



מערכת לאיתור נפילות לבני "הגיל השלישי"

XXXXXX

מכללת אורט ברاؤודה.

חתימה:

בנהנויות: מרXXXXX - כמנהלה המכללה

(י"ג תשרי התשפ"ב – 19.09.2021)

הוגש לשם מילוי חלקי של הדרישות לקבלת תואר
"בוגר במדעים B.Sc. בהנדסת חשמל ואלקטרוניקה"

תקציר:

הפרויקט בוצע במסגרת תכנן הנדסי פנימי (פרויקט גמר) ב"מכללת אורט ברואודה" כרמייאל. מטרת הפרויקט היא איתור נפילות אצל בני ה"גיל השלישי" באמצעות חיישן תאוצה בנוסף התבכע התראה על מצב מסכן חיים בזמן אמת וצילום ממצלמת גוף על מנת לקבל אינדיקציה מדויקת יותר.

האב טיפוס הנבנה בפרויקט זה נועד לתת אינדיקציה על נפילת אדם מבוגר בביתו העיקרי. ביום מסוים רב של אנשים בני ה"גיל השלישי" חיים לא פעם בלבד בדירותם, ולכן התרחשה נפילה בסיטואציה כזו, לא פעם אין לאדם יכולת הגיעו לאמצעי כלשהו על מנת להזעיק עזרה במקרה הטוב או שהוא איבד את הכרתו במקרה הרע.

על פי נתוני משרד הבריאות: (מתוך התוכנית הלאומית למניעת נפילות סימוכין 1). "נפילות הן אחת מהבעיות השכיחות בגיל מבוגר ומהוות גורם לתמותה, רידיה תפוקודית ואשפוז במוסדות רפואיים".

"1 מתוך 4 בני 65 ומעלה בישראל מדווחים שנפלו לפחות פעמיים בשנה החולפת. שכיחות הנפילות עולה עם הגיל."
"כ-45% מהנפילות מתרחשות בתוך הבית"

המערכת מורכבת משני חלקים עיקריים, מערכת לבישה ומרכז בקרה.
המערכת הלבישה מבוססת בקר W Raspberry Pi Zero בעלת חיישנים לניטור נתוני תנועה, עצמת תאורה ומצלמה. תפקידה הוא�� להזעיק נפילה לתקשורת עם מרכזו הבקרה ולהתריע על מצב מסכן חיים.

מרכז הבקרה מבוסס בקר 4B Raspberry Pi בעל מצלמה, מערכת זו תבצע כלל התקשרות למערכת הלבישה ולמודקי העזרה/קרובי המשפחה על מנת להזעיק עזרה, מצלמת מרכזו הבקרה תאפשר למשפחה לקבל אינדיקציה על החלל המרכזי של הבית בזמן הנפילה וכן תזהה בסיס שדרוג עתידי מבוססת סימונים בתקרת הבית (קוויים מוגדרים הממנים את הבית לפי עובי וצורת הקו).

התקשרות בין מרכזו הבקרה והמערכת הלבישה יבוצע באמצעות רשת Wi-Fi ביתית ותומומש במסגרת פרוטוקול תקשורת TCP בו יועברו קבצי תמונות בעת נפילה/לחיצה על לחץ מצוקה.

כל משתמש יתאפשר ביצוע מידות שונות (גובה, משקל וכו') נשיאת המערכת תتمמשק לחגורה רגילה ותפקידו בחזית הגוף או באחוריו לפי בחירת המשתמש.
בגלל שבמסגרת פרויקט זה לא הוגדרו מetri הילכה באופן מלא אלא בוצעה התמקדות במצבים מסכני חיים בלבד, אין משמעות לכךוoun המערכת או לצורת הלבישה אלא רק למיקום המערכת על מותן המשתמש.

תוכן עניינים

1	מבוא	.1
2	תיאור המערכת	.2
2	הגדה פונקציונאלית	2.1
2	מפורט פונקציונלי	2.2
3	מפורט טכני	2.3
3	טבלת פירוט מרכיבי המערכת	2.3.1
5	תרשים מלכני	2.3.2
5	עקרון פעולה המערכת	2.3.3
6	مطلوبות	.3
6	مطلوبות הנדרסיות ברמת מפרט הדרישות	3.1
6	ביצוע המطلות ע"י המתמחה	3.2
6	שלבי התכנון	3.2.1
7	תכנון אב	3.2.2
10	תרשיימי זרימה	3.2.3
12	סכמה חשמלית	3.2.4
13	סימולציות + קביעת קритריון נפילה	3.2.5
19	בעיות ואתגרים הנדרסים	3.3
20	סיכום ודיון	.4
20	הចורך הפרויקט	4.1.1
20	סיכום ומסקנות	4.1.2
20	תוספות עתידיות	4.1.3
21	עמידה בדרישות	4.1.4
22	סימוכין	.5

תוכן איורים

5.....	איור 1- תרשימים מלכינים
9.....	איור 2- תהליך העברת המידע ב프וטוקול C ² I
10.....	איור 3-תרשימים זרימה עבור "מערכת לבישה"
11.....	איור 4- תרשימים זרימה עבור "מערכת בקרה"
12.....	איור 5-סכמה חשמלית כללית
12.....	איור 6- סכמה חשמלית מודול תאורה
13.....	איור 7 – כיוון הциירים בחיבור ADXL345
13.....	איור 8-כיוון הциירים על רכיב ADXL345

תוכן טבלאות

3.....	טבלה 1 – מכלולי מערכות לבישה W Raspberry Pi Zero W
4.....	טבלה 2- "מרכז הבקרה" Raspberry Pi 4B
21.....	טבלה 3 - סטאטוס עמידה בדרישות הפרויקט

תוכן גרפים

14.....	גרף 1-גרפים עבור מדידת הליכה וסיבוב
15.....	גרף 2- גרפים עבור מדידת ישיבת כיסא
16.....	גרף 3-גרפים עבור מדידת רכינה קדימה
17.....	גרף 4- גרפים עבור מדידת נפילה
18.....	גרף 5- גרפים עבור תוצאה משוקלת

רשימת קיצורים -

API – Application Programming Interface

CSV- Comma Separated Values

I²C- Inter Integrated Circuit

IP – Internet Protocol

IPC- Inter Process Communication

LDR - Light Dependent Resistors

LED - Light Emitting Diode

MP - Mega Pixel

MIT- Massachusetts Institute of Technology

PC – Personal Computer

SCL- Serial Clock

SDA- Serial Data

TCP – Transfer Control Protocol

Wi-Fi – Wireless Fidelity

.1. מבוא

נפילות בקרוב בני ה"גיל השלישי" הן דבר שכיח מאוד בעiker בית. לא פעם, אין לאדם יכולת להזעיק עזרה כלל עקב פגעה בגפיים או איבוד הכרה אשר נפוצים מאוד כתוצאה מנפילה בгиילים אלו.

על מנת לשמר על חייו האדם ולהעניק לו מענה רפואי קיימים היום מספר מוצרי בשוק אשר נישאים ע"י האדם וכאשר קיימים מצב מסכן חיים על האדם להחוץ על לחץ המזוקה הנישאה על גופו אשר יזעיק את קרובי/עזרה רפואי.

כאשר האדם מאבד את הכרתו או שהלחוץ נפל מהאדם כתוצאה מנגיף אין לאדם יכולת להזעיק עזרה.

פרויקט זה עוסק בתכנון ובנייה של מערכת אוטונומית איתור נפילות וזיהוי מצב מסכן חיים עבור אנשים בני גיל השלישי כמו כן, מתן אפשרות למשתמש להתריע כי איןנו מרגיש בטוח (לחוץ מצוקה).

המערכת תבסס על בקר W Raspberry Pi Zero. המערכת תאטר מצבים מסכני חיים באמצעות חיישני תנועה, חיישני תאורה ומצלה אשר יאפשרו לנטר את נתוני התנועה של המשמש לנתח אותם בזמן אמיתי ולהתריע מיידית והתגלתה נפילה.

לאחר זיהוי נפילה תנקוט המערכת בהפעלת התראת מרכזית הנתונים כמו כן ישלחו תמונות של הנפילה למרכזיה.

המערכת באה לתת מענה למקרי קצה כדוגמת זה המתואר לעיל, ולאחר מכן מענה רפואי ואיתור מצבים מסכני חיים בזמן אמיתי ללא תלות בפעולות המשמש.

המערכת תוכננה עקב מותו של סבי היקר אברהם בן רחל זיל עקב נפילה כאשר היה

לבד בביתו.

2. תיאור המערכת

2.1 **הגדלה פונקציונאלית**

מערכת לבישת המנתרות נתוני תנועה באמצעות חיישנים, מأتורת מצלבים מסכני חיים ומתירועה מפניהם

2.2 **מפורט פונקציונלי**

מערכת לבישת :

1. יכולת קליטת נתונים תנועה.
2. יכולת קליטת מצב תאורה.
3. יכולת צילום.
4. יכולת עיבוד נתונים וקבלת החלטות.
5. יכולת עבודה רצופה באופן אל-חוטי למשך שלוש שעות.
6. יכולת התראה בזמן אמת לנמען מוגדר.
7. יכולת העברת נתונים (תמונות + DATA) באמצעות פרוטוקול TCP-IP
8. יכולת עבודה באופן אוטונומי.

