_ln,
hot_temperature;
    ntc_hot_adc = analogRead(ntc_hot);
    output_voltage_1 = ( (ntc_hot_adc * 5.0) / 1023.0 );
    ntc_hot_resistance = ( ( 5 * ( 10.0 / output_voltage_1 ) ) - 10 ); /*
Resistance in kilo ohms */
    ntc_hot_resistance = ntc_hot_resistance * 1000;
    ntc_hot_resistance_ln = log(ntc_hot_resistance); // התנגדות באוהם
    hot_temperature = ( 1 / ( 0.001129148 + ( 0.000234125 *
ntc_hot_resistance_ln ) + ( 0.0000000876741 * ntc_hot_resistance_ln *
ntc_hot_resistance_ln * ntc_hot_resistance_ln ) ) ) - 273.15; /* טמפרטורה במעלות
/*-----חישוב טמפרטורת קרים-----*/
    int ntc_cold_adc;
    double output_voltage_2, ntc_cold_resistance, ntc_cold_resistance_ln,
cold_temperature;
    ntc_cold_adc = analogRead(ntc_cold);
    output_voltage_2 = ( (ntc_cold_adc * 5.0) / 1023.0 );
    ntc_cold_resistance = ( ( 5 * ( 10.0 / output_voltage_2 ) ) - 10 ); /*
Resistance in kilo ohms */
    ntc_cold_resistance = ntc_cold_resistance * 1000;
    ntc_cold_resistance_ln = log(ntc_cold_resistance);
    cold_temperature = ( 1 / ( 0.001129148 + ( 0.000234125 *
ntc_cold_resistance_ln ) + ( 0.0000000876741 * ntc_cold_resistance_ln *
ntc_cold_resistance_ln * ntc_cold_resistance_ln ) ) ) - 273.15; /*
/*-----הדפסת טמפרטורת חמים וקרים-----*/
    lcd.clear(); // ניקוי מסך
    lcd.setCursor(1,0); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
    lcd.print("Hot");
    lcd.setCursor(11,0); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
    lcd.print("Cold");
    lcd.setCursor(0,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
    lcd.print(hot_temperature);
    lcd.write(1); // הדפסת סימן מעלות
    lcd.print("C");
    lcd.setCursor(9,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
    lcd.print(cold_temperature);
    lcd.write(1); // הדפסת סימן מעלות
    lcd.print("C");
    delay(1000); // השהייה של שנייה
/*-----סוף בלוק חישוב טמפרטורה-----*/
/*-----בלוק זמני מזיגת מים חמים וקרים-----*/

```



```

/*-----בחירת זמן מזיגה-----*/
boil_button = digitalRead(4); // הרתחה
hot_button = digitalRead(5); // מזיגה חמים
cold_button = digitalRead(6); // מזיגה קרים
lukewarm_button = digitalRead(7); // מזיגה פושרים
sec_4_button = digitalRead(8); // 4 שניות מזיגה
sec_8_button = digitalRead(11); // 8 שניות מזיגה
sec_15_button = digitalRead(12); // 15 שניות מזיגה
if((hot_button == HIGH && pouring_time == 0) || (cold_button == HIGH &&
pouring_time == 0)) // אם נלחץ כפתור מזיגת חמים/קרים ולא נבחר זמן מזיגה
{
    lcd.clear(); // ניקוי מסך
    lcd.print("Please Select"); // מבקש לבחור זמן מזיגה
    lcd.setCursor(0,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
    lcd.print("a pouring time");
    while(sec_4_button == LOW && sec_8_button == LOW && sec_15_button == LOW)
    // לולאה לבדיקת לחיצה
    {
        sec_4_button = digitalRead(8); // בודק אם נבחר 4 שניות
        sec_8_button = digitalRead(11); // בודק אם נבחר 8 שניות
        sec_15_button = digitalRead(12); // בודק אם נבחר 15 שניות
        if(sec_4_button==HIGH) // אם נבחר 4 שניות
        {
            pouring_time = 4; // משתנה זמן מזיגה
            lcd.clear(); // נקה מסך
            lcd.print("Pouring time:"); // מדפיס זמן נבחר
            lcd.setCursor(3,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
            lcd.print("4 Seconds");
            delay(2000); // השהייה של 2 שניות
            lcd.clear(); // ניקוי מסך
        }
        else if(sec_8_button==HIGH) // אם נבחר 8 שניות
        {
            pouring_time = 8; // משתנה זמן מזיגה
            lcd.clear(); // ניקוי מסך
            lcd.print("Pouring time:"); // מדפיס זמן נבחר
            lcd.setCursor(3,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
            lcd.print("8 Seconds");
            delay(2000); // השהייה של 2 שניות
            lcd.clear(); // ניקוי מסך
        }
        else if(sec_15_button==HIGH) // אם נבחר 15 שניות
        {
            pouring_time = 15; // משתנה זמן מזיגה
            lcd.clear(); // ניקוי מסך
            lcd.print("Pouring time:"); // מדפיס זמן נבחר
            lcd.setCursor(3,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
            lcd.print("15 Seconds");
        }
    }
}

```

