



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול

אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321

אוניברסיטת בן גוריון בנגב

## תרגיל מעשי 3 : ארדואינו

קבוצה 1 - דניאלה הדס , עדן דפה , ענוג שטורפר , ניר משולם

318657962 | 314943572 | 314821182 | 209476399

### דו"ח:

#### 1. מטרת המערכת ותיאור משימת הבקרה:

אס"א בן-גוריון, ארגון הספורט של האוניברסיטה, מעוניין לשלב טכנולוגיות חכמות באימוני הספורטאים לצורך שיפור ביצועים, ייעול שגרת האימונים ומתן משוב בזמן אמת. במסגרת תרגיל זה, בחרנו לפתח מערכת אינטראקטיבית מבוססת מיקרו-בקר, המאפשרת מעקב אחר ביצועי הספורטאי במהלך אימוני שכיבות סמיכה. משימת הבקרה כוללת זיהוי שכיבות סמיכה באמצעות חיישן מרחק, ספירת חזרות, ניהול סטים לצד זמן מנוחה ומתן משוב באמצעות תצוגה (LCD), זמזם (Buzzer) ומנוע סרוו (Servo).

#### 2. תיאור המערכת:

- המערכת מופעלת באופן אוטומטי עם זיהוי שכיבת סמיכה ראשונה על ידי חיישן מרחק.
- כל חזרה נרשמת כאשר המשתמש יורד מתחת למרחק של 15 ס"מ מהחיישן.
- חוסר תנועה במשך 10 שניות מזוהה כהפסקה וגורר התחלת מנוחה באורך 10 שניות.
- במהלך זמן המנוחה, מנוע הסרוו מבצע סיבוב רציף כסימן ויזואלי לכך שהמשתמש במנוחה.
- בתום זמן המנוחה מנוע הסרוו נעצר והמערכת נכנסת אוטומטית למצב של סט חדש.
- בסיום כל סט, ניתן חיווי מיידי על גבי מסך ה-LCD הכולל את מספר החזרות שבוצעו ואת משך זמן הסט האחרון (לא כולל המנוחה).
- לחיצה על הכפתור בכל שלב תגרום לאיפוס מלא של המערכת ולחזרה למצב ההתחלתי.

### טבלת חיבורים:

רכיב	מספר פין בארדואינו	תצורה (INPUT/OUTPUT)	מטרת השימוש
חיישן מרחק אולטראסוני (HC-SR04) – Trig אולטראסוני	4	OUTPUT	משמש לשליחת פולסים אולטראסוניים לצורך מדידת מרחק
חיישן מרחק אולטראסוני (HC-SR04) - Echo אולטראסוני	5	INPUT	קולט את החזר הפולס למדידת מרחק
זמזם (Passive buzzer)	6	OUTPUT	נותן חיווי קולי ע"י השמעת צלילים קצרים למניית שכיבות סמיכה או מעבר בין מצבים