מרכז הבקרה :

9. יכולת עיבוד נתונים וקבלת החלטות.
10. יכולת קבלת נתונים באמצעות פרוטוקול TCP-IP
11. יכולת שמירת נתונים (לצורך מעקב ולמידת הרגלים).
12. יכולת צילום.
13. יכולת התראה בזמן אמת.

2.3.1 טבלת פירוט מכלולי המערכת

טבלה 1 – מכלולי מערכת לבישת Raspberry Pi Zero W

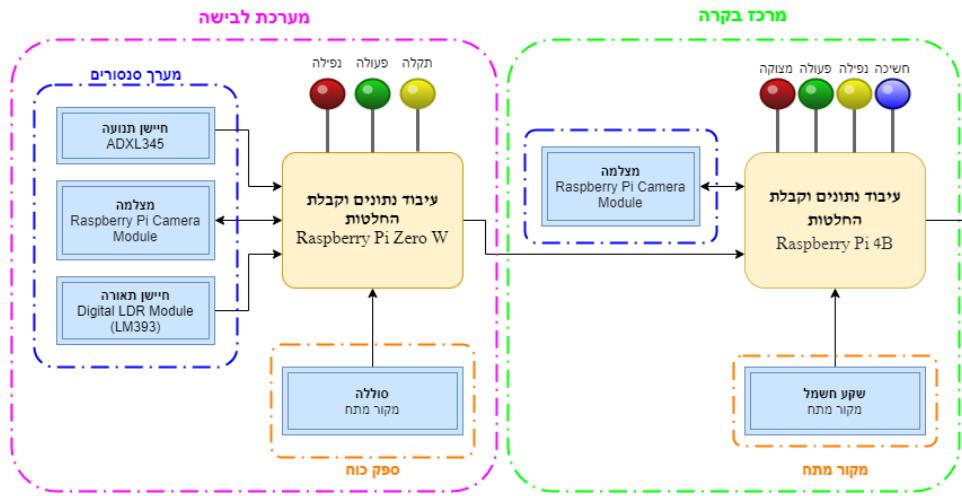
מספר	שם המכלול	תקין	פרמטרים מדדים
1	מכלול ניטור נתונים תנועה – חיישן תנועה ADXL345 – Accelerometer	איסוף נתונים תנועה בזמן אמת	איסוף נתונים תנועה עבור כל ציר בנפרד (X,Y,Z) יחידות [g], [m/sec ²]
2	מכלול בקרה עיבוד נתונים וקבלת החלטות Raspberry Pi Zero W	קבלת מידע מהחישנים השונים והיכולת לעבד נתונים אלה ולהציג אליהם בהתאם	מערכת הפעלה LINUX
3	מכלול ניטור רמה תאורה – חיישן תאורה LM393 – LDR	איתור מצב תאורה לקויה	Digital output 5-0 [v]
4	מכלול מצלמה Raspberry Pi Camera Module v1.3	צילום תמונות	Resolution: 5MPs
5	מכלול סוללה	מקור מתח נישא להפעלת מכלולי המערכת.	זמן פעולה מינימלי של כשלוש שעות.
6	מכלול שליחת פרמטרים מדדים	העברת המדדים אחת ליום לצורך לימוד מכונה עתידי על אופי הליכת אדם, שליחת תמונות בזמן אמת למרכזית הנתונים	שליחת קבצי CSV אחת ליום jpeg בסיטואציות מוגדרות. באמצעות פרוטוקול TCP-IP

טבלה 2- "מרכז הבקרה" *Raspberry Pi 4B*

מספר	שם המכולול	תפקיד	פרמטרים מדדים
1	מכולול התראה Raspberry Pi 4B	התראה ויזואלית במרכז הבקרה.	התראה על מצלבים מסכני חיים באמצעות LED הדלקת חיוי (LED) במרכז הבקרה.
2	מכולול בקרה עיבוד נתונים וקבלת החלטות Raspberry Pi 4B	קבלת מידע מהמערכת לבישה היכולת לעבד נתונים אליה ולהציג אליהם בהתאם	מערכת הפעלה LINUX
3	מכולול בסיס נתונים Raspberry Pi 4B	שמירת הנתונים לצורך הקמת מגר נתונים הליכת אדם לשם לימוד מכונה עתידי	שמירת הנתונים לפי פרוטוקול מוגדר. (יפורט בהמשך)
4	מכולול מצלמה Raspberry Pi Camera Module v1.3	צילום תמונות	Resolution: 5MPs

2.3.2 תרשימים מלכניים

איור 1- תרשימים מלכניים



2.3.3 עקרון פעולה המערכת

חיישן מד תאוצה (Accelerometer-ADXL345) אשר ממוקם במרכזו המסה של גוף המשמש על חגורה ייודית, דוגם את נתוני התנועה של המשתמש אחת לחצי שנייה (2 Hz). המידע מועבר לבקר הוק Raspberry באמצעות פרוטוקול תקשורת I²C שמתאפשרת הchnlate על ידי אלגוריתם האם אראה נפילה ובמידה ואכן אראה, תידגים תמונה מהמצלמה אשר מונחת על גוף האדם, חיוי LED אדום יופעל והתמונה תישלח למרכז הבקרה על מנת להמשיך בהליך ההתראה.

בנוסף, חיישן עצמת תאורה דוגם באופן א-סינכרוני את מצב התאורה בסביבת המשתמש ובמידה והתאורה לקויה (ניתן לשינוי על ידי בורר יידי במערכת) יופיע חיוי LED המתריע על מצב תאורה קבוע.

כמו כן, במערכת קיים לחץ מצוקה, לחיצה על לחץ זה מעידה על סיטואציה בה המשתמש לא מרגיש בטוח ומשמעות להזעיק עוזרת. עקב לכך, כל נורות המערכת (3 נורות LED) יופעלו, תידגים תמונה ממצלמת הגוף הנישאת על ידי המשתמש ותישלח התראה אל מרכז הבקרה.

מרכז הבקרה מבוסס על בקר Raspberry pi 4B יבצע תקשורת מתמדת מול המערכת הלבישה באמצעות רשת ה-Wi-Fi וכאשר תתקבל התראה על נפילה / מצב מצוקה מרכז הבקרה יבצע צילום של החלל המרכזי בבית, ידליק חיוי LED צהוב / אדום בהתאם וישלח באמצעות mail את שתי התמונות לנמען מוגדר מראש.

3. מטלות

3.1 מטלות הנדרסיות ברמת מפרט הדרישות

- כתיבת הצעת פרויקט.
- למידת הרגלי תנועה של אדם.
- כתיבת אלגוריתם לאיתור נפילה.
- תכנון מערכת לבישה נוחה למשתמש.
- תכנון מפורט של ייחidot המערכת הלבישה ומרכז הבקרה.
- הקמת קשר TCP לצורך שליחת התראה ונתונים.
- כתיבת קוד לשמירה וניתוח נתונים מדידים.
- התאמת מכלול מקור המתח של המערכת.
- כתיבת קוד לעיבוד מידע וקבלת החלטות של המערכת.
- בדיקת המערכת בתנאים שונים, איתור תקלות ותיקון.
- כתיבת ספר פרויקט + מצגת.

3.2 ביצוע המטלות ע"י המתמחה

3.2.1 שלבי התכנון

המשימות התחלקו לארבעה תחומים לפי הקטגוריות הבאות :

- פיתוח מסך TCP לצורך העברת נתונים – על מנת לתת למערכת יכולת העברת>Data^{תאטה} (תמונה/קובץ CSV) פותח מסך תקשורת באמצעות פרוטוקול TCP-IP אשר אחראי על שליחת קבצים והעברת מידע בין המערכת לבישה למרכז הבקרה.
- למידת הרגלי תנועה + כתיבת אלגוריתם לזיהוי נפילה – לב המערכת והפונקציונליות המרכזית שעלה לרכיב היא איתור נפילה, لكن בוצעו כ-12 ניסויים של מדידות עבר מגוון רחב של מצב היליכה, ישיבה על כסא/ספה, עלייה במדרגות וכמוון נפילה על מנת לקבל מספיק מידע כדי להחליט מהם הקריטריונים לאפיון נפילה, עקב העובדה כי בעיות הליכה הן נושא מורכב הפרויקט התמקד באיתור נפילה בלבד.
- תכנון ייחidot המערכת לבישה + מקור המתח – תכנון ייחidot המערכת לבישה החלטה על מיקום הרכיבים על Board ואופן הפעולה של כל רכיב, זמני השהייה בין דגימות והחלטה על מיקום המצלמה.
- כמו כן, אתגר נוסף היה למצוא סוללה שתהיה מספיק קלה (עד 100 גרם) ובמקביל בעלת זמן עבודה מספיק ארוך (מינימום 3 שעות) על מנת שהמשתמש יוכל לשאת אותה מבליה להרגיש מעמסה.
- תכנון מרכז הבקרה ותפקידיו – מרכז הבקרה הוא המערכת המרכזית אשר תפקידה לדוח על התקלה בזמן אמת.