```

delay(2000); // השהייה של 2 שניות
lcd.clear(); // ניקוי מסך
}
}
}
/*-----שינוי בחירת זמן מזיגה תוך כדי ריצה-----*/
if(sec_4_button==HIGH) // אם נבחר 4 שניות
{
pouring_time = 4; // משתנה זמן מזיגה
lcd.clear(); // נקה מסך
lcd.print("Pouring time:"); // מדפיס זמן נבחר
lcd.setCursor(3,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
lcd.print("4 Seconds");
delay(2000); // השהייה של 2 שניות
lcd.clear(); // נקה מסך
}
else if(sec_8_button==HIGH) // אם נבחר 8 שניות
{
pouring_time = 8; // משתנה זמן מזיגה
lcd.clear(); // נקה מסך
lcd.print("Pouring time:"); // מדפיס זמן נבחר
lcd.setCursor(3,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
lcd.print("8 Seconds");
delay(2000); // השהייה של 2 שניות
lcd.clear(); // נקה מסך
}
else if(sec_15_button==HIGH) // אם נבחר 15 שניות
{
pouring_time = 15; // משתנה זמן מזיגה
lcd.clear(); // נקה מסך
lcd.print("Pouring time:"); // מדפיס זמן נבחר
lcd.setCursor(3,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
lcd.print("15 Seconds");
delay(2000); // השהייה של 2 שניות
lcd.clear(); // נקה מסך
}
/*-----סוף בלוק זמני מזיגת מים חמים וקרים-----*/
/*-----בלוק מזיגת מים חמים-----*/
hot_button = digitalRead(5); // ערך לחצן חמים
if( hot_button == HIGH && hot_temperature > 90.00 ) // תנאי אם נלחץ מזיגת חמים וטמפ' מעל 90 מעלות
{
digitalWrite(2, HIGH); // מדליק לד מזיגת חמים
for(int i=0; i < pouring_time ; i++) // לולאה להדפסת זמן מזיגה נותר
{
lcd.clear(); // נקה מסך
lcd.print("Time left for"); // מדפיס זמן מזיגה
lcd.setCursor(0,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית

```