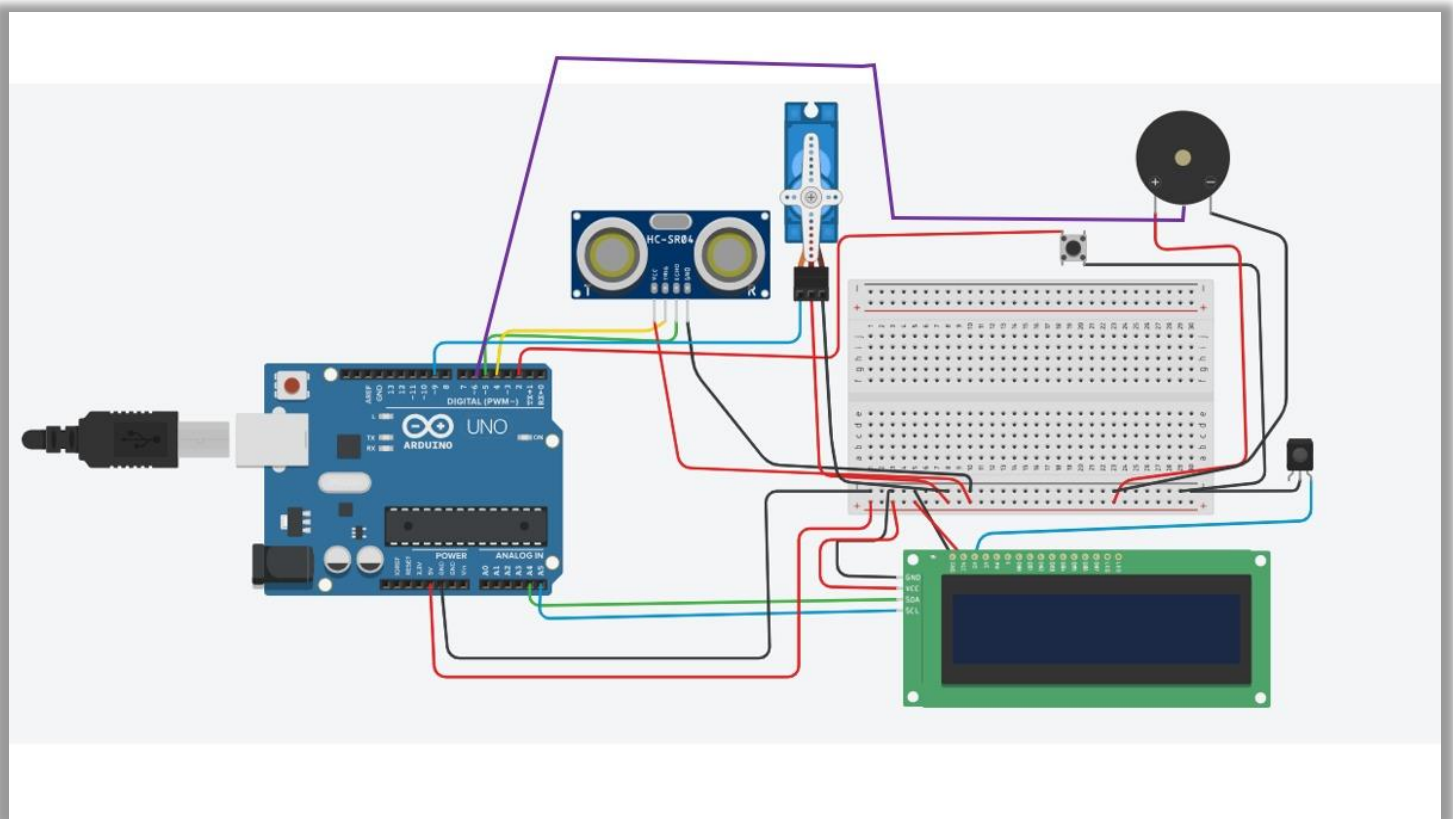
הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול

אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321

אוניברסיטת בן גוריון בנגב

מאפשר לאפס את המערכת בכל שלב ולחזור למצב ההתחלתי	INPUT_PULLUP (מצב קלט עם התנגדות פנימית, שבו ברירת המחדל היא HIGH).	2	כפתור (Push Button)
מספק משוב ויזואלי של מצב מנוחה באמצעות סיבוב במהלך ההפסקה	OUTPUT	9	מנוע סרוו (Servo motor 360)
מתחבר באמצעות ומציג I2C פרוטוקול נתוני חזרות, סטים, מנוחה ומצבים בזמן אמת למשתמש	OUTPUT	A4 (SDA), A5 (SCL)	מסך LCD

שרטוט של המודל מתוכנת הסימולציה Thinckercad :



**\*\*הערות:\*\***

- א. הבאזר בתכנת ה-Thinckercad הוא piezo (2 חיבורים) אולם אצלנו בערכה זה passive buzzer (3 חיבורים) ובתכנה לא ניתן לדמות אותו לכן הוספנו לשרטוט חיבור באופן ידני (הסגול).
- ב. גם מסך ה-LCD שקיים לנו בערכה שונה מבתכנה אז סידרנו לטובת הלימה בין ההצגה לתכנה מסך על מסך כדי לדמות את החיבורים כמו לשלנו.