3.2.2 תכנון אב

סביבה פיתוח:

נבחרה סביבת פיתוח של Python ומערכת הפעלה Linux במערכת הלבישה ובמרכז הבקרה עקב היכרות מוקדמת עם השפה והబקרים, כמו כן בסביבה זו (Python) קיימות מספר ספריות ייעודיות המתמחקות למצלמת ה-Raspberry באופן מאוד נוח לשימוש.

בקרים:

בקר W Raspberry Pi Zero הינו בקר קטן ממדים וקל משקל (66.0mm x 30.5mm x 5.0mm) בעל ביצועים מספקים עבור שימוש במספר סנסורים ובעל יכולת התממשקות לרשת אלחוטית.

תכונות אלו היוו את בסיס הבחירה בברק זה כברק במערכת הלבישה בשל משקלו הקל ממדיו הקטנים וצריכת אנרגיה מועטה במיוחד.

בקר 4B Raspberry הינו בקר גדול יותר בעל יכולות חזקות בהרבה ובעל כרטיס זיכרון המאפשר מקום אחסון גדול משמעותית בהשוואה ל-W Zero כמו כן לבקר זה יכולה להתממשק לרשת האינטרנט באמצעות חוטי/אלחוטי ולכון בגלל יכולת של בקר זה גודל הזיכרון ויכולת העבודה/התגובה המהירים יחסית שלו (נתונים מדוייקים מפורטים בסימוכין עבור כל אחד מהబקרים) וכן נבחר בקר מרכז הבקרה.

תכן חומרה:

- ADXL345 – Accelerometer – חיישן תאוצה לשולשה צירים בעל יציאה דיגיטלית, קטן מאוד ובעל צירית זרם נמוכה מאוד (נתוני צירית זרם, משקל וממדים מובאים בדף הנתונים) דבר המאפשר לו לעבד היטב בפרויקטים מבוססי סוללות כדוגמת פרויקט זה.

בפרויקט זה קיים רכיב אחד כזה אשר מנתן את מצב התאוצה בכל ציר בכל חצי שנייה (Hz) הרכיב מתממשק למעבד באמצעות פרוטוקול תקשורת I²C.

הרכיב יוציא פלט ביחידות g, ניתוח של ממדים אלו (אשר יפורט בהמשך) מוביל אותנו לפתרונו הבועה ולאפיון מצב מסכן חיים (איןדיקציה לנפילה בסביבות גבוהה), כמו כן ניתוח נתוני מדידת הרכיב לאורך זמן ובקבוצת מדגם רחבה יכול לתת איןדיקציה על בעיות הליכה נוספות שהין מחוץ לנושא עסק פרויקט זה.

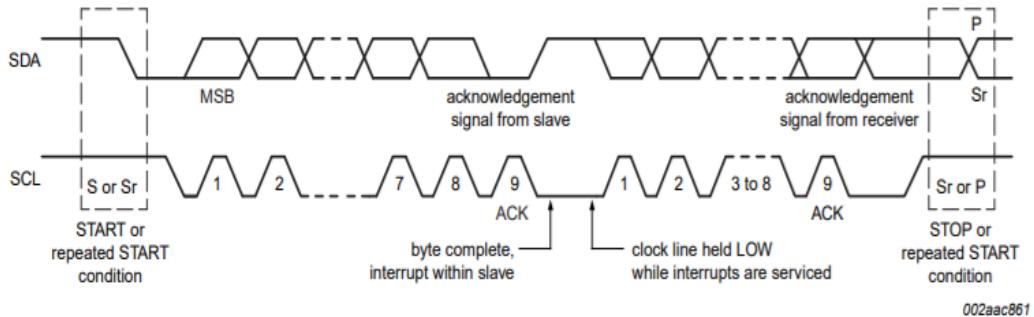
קיים לרכיב זה קיים ממשק API רחב בעל פונקציות שנכתבו באוניברסיטת MIT אשר מזהות נפילה חופשית, נקישה, אפיקון חוסר פעולה/תנועה ומצבים רבים נוספים.

למרות המשק הרחב והfonקציה לאיתור נפילה חופשית שבאופן אינטואיטיבי אמורה לתת פתרון יעיל לבועה, התגלו במהלך התכנון מספר רב של בעיות בגלל שהfonקציה לא מותאמת לנפילת אדם. לכן הוחלט לבצע ניתוח של הנתונים הנמדדים מהרכיב במגוון מצבים על מנת לאפיקון נפילת אדם.

- LM393 – Digital LDR Module – מודול דיגיטלי לאפיון מצב תאורה בעל פוטנציאומטר לשיליטה בעוצמת תאורת הס. כיוון המודול נעשה באופן ויזואלי בלבד ולא נלקחו מודדים ספציפיים (ביחידות למן I_m למשל) כך שהגדרנו מצב תאורה לקויה לפי מצב התאורה בחדר הנראה לעין אנושית כמוואר דיו ולא חשוך מיידי. השארות פרמטר זה כפרמטר שאינו מודיע נבעה כתוצאה מהתחשבות בתלות באיכות הראייה של המשתמש וכן במתן אפשרות למשתמש לבצע החלטה של סף התאורה בעצמו.
- Raspberry Pi Camera Module – מודול מצלמה המתממשק לבקר באמצעות ספרייה ייועדת בעל יכולת צילום והקלטה ברזולוציה של 5MP מודול המצלמה מתממשק לבקר באמצעות פרוטוקול I_C משודרג הבניוי מכ-9 ערוצים (תלו依 בדגם הספציפי 1.2.3) מודול המצלמה יופעל רק כאשר עליינו לחתת תמונה על מנת לשמר על צריכת זרם נמוכה ולא להעיס על המערכת.
- מקור מתח סוללה 1200mAh – מקור המתח נדרש לעמוד במינימום זמן פעולה של 3 שעות עבודה. כמובן, על מקור המתח להיות קל ככל הניתן על מנת להקל על נשיאתו במסגרת המערכת הליבישה. ראשית יצוין כי על אף שמקור המתח הזמן שלושה חודשים מראש, הוא אינו הגיע עד למועד הגשת ספר זה עקב בטיחות משלוח סוללות מחוץ לארץ, לכן כל הבדיקות התבכשו והשוו אל מול הנתונים היבשים אותם ניתן לקבל מדפי הייצור. אף על פי כן, בוצעה מדידת צריכת זרם למערכת הליבישה ונמצא כי קיימת עמידה בדרישות הסף שהוגדרו ולכן לפחות בפועל תיאורטי מקור המתחעונה על פרמטר זה. בסוף, מקור המתח נבחר לפי קритריון משקל (100gr) כך שככל המערכת לא תעבור משקל של 300gr לכל היתר.
- ממדים : 65x30x11.5 [mm] משקל : 44.5 [gr]

תcn תוכנה :

- קוד לקריאת מדדים מהחישנים – בפרויקט זה קיימים שני חישנים. חישון מד תאוצה, מודול עצמת הארה המבוסס LDR ורכיב LM393, ADXL345 (LM393).Module
- קריית המדדים של מד התאוצה מtabstat כאמור על פרוטוקול תקשורת I_C ונדגמת בברק המערכת הליבישה באמצעות הקוד שבנספח א'.
- עקרון פרוטוקול התקשרות מtabstat על שיטה של Master&Slave כאשר קיימים שני ערוצים אחד להעברת נתונים (SDA) ואחד נוסף להעברת שעון (SCL) האחראי על תזמון העברת הנתונים.
- באירור 2 ניתן לראות את אופן העברת הנתונים באמצעות פרוטוקול זה :

איור 2 - תהליך העברת המידע בפרוטוקול I_C

הנתונים מעובדים בבקר לצורך קבלת החלטות. לאחר מכן הנתונים נשמרים בקובץ הייעודי על מנת לשמור את נתוני התנועה של המשטמש ולהפיק מהם לחקים בעתיד.