```

lcd.print("pouring : ");
lcd.print(pouring_time - i);
delay(1000); // השהייה של שנייה
boil_button = digitalRead(4); // הרתחה
hot_button = digitalRead(5); // מזיגה חמים
cold_button = digitalRead(6); // מזיגה קרים
lukewarm_button = digitalRead(7); // מזיגה פושרים
sec_4_button = digitalRead(8); // 4 שניות מזיגה
sec_8_button = digitalRead(11); // 8 שניות מזיגה
sec_15_button = digitalRead(12); // 15 שניות מזיגה
/*---*//
if(boil_button == HIGH || hot_button == HIGH || cold_button == HIGH ||
lukewarm_button == HIGH || sec_4_button == HIGH|| sec_8_button == HIGH ||
sec_15_button == HIGH)
break; // מפסיק מזיגה
}
digitalWrite(2, LOW); // מכבה לד מזיגת חמים
delay(500); // השהייה של חצי שנייה
}
/*-----*//
/*-----*//
cold_button = digitalRead(6); // ערך לחצן קרים
if( cold_button == HIGH) // תנאי אם נלחץ מזיגת קרים
{
digitalWrite(3, HIGH); // מדליק לד מזיגת קרים
for(int i=0; i < pouring_time ; i++) // לולאה להדפסת זמן מזיגה נותר
{
lcd.clear(); // נקה מסך
lcd.print("Time left for"); // מדפיס זמן מזיגה
lcd.setCursor(0,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
lcd.print("pouring : ");
lcd.print(pouring_time - i);
delay(1000); // השהייה של שנייה
boil_button = digitalRead(4); // הרתחה
hot_button = digitalRead(5); // מזיגה חמים
cold_button = digitalRead(6); // מזיגה קרים
lukewarm_button = digitalRead(7); // מזיגה פושרים
sec_4_button = digitalRead(8); // 4 שניות מזיגה
sec_8_button = digitalRead(11); // 8 שניות מזיגה
sec_15_button = digitalRead(12); // 15 שניות מזיגה
/*---*//
if(boil_button == HIGH || hot_button == HIGH || cold_button == HIGH ||
lukewarm_button == HIGH || sec_4_button == HIGH|| sec_8_button == HIGH ||
sec_15_button == HIGH)
break; // מפסיק מזיגה
}
digitalWrite(3, LOW); // מכבה לד מזיגת קרים
delay(500); // השהייה של חצי שנייה

```

```

}
/*----- סוף בלוק מזיגת מים קרים -----*/
/*----- בלוק מזיגת מים פושרים (8 שניות) -----*/
lukewarm_temperature = ((hot_temperature*2 + cold_temperature*6) / 8 ); //
חישוב טמפרטורת פושרים ע"י נוסחאה לפי 2,6 שניות של זמני מזיגה בהכפלת הטמפרטורה בהתאמה
lukewarm_button = digitalRead(7); // ערך לחצן פושרים
// delay(100);
if (lukewarm_button == HIGH ) // תנאי אם נלחץ מזיגת קרים
{
if (lukewarm_temperature > 25 && lukewarm_temperature < 35 ) // תנאי למזיגת מים
פושרים
{
for(int i = 0; i < 8 ; i++) // לולאה להדפסת זמן מזיגה נותר
{
digitalWrite(lukewarm_led, HIGH); // מדליק לד פושרים
if(i < 2) // תנאי שבוודק האם עבר 2 שניות ואז לוקח מהמים הקרים
digitalWrite(2, HIGH); // מדליק לד חמים למשך 2 שניות
else
{
digitalWrite(2, LOW); // מכבה לד חמים לאחר 2 שניות
digitalWrite(3, HIGH); // מדליק לד קרים למשך 6 שניות
}
}
lcd.clear(); // נקה מסך
lcd.print("Time left for");
lcd.setCursor(0,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
lcd.print("pouring : ");
lcd.print(7-i+1);
delay(1000); // השהייה של שנייה
boil_button = digitalRead(4); // הרתחה
hot_button = digitalRead(5); // מזיגה חמים
cold_button = digitalRead(6); // מזיגה קרים
lukewarm_button = digitalRead(7); // מזיגה פושרים
sec_4_button = digitalRead(8); // 4 שניות מזיגה
sec_8_button = digitalRead(11); // 8 שניות מזיגה
sec_15_button = digitalRead(12); // 15 שניות מזיגה
/*--- תנאי לבדיקה אם נלחץ כפתור בעת מזיגה אז מפסיק מזיגה ---*/
if(boil_button == HIGH || hot_button == HIGH || cold_button == HIGH ||
lukewarm_button == HIGH || sec_4_button == HIGH || sec_8_button == HIGH ||
sec_15_button == HIGH)
break; // מפסיק מזיגה
}
digitalWrite(3, LOW); // מכבה לד קרים
digitalWrite(2, LOW); // מכבה לד חמים
digitalWrite(lukewarm_led, LOW); // מכבה לד פושרים
delay(500); // השהייה של חצי שנייה
}

```