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול  
אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321  
אוניברסיטת בן גוריון בנגב

### 3. תיאור הבדיקה:

#### א. מטרה:

לודא את תקינותם התפקודית של רכיבי החומרה והאם הם מגיבים כראוי בהתאם למצבים הפיזיים הנדרשים – זיהוי תנועה, הפעלה ידנית, הצגה, ומשוב. המטרה הייתה לזהות חריגות תפקודיות אם קיימות ולהעריך את אמינות המערכת.

#### תהליך הבדיקה:

לכל אחד מחמשת הרכיבים בוצעו 50 ניסיונות מדודים ( $n=50$ ) תחת תנאים ידועים מראש. תועדה הצלחה או כישלון בהתאם לתגובה שהמערכת הפיקה בזמן אמת (תצוגה, צליל, סיבוב, הדפסה).

הנתונים נרשמו באופן ידני והוזנו לטבלה לצורך ניתוח סטטיסטי. נוסף לכך, בוצעה השוואה בין התוצאה בפועל לתוצאה המצופה בעזרת מבחן  $t$  דו-צדדי.

#### אופן הבדיקה:

- ❖ חיישן המרחק נבדק על ידי תנועת יד לגבהים שונים המדמים שכיבות סמיכה. נבדקה ההשפעה על ספירת החזרות.
- ❖ לחצן האיפוס נלחץ במהלך סט פעיל ובמהלך מצב מנוחה, ונבדק שהמערכת מתאפסת בפועל.
- ❖ מנוע הסרוו נבדק כך שהוא נכנס לפעולה אך ורק במהלך ההפסקה, ונעצר בסיומה.
- ❖ מסך ה-LCD נבחן בהצגת נתונים נכונים לאורך כל מצב (סט, מנוחה, איפוס).
- ❖ הודעות ה-Serial נבדקו כדי לאמת שינויי מצב במערכת כגון התחלת סט, סיום סט, מנוחה ואיפוס.

#### הגדרת המבחן הסטטיסטי:

נבצע מבחן  $t$  דו צדדי להשוואת שיעורי ההצלחה בכל רכיב אל מול שיעור הצלחה אידיאלי של 100%. המבחן נערך בנפרד עבור כל רכיב, על בסיס 50 ניסיונות ( $n=50$ ) של הצלחה או כישלון בינאריים. מטרת המבחן הייתה לזהות האם ישנה שונות מובהקת סטטיסטית, כלומר אם הביצועים של הרכיב שונים באופן משמעותי מהתפקוד האידיאלי. המבחן בוצע בהנחת התפלגות בינומית של ההצלחות, תוך שימוש בסטיית תקן והפרש ממוצעים לצורך חישוב  $t$ -statistic כאשר רמת מובהקות נקבעה ל- $P\text{-value} < 0.05$ .

### 4. תיאור תוצאות הבדיקות:

הבדיקה בוצעה עבור חמשת רכיבי החומרה. עבור כל רכיב בוצעו 50 ניסיונות נפרדים כאשר תועדה הצלחה או כישלון על סמך תגובת המערכת. עבור חיישן המרחק לדוגמה ב-3 מתוך 50 מדידות החזרות לא זוהו כראוי. המידע נרשם בטבלה ונבחן באמצעות מבחן  $t$  להשוואת אחוזי הצלחה אל מול שיעור הצלחה תיאורטי של 100%.