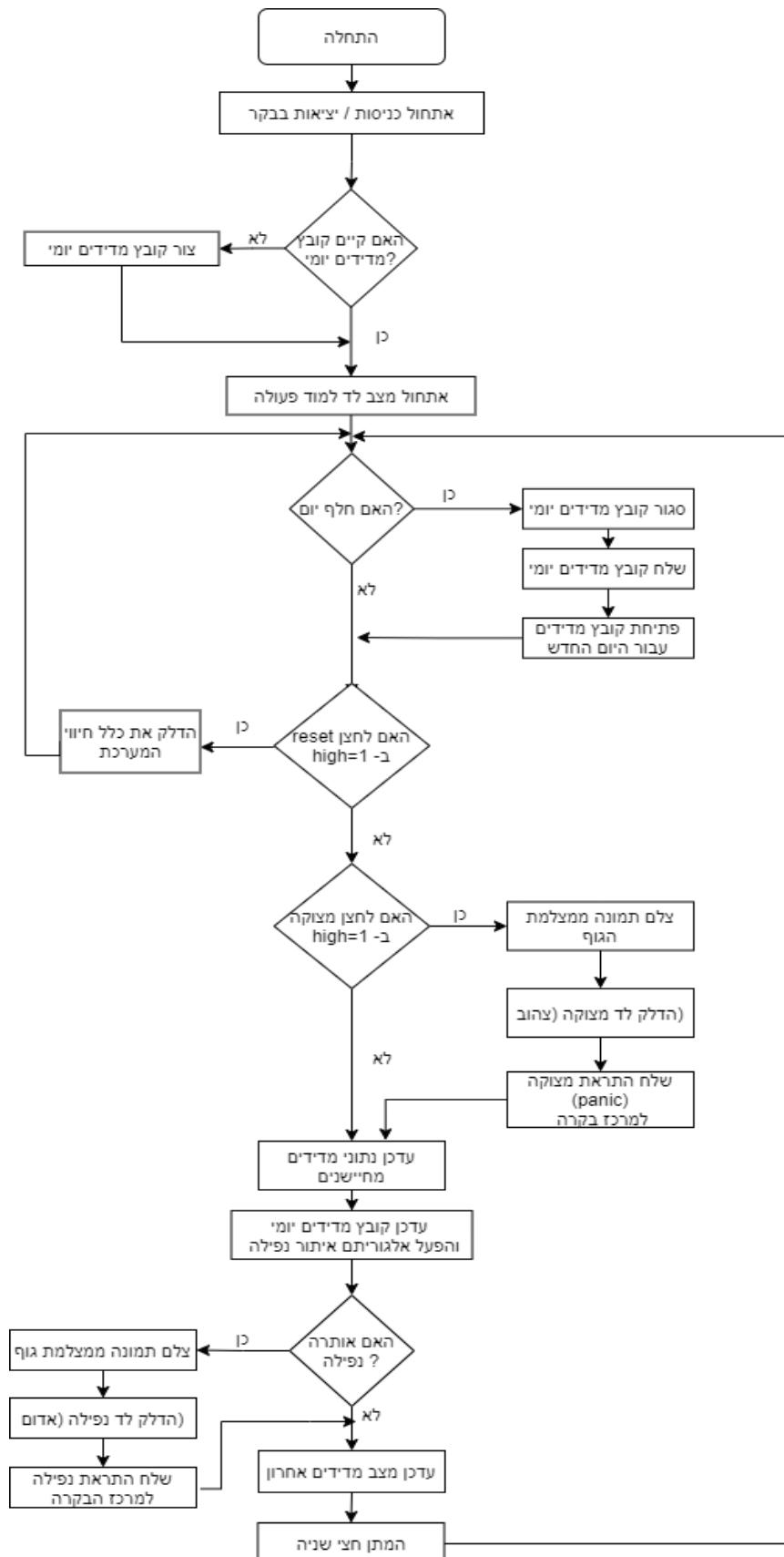
- מודול התאורה מפיק פלט אנלוגי (Analog Output) הפלט מתתקבל ברכיב ונדגים פעמיים למבחן פעולה (~0.5sec) על מנת למנוע דגימה שגויה. פלט המודול יפיק את הערך "1" כאשר עצמת התאורה תרד מתחת לסף המוגדר על ידי המשטמש באמצעות פוטנציאומטר. את הערך ניתן לכיל באופן ויוזאלי באמצעות נורת לד הנמצאת על המודול, כאשר נורה זו דלוכה משמע שף התאורה מעיד על "תאורה ל Kohia".

- קוד לIMPLEMENTATION של תקשורת TCP – מימוש התקשרות בין שני חלקי המערכת בפרויקט זה ("מערכת לבישה" ו-"מרכז הבקרה") ימומש באמצעות תקשורת IPC, שיטה להעברת נתונים בין מחשבים המוחברים לאוthon הרשות. שימוש ברשת WiFi הביתית לצורך העברת הנתונים כמו גם התחמישקות אליה מכל בקר בנפרד בעת התקנת המערכת הינו הכרחי לצורך פעולה תקינה של המערכת. במסגרת שיטה זו נבחר פרוטוקול תקשורת TCP-IP, עקרון העברת הנתונים בראש מtabases על העברת חבילות מידע (Sockets) אשר נשלחות מצד לקוח לצד שרת (Client-Server) כאשר הלקוח במקרה זה הוא "מערכת לבישה" ואילו מרכז הבקרה הוא השרת.

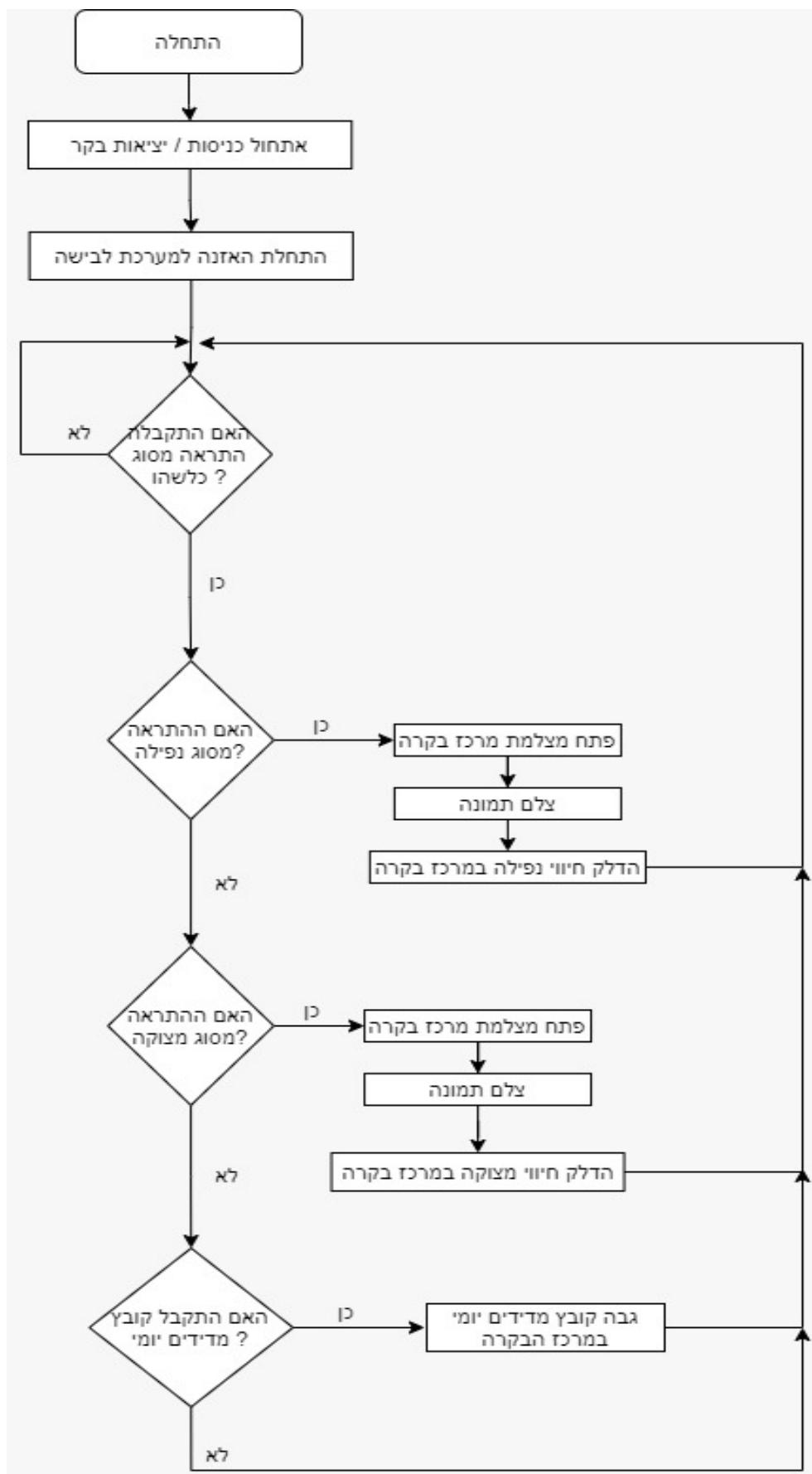
הקוד מורכב משני Scripts אחד עבור צד שרת ואחד עבור צד לקוח. התקשרות תתחיל בפנים לכתובת ה-IP של מרכז הבקרה והוא מצדיו ימתין באופן קבוע לקבלת הנתונים, בפרויקט זה נעביר קבצי תמונה ו-CSV של שמי המערכת תסוווג את האירועים הספציפיים ותמספר את כל אחד מהאירועים באותו יום לפי אינדקס על מנת לדעת להבדיל ביניהם ולשמור את המידע על כל אירוע חריג/העברה מידע יומיית באופן מיטבי.