```

else
{
  lcd.clear(); // נקה מסך
  lcd.print("lukewarm temperature");
  lcd.setCursor(5,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
  lcd.print(lukewarm_temperature);
  delay(2000); // השהייה של 2 שניות
}
}

/*-----סוף בלוק מזיגת מים פושרים-----*/
/*-----בלוק לד אזהרה מפני גלישת מים-----*/
overflow = analogRead(A3); // בודק ערך מפלס חיישן לחות
//Serial.println(overflow); // הדפסת הערך
if (overflow > 550) // תנאי לגלישת מים
  digitalWrite(warning_led, HIGH); // מדליק לד אזהרה
else // אם לא גולש מכבה לד אזהרה
  digitalWrite(warning_led, LOW); // מכבה לד אזהרה
/*-----סוף בלוק לד אזהרה-----*/
/*-----בלוק בקרת הרתחת מים-----*/
/*-----בלוק בקרת הרתחת מים-----*/
boil_button = digitalRead(4); // ערך לחצן הרתחה
if (boil_button == HIGH || hot_temperature <= 50.00) // בודק האם נלחץ הרתחה או שטמפ' חמים מתחת ל 50 מעלות
{
  while(hot_temperature <= 97.00) // לולאת הרתחת מים חמים עד ל 97 מעלות
  {
    /*-----חישוב טמפרטורת חמים-----*/
    ntc_hot_adc = analogRead(ntc_hot);
    output_voltage_1 = ( (ntc_hot_adc * 5.0) / 1023.0 );
    ntc_hot_resistance = ( ( 5 * ( 10.0 / output_voltage_1 ) ) - 10 ); /*
    Resistance in kilo ohms */
    ntc_hot_resistance = ntc_hot_resistance * 1000;
    ntc_hot_resistance_ln = log(ntc_hot_resistance); /* Resistance in ohms */
    hot_temperature = ( 1 / ( 0.001129148 + ( 0.000234125 *
    ntc_hot_resistance_ln ) + ( 0.000000876741 * ntc_hot_resistance_ln *
    ntc_hot_resistance_ln * ntc_hot_resistance_ln ) ) ) - 273.15; /*
    Temperature in degree Celsius */
    /*-----חישוב טמפרטורת קרים-----*/
    ntc_cold_adc = analogRead(ntc_cold);
    output_voltage_2 = ( (ntc_cold_adc * 5.0) / 1023.0 );
    ntc_cold_resistance = ( ( 5 * ( 10.0 / output_voltage_2 ) ) - 10 );
    ntc_cold_resistance = ntc_cold_resistance * 1000;
    ntc_cold_resistance_ln = log(ntc_cold_resistance);
    cold_temperature = ( 1 / ( 0.001129148 + ( 0.000234125 *
    ntc_cold_resistance_ln ) + ( 0.000000876741 * ntc_cold_resistance_ln *
    ntc_cold_resistance_ln * ntc_cold_resistance_ln ) ) ) - 273.15;
  }
}

```