רכיב	מספר הצלחות מתוך 50 ניסיונות	שיעור הצלחות מתוך סך ניסיונות (%)	סטיית תקן	t - statistic	P-value	מובהקות ( $p < 0.05$ )
חיישן מרחק אולטראסוני (HC-SR04)	47	94%	0.237	-2.887	0.0056	כן



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול

אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321

אוניברסיטת בן גוריון בנגב

זמזם (Passive buzzer)	48	96%	0.196	-2.551	0.0137	כן
כפתור (Push Button)	50	100%	0.000	Nan	Nan	לא
מנוע סרוו ( Servo motor ) (360	45	90%	0.3	-3.651	0.0007	כן
מסך LCD	50	100%	0.000	Nan	Nan	לא

ביצענו מבחן t דו-צדדי עבור כל אחד מהרכיבים, תוך השוואת שיעור ההצלחה בפועל מול שיעור הצלחה אידיאלי של 100%. כל רכיב נבדק על בסיס 50 חזרות. מתוצאות המבחן ניתן להסיק כי:

- **חיישן המרחק האולטרסוני (47/50)** השיג שיעור הצלחה של 94% עם סטיית תקן של 0.237 וערך p קטן מ-0.01. התקבלה מובהקות סטטיסטית.
- **הזמזם (48/50)** השיג 96% הצלחה, עם סטיית תקן של 0.196 ו-  $p = 0.0137$ . גם כאן התקבלה שונות מובהקת.
- **הסרוו (45/50)** הגיע ל-90% הצלחה, עם סטיית תקן גבוהה יחסית (0.3) ו- p קטן מאוד – מובהקות ברורה.
- **הכפתור וה-LCD** הציגו הצלחה מלאה (100%) ולכן לא חושב ערך t (סטיית תקן אפסית) ולא התקבלה מובהקות.

המסקנה העיקרית הינה שהמערכת מדויקת מאוד, אך שלושת הרכיבים הדינמיים דורשים כיוול קל להעלאת אחוז ההצלחה. ברכיבי החיישן, הסרוו והזמזם נרשמה שונות מובהקת סטטיסטית לעומת רמת הצלחה מושלמת. עם זאת, רמות ההצלחה בפועל (94%–96%) מצביעות על תפקוד יציב ומספק ברמה מעשית.

## 5. מסקנות ושיפורים אפשריים:

המערכת פעלה בצורה יציבה ויעילה, וזיהתה את שלבי הפעולה הנדרשים באופן מדויק: ספירת שכיבות סמיכה, ניהול סטים, זיהוי חוסר תנועה, וסימון מנוחה באמצעות סיבוב מנוע הסרוו. כל רכיב חומרה תפקד היטב ונרשמה אחוז הצלחה גבוה ברוב המקרים. בבדיקות סטטיסטיות נמצאה שונות מובהקת רק עבור רכיבים מסוימים, אך מבחינה פונקציונלית כלל המערכת נחשבת מהימנה לשימוש יומיומי.

### הצעות ייעול למערכת הבקרה:

- שימוש בחיישן תנועה (PIR) על מנת לאמת חוסר תנועה לפני התחלת מנוחה. שילוב רכיב כזה משפר את הדיוק בזיהוי מצבים בהם המשתמש אכן הפסיק את הפעולה ומפחית סיכוי לטעויות הנגרמות כתוצאה ממדידת מרחק בלבד. שדרוג אפשרי הוא לשלב את חיישן התנועה כמרכיב תומך בהחלטה, כך שרק כאשר אין תנועה כלל תחל מנוחה.
- אפשרות להזין מטרה אישית לאימון, כמו מספר חזרות או סטים, באמצעות כפתורים או פוטנציומטר. כך המשתמש יוכל לקבוע יעד מותאם אישית (לדוגמה: "אני רוצה לבצע 3 סטים של 10 חזרות") לפני תחילת האימון. הערך יוגדר ויוצג על מסך ה-LCD ולאחר אישורו תתחיל הספירה בהתאם ליעד.