3.2.3 תרשימי זרימה

איור 3-תרשימים זרימה עבור "מערכת לבישה"

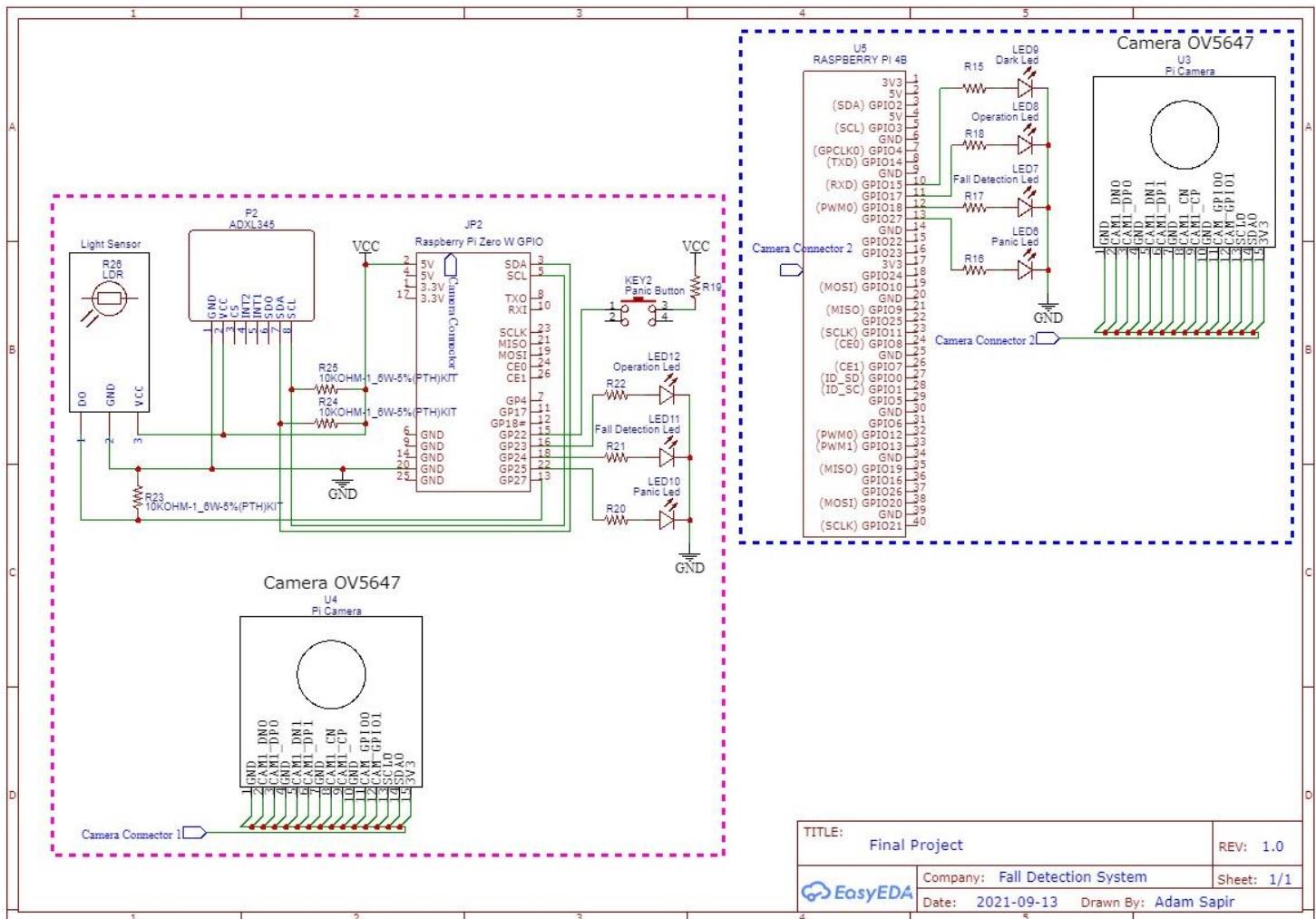


אייר 4- תרשים זרימה עבור "מערכת בקרת"

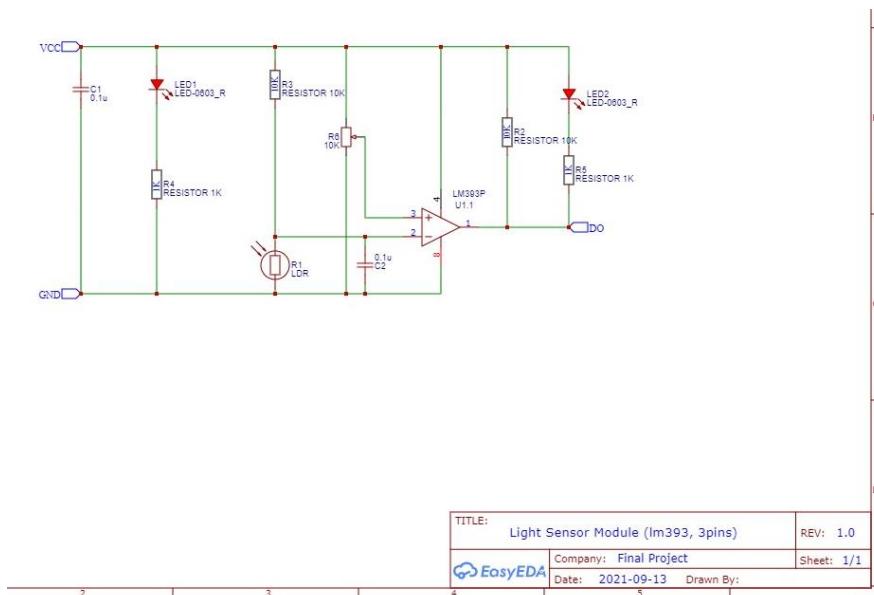


3.2.4 סכמה חשמלית

איור 5- סכימה חשמלית כללית



איור 6- סכימה חשמלית מודול תאורה



3.2.5 סימולציות + קביעת קרייטריון נפילה

סימולציות:

כמפורט לעיל, שימוש במכשיר API של רכיב מד התאוצה היה לכורה פשוט ויעיל לבעה המונחת לפתחנו אך מיד עם חיבור המערכת וביצוע סימולציות ניכר היה שפונקציית (`free_fall_detection()`) המופיעה במכשיר זה מספקת אינדיקציה על נפילה חופשית בלבד ואילו נפילת אדם אינה מעוררת את מגנון זיהוי הנפילה החופשית המומוש בפונקציה זו באופן עיל.

כפועל יוצא הוחלט לוטר על אינדיקציה זו ובמקומה לבצע דוגימה של נתוני הליכה באמצעות המערכת ולנתח אותם על מנת למש אלגוריתם לזיהוי נפילת אדם. ראשית נפרט מספר עקרונות מנהים בהם והנחות אשר מהוות אבני יסוד לצורך דוגימות הנתונים וידוא האלגוריתם באופן מיטבי.

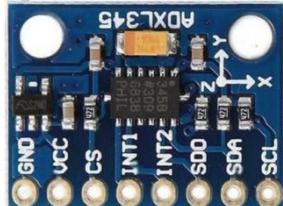
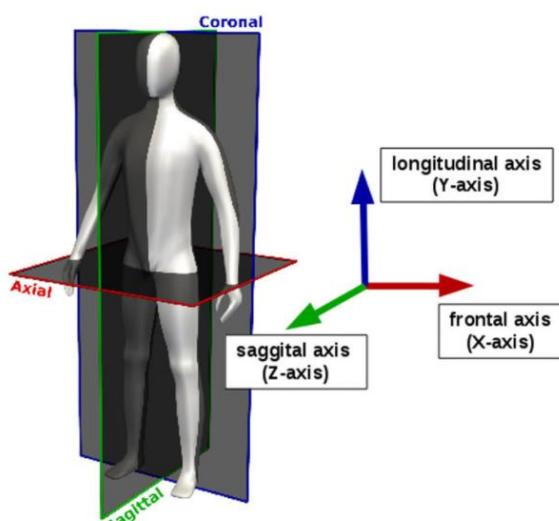
הנחות ועקרונות מנהים:

- מיקום החישון – על מנת להימנע ככל הנימן משינויי תנועה קיצוניים ולשמור על נוחות נשיאת המערכת הוחלט למקם את המערכת במרכז המותן של המשתמש. במקומות זה כמעט בכל הפעולות היומיומיות (למעט שכיבה או ישיבה והישענות לאחר) עמידה, הליכה, רכינה, ישיבה זקופה על כסא ואילו עליה או ירידת במדרגות משאיירות את מרכז הגוף של האדם באזורי המותניים. מיקום המערכת באזורי המותן הקדמי מהויה יתרון בגל היכולת לצפות שרכיב התאוצה *ADXL345*

איור 7 – כיוון הצירים בחישון
על הציר האנכי (ביחס לאופק כמפורט באירוע 5) יהיה הדומיננטי ביותר והוא קרוב לערך תאוצת הגוף m/sec^2 .

- תזמון הדוגימות – מרוחח הזמן המינימלי אשר יבטיח פעולה תקינה של רכיב מד התאוצה הינה $0.5sec$ (כך לפי ממשק API בו נעשה שימוש במסגרת פרויקט זה) לכן על מנת להבטיח כי מד התאוצה עובד באופן תקין ביצעו השהייה של חצי שנייה בין מדידות. כמו כן גם בזמן ביצוע הסימולציות חוברו כל החישנים והופלו ברקע על מנת לוודא כי אין מושפעים על מדידות החישון או על משלך פעולה המערכת.