```

/*-----הדפסת טמפרטורת חמים וקרים-----*/
lcd.clear(); // נקה מסך
lcd.setCursor(0,0); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
lcd.print("Heats-Up");
lcd.setCursor(11,0); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
lcd.print("Cold");
lcd.setCursor(0,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
lcd.print(hot_temperature);
lcd.write(1); // הדפסת סימן מעלות
lcd.print("C");
lcd.setCursor(9,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
lcd.print(cold_temperature);
lcd.write(1); // הדפסת סימן מעלות
lcd.print("C");
/*-----הבהוב לד הרתחה-----*/
digitalWrite(boil_led, HIGH); // מדליק לד הרתחה
delay(500); // השהייה של חצי שנייה
digitalWrite(boil_led, LOW); // מכבה לד הרתחה
delay(500); // השהייה של חצי שנייה
/*-----מזיגת מים קרים-----*/
cold_button = digitalRead(6); // ערך לחצן קרים
if( cold_button == HIGH && pouring_time != 0) // תנאי אם נלחץ מזיגת קרים
{
    digitalWrite(3, HIGH); // מדליק לד קרים
    for(int i=0; i < pouring_time;i++) // לולאת הבהוב לד הרתחה ומזיגת מים קרים
    {
/*-----הבהוב לד הרתחה-----*/
digitalWrite(boil_led, HIGH); // מדליק לד הרתחה
delay(500); // השהייה של חצי שנייה
digitalWrite(boil_led, LOW); // מכבה לד הרתחה
delay(500); // השהייה של חצי שנייה
lcd.clear(); // נקה מסך
lcd.print("Time left for"); // מדפיס זמן מזיגה
lcd.setCursor(0,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
lcd.print("pouring : ");
lcd.print(pouring_time - i);
delay(1000); // השהייה של שנייה
boil_button = digitalRead(4); // הרתחה
hot_button = digitalRead(5); // מזיגה חמים
cold_button = digitalRead(6); // מזיגה קרים
lukewarm_button = digitalRead(7); // מזיגה פושרים
sec_4_button = digitalRead(8); // שניות מזיגה 4
sec_8_button = digitalRead(11); // שניות מזיגה 8
sec_15_button = digitalRead(12); // שניות מזיגה 15

```



```

lcd.clear(); // נקה מסך
}
else if(sec_15_button==HIGH) // אם נבחר 15 שניות
{
pouring_time = 15; // משתנה זמן מזיגה
lcd.clear(); // נקה מסך
lcd.print("Pouring time:"); // מדפיס זמן נבחר
lcd.setCursor(3,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
lcd.print("15 Seconds");
delay(2000); // השהייה של 2 שניות
lcd.clear(); // נקה מסך
}
}
}
/*-----שינוי בחירת זמן מזיגה תוך כדי ריצה-----*/
if(sec_4_button==HIGH) // אם נבחר 4 שניות
{
pouring_time = 4; // משתנה זמן מזיגה
lcd.clear(); // נקה מסך
lcd.print("Pouring time:"); // מדפיס זמן נבחר
lcd.setCursor(3,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
lcd.print("4 Seconds");
delay(2000); // השהייה של 2 שניות
lcd.clear(); // נקה מסך
}
else if(sec_8_button==HIGH) // אם נבחר 8 שניות
{
pouring_time = 8; // משתנה זמן מזיגה
lcd.clear(); // נקה מסך
lcd.print("Pouring time:"); // מדפיס זמן נבחר
lcd.setCursor(3,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
lcd.print("8 Seconds");
delay(2000); // השהייה של 2 שניות
lcd.clear(); // נקה מסך
}
else if(sec_15_button==HIGH) // אם נבחר 15 שניות
{
pouring_time = 15; // משתנה זמן מזיגה
lcd.clear(); // נקה מסך
lcd.print("Pouring time:"); // מדפיס זמן נבחר
lcd.setCursor(3,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
lcd.print("15 Seconds");
delay(2000); // השהייה של 2 שניות
lcd.clear(); // נקה מסך
}
}
/*-----מזיגת מים פושרים למשך 8 שניות בזמן הרתחה-----*/
lukewarm_temperature = ((hot_temperature*2 + cold_temperature*6) / 8 );
// חישוב טמפרטורת פושרים ע"י נוסחאה לפי 2,6 שניות של זמני מזיגה בהכפלת הטמפרטורה בהתאמה

```