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול  
אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321  
אוניברסיטת בן גוריון בנגב

## 6. נספחים:

### נספח א' - הוראות למפעיל:

#### **א. הפעלת האימון:**

- ברגע שתתקרב לחיישן המרחק (פחות מ-15 ס"מ), המערכת תזהה זאת ותתחיל סט חדש באופן אוטומטי.

- חזרות (שכיבות סמיכה) ייספרו אוטומטית ויוצגו על מסך ה-LCD.

#### **ב. מנוחה חכמה:**

- אם תפסיק לבצע חזרות למשך 10 שניות – המערכת תיכנס אוטומטית למצב מנוחה.
- במהלך המנוחה, מנוע הסרוו יסתובב כדי להראות לך שאתה במנוחה.
- לאחר כ-10 שניות, המערכת תתחיל סט חדש לבד.

#### **ג. איפוס:**

- אם תלחץ על הכפתור – המערכת תתאפס לחלוטין: חזרות, סטים, וזמנים.

#### **ד. פידבק חכם:**

- תוכל לראות על המסך כמה חזרות עשית בכל סט, וכמה זמן נמשך הסט (ללא מנוחה).
- זמזם ייתן צליל בכל חזרה, בתחילת סט, ובסיום סט.

#### **ה. לצפייה בנתונים חיים:**

- אם אתה מחובר למחשב, תוכל לפתוח את Serial Monitor ולראות הודעות מערכת בזמן אמת.

### נספח ב' - קוד:

```
#include <Servo.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

--- //Pin Definitions---

const int trigPin = 4;
const int echoPin = 5;
const int piezoPin = 6;
const int buttonPin = 2;
const int servoPin = 9;

--- //System Objects---

Servo myServo;

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
```



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול

אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321

אוניברסיטת בן גוריון בנגב

--- //Variables---

int repCount = 0;

int repsInCurrentSet = 0;

int totalSets = 0;

bool inPushup = false;

bool inSet = false;

bool inRest = false;

unsigned long setStartTime = 0;

unsigned long lastMotionTime = 0;

unsigned long restStartTime = 0;

unsigned long currentTime = 0;

long duration;

int distance;

int thresholdDistance = 15;

//

//Initializes hardware: pins, servo, LCD, and serial monitor.

//

void setup{ ()

Serial.begin;(9600)

pinMode(trigPin, OUTPUT);

pinMode(echoPin, INPUT);

pinMode(piezoPin, OUTPUT);

pinMode(buttonPin, INPUT\_PULLUP);

myServo.attach(servoPin);



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול  
אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321  
אוניברסיטת בן גוריון בנגב

```
lcd.init();  
lcd.begin;(2 ,16)  
lcd.backlight;()  
lcd.setCursor;(0 ,0)  
lcd.print("System Ready");  
  
Serial.println("System initialized.");  
myServo.write(90); // neutral position  
{  
  
//  
//Main program loop: handles reset, set detection, push-up logic, and rest.  
//  
void loop} ()  
    currentTime = millis;()  
  
--- // Reset Button---  
if (digitalRead(buttonPin) == LOW){  
    repCount = 0;  
    repsInCurrentSet = 0;  
    totalSets = 0;  
    inSet = false;  
    inRest = false;  
    lcd.clear;()  
    lcd.setCursor;(0 ,0)  
    lcd.print("All reset");  
    myServo.write;(90)
```



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול

אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321

אוניברסיטת בן גוריון בנגב

```
Serial.println("System reset by button.");  
delay;(500)  
{
```

```
--- // Auto-start first set---
```

```
if (!inSet && !inRest && repCount == 0){
```

```
    inSet = true;
```

```
    repsInCurrentSet = 0;
```

```
    totalSets++;
```

```
    setStartTime = currentTime;
```

```
    lastMotionTime = currentTime;
```

```
    lcd.clear();
```

```
    lcd.setCursor(0,0)
```

```
    lcd.print("Set ");
```

```
    lcd.print(totalSets);
```

```
    lcd.print(" Started");
```

```
    tone(piezoPin, 1000, 200);
```

```
    Serial.print("Set ");
```

```
    Serial.print(totalSets);
```

```
    Serial.println(" started.");
```

```
    delay;(500)
```

```
{
```

```
--- // During active set---
```

```
if (inSet){
```

```
    distance = readDistance();
```





הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול

אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321

אוניברסיטת בן גוריון בנגב

```
if (distance < thresholdDistance && !inPushup)}
    inPushup = true;
    repCount++;
    repsInCurrentSet++;
    lastMotionTime = currentTime;

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0)
    lcd.print("Set ");
    lcd.print(totalSets);
    lcd.setCursor(1,0)
    lcd.print("Reps: ");
    lcd.print(repsInCurrentSet);
    tone(piezoPin, 1200, 100);

    Serial.print("Push-up detected. Total reps: ");
    Serial.println(repCount);
{

    if (distance >= thresholdDistance + 5 && inPushup)}
        inPushup = false;
        lastMotionTime = currentTime;
{

--- // End set after 10s of inactivity---
    if ((currentTime - lastMotionTime) > 10000)}
        inSet = false;
        inRest = true;
```



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול

אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321

אוניברסיטת בן גוריון בנגב

```
restStartTime = currentTime;
```

```
myServo.write(0); // rotate during rest
```

```
unsigned long setDuration = (currentTime - setStartTime) / 1000;
```

```
lcd.clear();
```

```
lcd.setCursor(0,0)
```

```
lcd.print("Set ");
```

```
lcd.print(totalSets);
```

```
lcd.print(" Done");
```

```
lcd.setCursor(1,0)
```

```
lcd.print("Reps:");
```

```
lcd.print(repsInCurrentSet);
```

```
lcd.print(" Time:");
```

```
lcd.print(setDuration - 10); // subtract rest time
```

```
lcd.print("s");
```

```
tone(piezoPin, 800, 300);
```

```
Serial.print("Set ");
```

```
Serial.print(totalSets);
```

```
Serial.print(" ended. Reps: ");
```

```
Serial.print(repsInCurrentSet);
```

```
Serial.print(". Time (adjusted): ");
```

```
Serial.print(setDuration - 10);
```

```
Serial.println("s");
```

```
Serial.println("Rest started. Servo rotating...");
```



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול

אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321

אוניברסיטת בן גוריון בנגב

```
delay;(2000)
{
{

--- // During rest period---
if (inRest)}
    unsigned long elapsed = currentTime - restStartTime;
    if (elapsed >= 13000) { //(10 seconds rest + 3 seconds delay(
        myServo.write(90); // stop servo
        Serial.println("Rest ended. Servo stopped.");

    inRest = false;
    inSet = true;
    repsInCurrentSet = 0;
    totalSets++;
    setStartTime = currentTime;
    lastMotionTime = currentTime;

    delay;(3000)

    lcd.clear;()
    lcd.setCursor;(0 ,0)
    lcd.print("Set ");
    lcd.print(totalSets);
    lcd.print(" Started");
    tone(piezoPin, 1000, 300);

    Serial.print("Set ");
```



הפקולטה למדעי ההנדסה- המחלקה להנדסת תעשייה וניהול

אוטומציה וייצור ממוחשב 364-1-3321

אוניברסיטת בן גוריון בנגב

```
Serial.print(totalSets);
Serial.println(" started.");
delay;(2000)
lcd.clear;()
{ else}
  unsigned long timeLeft = (13000 - elapsed) / 1000;
  lcd.setCursor;(0 ,0)
  lcd.print("Resting... ");
  lcd.setCursor;(1 ,0)
  lcd.print("Time left: ");
  lcd.print(timeLeft);
  lcd.print("s ");
{
{
{

//
//Returns distance in cm using the ultrasonic sensor.
//
int readDistance} ()
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds;(2)
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds;(10)
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  return duration * 0.034 / 2;
{
```