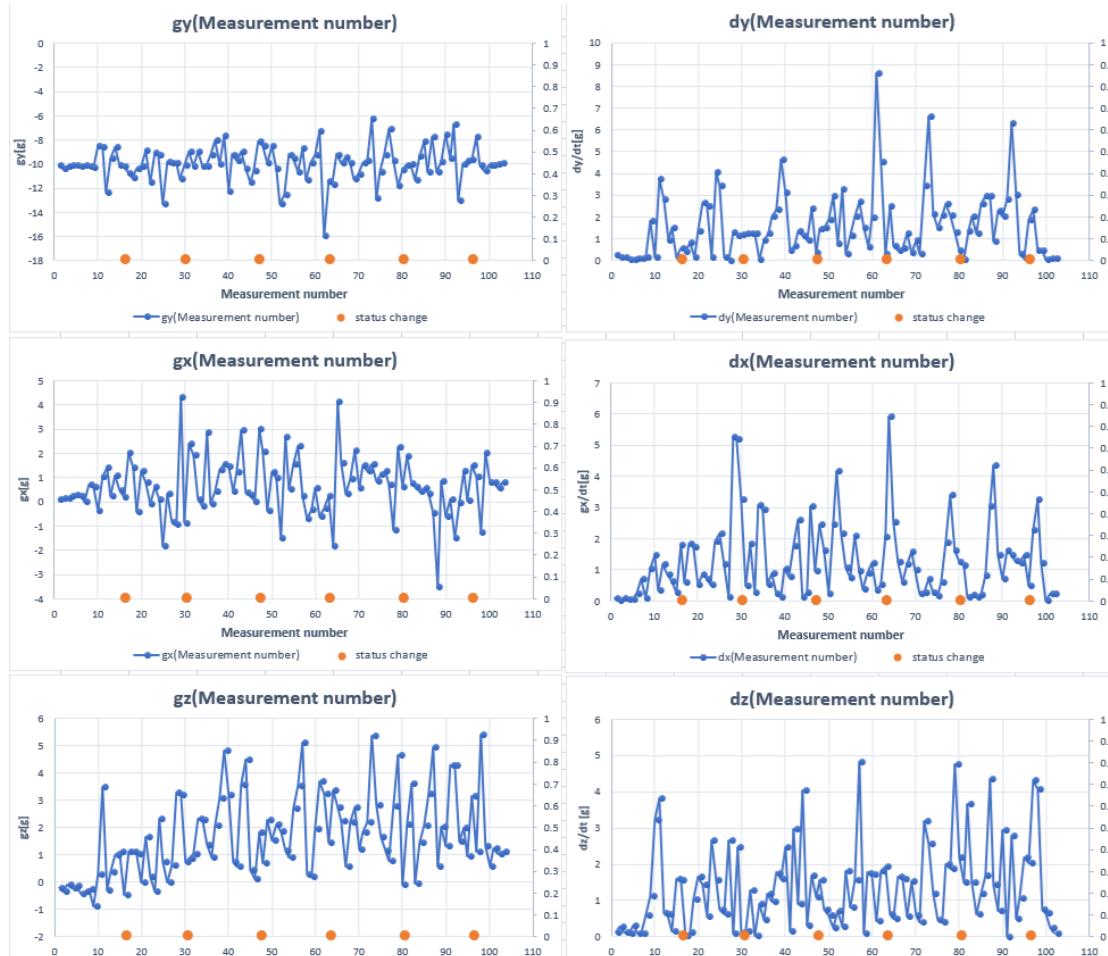
איור 8 – כיוון הצירים על רכיב *ADXL345*
בזמן המדידות חובר לחצן אשר שימש לשימור Bookmarks עבור שינויים בסטטוס התנועה. כל לחצן על הלחצן הושיפה סימון "+" בלשונית שעת הדוגימה וכן ניתנה אינדיקציה על שינוי הסטטוס.



כעת יוצגו ארבעה מדידות של אירועים שונים בחיי היום יום על מנת להבהיר את מהות האלגוריתם.

1. הליכה וסיבוב.
2. ישיבת כיסא.
3. רכינה קדימה.
4. נפילה.

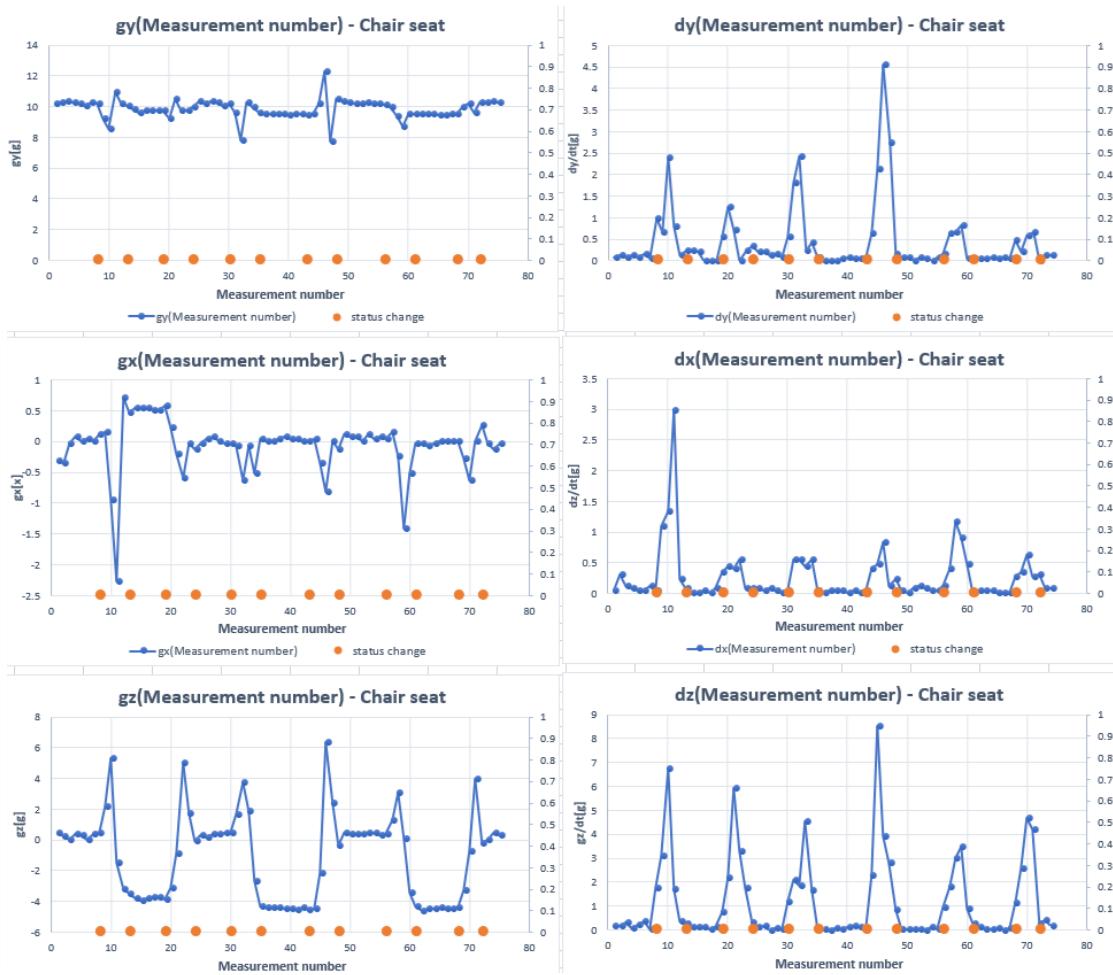
1. הליכה וסיבוב – שינוי סטטוס (נקודה כתומה) משמעו ביצוע סיבוב שנעשה בכוונה באופן קיזוני ומהיר מהרגיל על מנת לקחת את המערכת "לקצה"



גרף 1-גרפים עבור מדידת הליכה וסיבוב

סיבוב תוך כדי הליכה הוא גורם חשוב מוגדר כמצב בסיכון גבוה לנפילה.
נתבונן תחילה על הגרפים השמאליים אשר מציגים לנו את פלט רכיב מד התאוצה כפונקציה של מספר המדידה (מדידה מתבצעת כל חצי שנייה).
ניתן לראות כי אין קו מנוח אשר יכול לאפיין לנו מצב הליכה או סיבוב.
בגרפים הימניים מוצגים נתונים שינוי ערך ה-g (בערך מוחלט) בין מדידות סמוכות.
מנתונים אלו עדין לא הצליחו לבדוק תופעה באמצעות אמצעותנו נוכל לקבל אינדיקציה על מצב התנועה, אך נשתמש במקרים אלו בהמשך לטובת אלגוריתם איתור הנפילה.

2. **ישיבת כיסא –** שינוי סטטוס משמעו במקרה זה מעבר מעמידה לישיבה או להיפך.