```

lukewarm_button = digitalRead(7); // ערך לחצן פושרים
// delay(100);
if (lukewarm_button == HIGH ) // תנאי אם נלחץ מזיגת קרים
{
if (lukewarm_temperature > 25 && lukewarm_temperature < 35 ) // תנאי למזיגת
מים פושרים
{
for(int i = 0; i < 8 ; i++) // לולאה להדפסת זמן מזיגה נותר
{
digitalWrite(lukewarm_led, HIGH); // מדליק לד פושרים
if(i < 2) // תנאי שבודק האם עבר 2 שניות ואז לוקח מהמים הקרים
digitalWrite(2, HIGH); // מדליק לד חמים למשך 2 שניות
else
{
digitalWrite(2, LOW); // מכבה לד חמים לאחר 2 שניות
digitalWrite(3, HIGH); // מדליק לד קרים למשך 6 שניות
}
lcd.clear(); // נקה מסך
lcd.print("Time left for");
lcd.setCursor(0,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
lcd.print("pouring : ");
lcd.print(7-i+1);
delay(1000); // השהייה של שנייה
boil_button = digitalRead(4); // הרתחה
hot_button = digitalRead(5); // מזיגה חמים
cold_button = digitalRead(6); // מזיגה קרים
lukewarm_button = digitalRead(7); // מזיגה פושרים
sec_4_button = digitalRead(8); // שניות מזיגה 4
sec_8_button = digitalRead(11); // שניות מזיגה 8
sec_15_button = digitalRead(12); // שניות מזיגה 15
/*---*// תנאי לבדיקה אם נלחץ כפתור בעת מזיגה אז מפסיק מזיגה---*/
if(boil_button == HIGH || hot_button == HIGH || cold_button == HIGH ||
lukewarm_button == HIGH || sec_4_button == HIGH|| sec_8_button == HIGH
|| sec_15_button == HIGH)
break; // מפסיק מזיגה
}
digitalWrite(3, LOW); // מכבה לד קרים
digitalWrite(2, LOW); // מכבה לד חמים
digitalWrite(lukewarm_led, LOW); // מכבה לד פושרים
delay(500); // השהייה של חצי שנייה
}
else
{
lcd.clear(); // נקה מסך
lcd.print("lukewarm temperature");
lcd.setCursor(5,1); // הדפסה בשורה ועמודה ספציפית
lcd.print(lukewarm_temperature);
delay(2000); // השהייה של שנייה
}

```

```

}
}
/*-----לד אזהרת גלישה תוך כדי רתיחה-----*/
overflow = analogRead(A3); // בודק ערך מפלס חיישן לחות
//Serial.println(overflow); // הדפסת הערך
if (overflow > 550) // תנאי לגלישת מים
digitalWrite(warning_led, HIGH); // מדליק לד אזהרה
else // אם לא גולש מכבה לד אזהרה
digitalWrite(warning_led, LOW); // מכבה לד אזהרה
}
}
/*-----סוף בלוק בקרת הרתחת מים-----*/
}

```

## **9. מקורות ספרותיים.**

### **9.1. מקורות.**

Bazza, M. Overview of the History of Water Resources and Irrigation Management in the Near East Region. *Water Sci. Technol Water Supply* **2007**, 7, 201–209.

### **9.2. קישורים ברשת.**

ערך "בר מים" בויקיפדיה:

[https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%91%D7%A8\\_%D7%9E%D7%99%D7%9D](https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%91%D7%A8_%D7%9E%D7%99%D7%9D)

ערך "באר מים" בויקיפדיה:

[https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%91%D7%90%D7%A8\\_%D7%9E%D7%99%D7%9D](https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%91%D7%90%D7%A8_%D7%9E%D7%99%D7%9D)

מכללת הרצוג דעת, השקאה בתקופת המקרא, ד"ר יהושע בראנד:

<https://www.daat.ac.il/daat/kitveyet/mahanaim/hashkaa-2.htm>