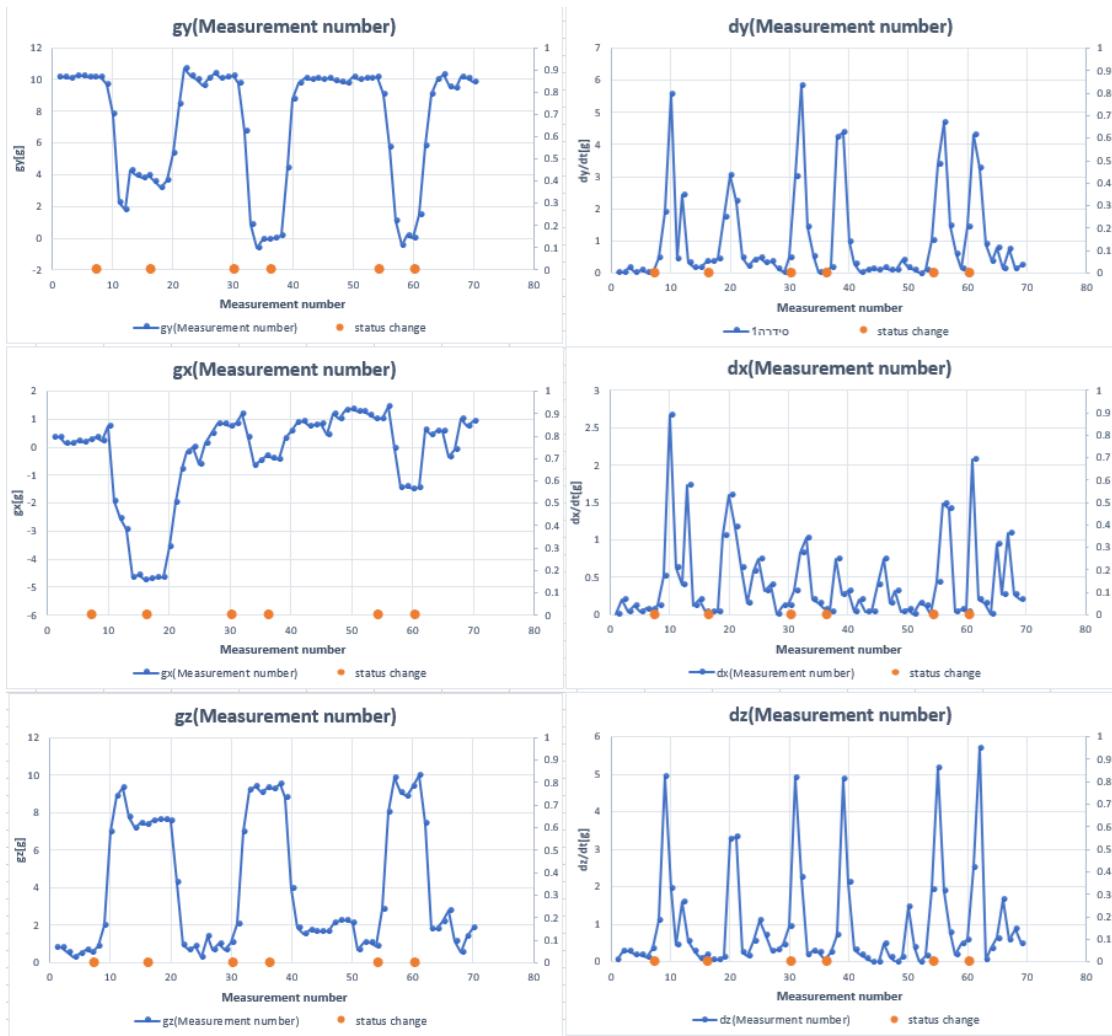


גרף 2 - גראפים עבור מדידת ישיבת כיסא

מעבר מעמידה לישיבה ולהיפך הינו גורם סיכון לנפילה אצל בני ה"גיל השלישי" זאת עקב שינוי לחץ הדם הנגרם כתוצאה מפעולה זו. מנתונים אלו ניתן להבחין באופן ברור כי כאשר בווצרו שניי סטטוס, המדידים השתנו בצירים הרלוונטיים (בעיקר Z-ו-Y) מהתבוננות忠诚 בציר Z ניתן לראות כי כאשר התבכעה ישיבה ירדו ערכי ה-Z מערך 0 לערך -4. עקב שינוי מנה הגוף. כמו כן, ניתן לראות שינוי קל בציר ה-Y. עקב ירידת/עליה פיזית של הגוף בזמןן ישיבה /עמידה בהתאם.

מנתונים אלו יוכלוו לא ספק לאפיין ישיבת כיסא אך עקב מורכבות האלגוריתם והרצון לדייק בכל הניתן את זיהוי הנפילה, הוחלט גם כאן להשתמש דוקא בנתוני שינינו ערך ה- \hat{g} (בערך מוחלט) בין מדידות סמוכות.

. 3. רכינה קדימה - שינוי סטטוס משמעו במקרה זה מעבר מעמידה זקופה להתקופות על מנת לדמות מצב בו המשתמש מרים חפץ מהרצפה.

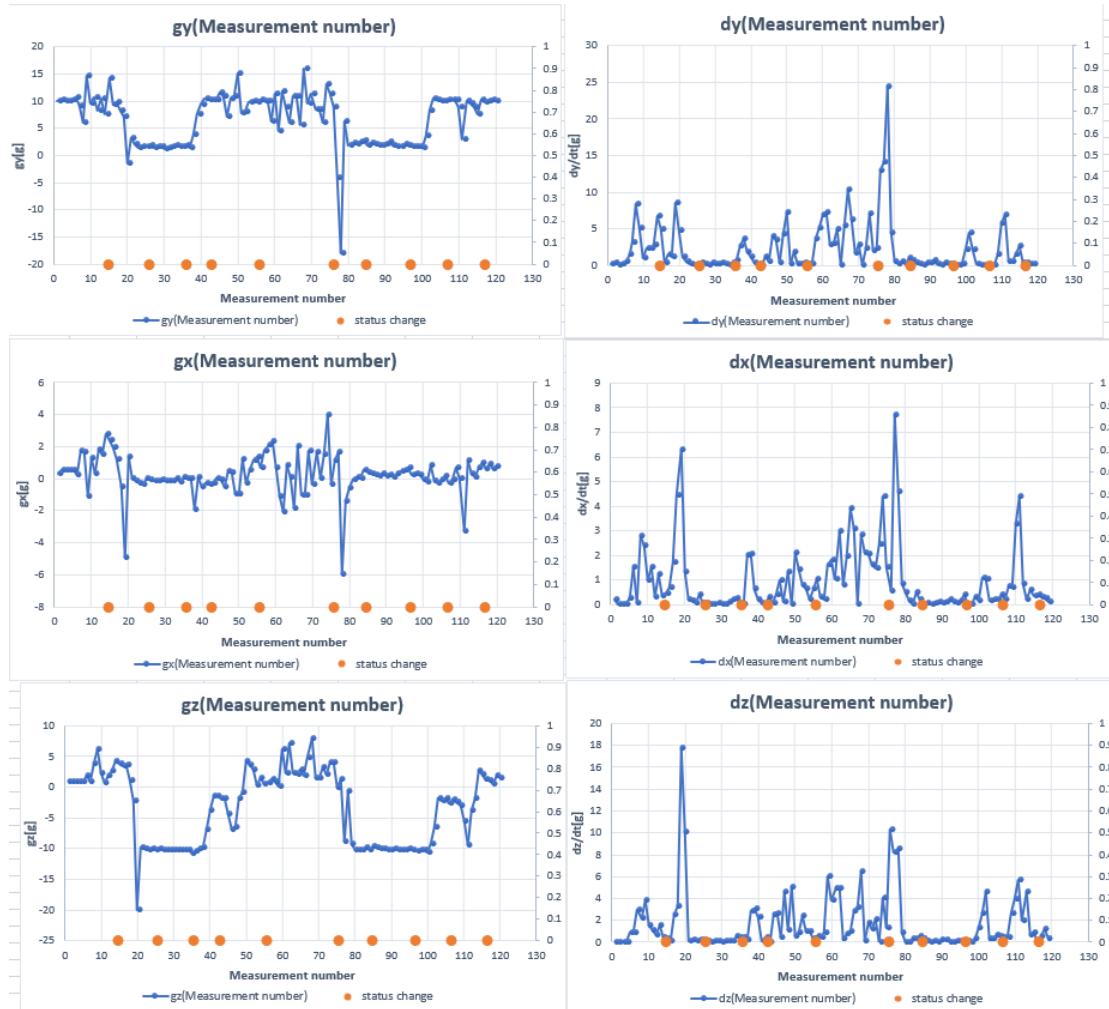


גרף 3-גרפים עבור מדידת רכינה קדימה

רכינה קדימה הינה גורם סיוכן לנפילה עקב איבוד שיווי משקל של אדם וגרימה לנפילה קדימה אשר יכולת לגרום לפציעה ואף לאיבוד הכרה.

גם במקרה זה קיימת אבחנה מאוד ברורה מיד עם שינוי הסטטוס למעבר בין רכינה לעמידה אך שוב אינו מעוניינים לנתח את כלל מצביו ההלכתי אלא לאפיין מצב נפילה בלבד ולשם כך אנו נדרשים לגרפים הימניים של שינוי ערך ה- θ (בערך מוחלט) בין מדידות סמוכות.

4. נפילה – כתע שינוי הסטטוס מעיד על רגע לפני הנפילה, רגע אחרי הנפילה, רגע המעבר לישיבה, רגע המעבר לעמידה ורגע בו המשתמש בעמידה מוחלטת. בסימולציה זו בוצעו שתי נפילות ספונטניות על מנת לקבל נתונים מדויקים ואמיטיים ככל הניתן.



graf 4- גրפים עבור מדידת נפילה

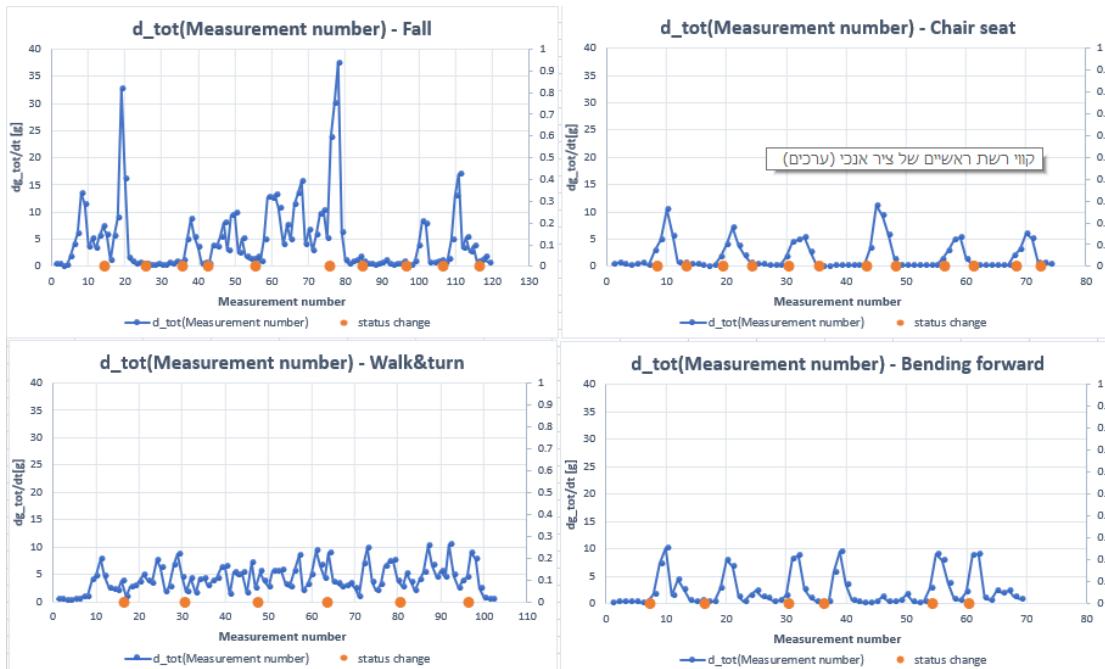
ניתן לראות כי בעת הנפילה בוצע שינוי בכל הצירים באופן קיצוני (מצין כי הנפילות היו על הגב לצורך הבדיקה) עוד נבחין כי הציר הדומיננטי עליו מופעל הכוח הגדול ביותר משנהו כתוצאה מהנפילה.

עם זאת הדרישה למציאת קритריון לנפילה מנתונים אלו לא נתנה אינדיקציה מדויקת חד משמעית עבור נפילה (בוצעו עוד כעשר מדידות נוספות המובאות בקובץ הנספח). לכן נבדקו ערכי הנגורות הרגניות הנמדדת בכל אינדקס באופן הבא :

$$dg_y(i) = g_y(i) - g_y(i-1)$$

מדובר על נגורת רגעית של ערכי כוח ה-g הנמדד במד התאוצה. לא בוצע חילוק ב-2 (מייצעו) ב�לל שהדגימה מבוצעת אחת לחצי שנייה ולכן אם היו מחלקים ב-2 ומכפילים את המכנה בערך הזמן (0.5sec) היינו מגיעים לנוסחה הרשומה מעלה.

כטוצאה מחישוב זה נקבל את השינוי בכל ציר עבור כל שתי מדידות סמוכות ואלו הגרפים המוצגים בחלק הימני של כל מדידה שבייצעו. לאחר ביצוע הנזורת הרגעית ביצעו סיכום של השינוי הכלול (בשלושת הצירים) עבור כל אינדקס בנפרד והتوزאות מוצגות להלן:



גרף 5 - גրפים עבור תזואה משוקלת

כעת מסיכום נתונים אלו ניתן לראות באופן חד משמעי כי בכל אחד מהמדידות שבוצעו ערך השינוי הרגעי הכלול של כוח ה- g לא עולה על 20[g] ואילו עבור ערכי הנפילה בלבד נדגו ערכים של 30[g] ו יותר.

לאחר בדיקת כלל המדידות שנאספו הוחלט על ערך Threshold של 25[g] אשר ייתן אינדיקציה מדויקת עבור נפילה.

אלטרנטיבית נוספת הייתה לבצע אינטגרציה בזמן ולבחש שינוי באורך התנועה. אופציה זו ירדה מהפרק בגלל שמדובר על אדם אשר יכול לשכב למשל ובאלגוריתם זה לא היה ניתן לאפיין מהי שכיבה ומהי נפילה בגלל התמימות בציר בודד ואילו באlgorigthm הנבחר אין משמעות לשינוי בציר אקרוי אלא לכל הצירים אותו משקל דבר המאפשר לו להיות איזור בו למשתמש אין שליטה באחד הצירים או בכולם יחד וכך לוחות שינוי קיצוני הגורם לעיתים קרובות לנפילה.

3.3 בעיות ופתרונות הנדרסים

1. אפיון מצבים מסכני חיים –

אפיון מצב מסכן חיים באמצעות זיהוי נפילה על ידי חיישן ADXL345 לכאורה אמר להיות דבר פשוט הקיים במכשיר API. כפי שנכתב לעיל ממשק API אכן תומך באיתור נפילה חופשית אך מודל הנפילה החופשית אינו זהה לזה של נפילת אדם لكن החלטת על הגדרת אלגוריתם "איתור נפילה" הייתה הכרחית. על מנת לאפיון אלגוריתם זה בוצעו מספר רב של מדידות עבור מקרי קצה שונים החל מהליכה, ישיבה, עלייה במדרגות, שכיבה וכלה במעידה הגורמת לנפילה. מלבד הצורך בדגימות נתוניות וניתוחן אופי דגימת הנתוניות אינו שגרתי ועל מנת להגיע לנוטונים הקרובים ביותר לנקודת המערכה לבשה פיזית וביצעו כל אחד ואחד מן המקרים האמורים מעלה.

2. מיקום המערכת תוך התחשבות בנסיבות הלבישה –

חלק מהתוכנו הראשוני עלה צורך למקם את המערכת באופן שייהיה נוח לנשיאה לשימוש ובנוסף למקמה באופן בו יוכל לדגום את הנתוניות בצורה הטובה ביותר. על מנת לענות על החלק הראשון של הבעיה נדרש מהמערכת להיות בעלי משקל ומדדים כאלה שלא יפריעו לשימוש בחזי היומיום ולאחר בחירת הרכיבים ועמידה בדרישות אלו נבחר אוזר המותן הקדמי כמיקום הנוח ביותר עבור השימוש כך שגם פקטורי המשקל אינם משמעותיים וגם ממדדי המערכת יפריעו במידה מועטה לשימוש הקצה. מיקום המותן הוא בעל יתרון מובהק נתוני התנועה מכיוון שהוא נשאר יציב באופן ייחסי לחלקים אחרים כגון גפיים והוא בעל תנועה מונוטונית ושאינה משתנה באופן קיצוני כתלות בתנועה שగרתית.

3. רכישת יכולת העברת נתונים בזמן אמת –

על המערכת לרכוש יכולת העברת נתונים על מנת להתריע על מצב מסכן חיים. בפרויקט זה נבחר בקר בעל יכולת התממשקות לרשת אינטרנט אלחוטי – Wi-Fi. התקשרות בין המערכת הלבישה לבין מרכז הבקרה מתבססת על פרוטוקול תקשורת TCP-IP מימוש פרוטוקול זה באופן יעיל וכתיבת פונקציות ייעודיות אשר ידגו את המידע בזמן האירוע וישלחו את ההתראה באמצעות הפרוטוקול הנ"ל.

4. התאמת מקור מתח –

על מנת לאפשר למערכת לעבוד באופן אלחוטי ולענות על דרישות הסף שנקבעו למינימום של 3 שעות עבודה היה צורך בהתקנת מקור מתח חזק מספק שיענה על הדרישות האלקטרוניות ובנוסף יהיה בעל משקל קל ככל האפשר על מנת להקל על נשיית המערכת. עקב בעיות בטיחות של שינוע אוירiy מקור המתוח לא הגיע וכן המבקרים המוצגת מופעלת באמצעות מטען נייד גדול פיזית וכבד יחסית לפרויקט זה.

4. סיכום ודיון

4.1.1 הערך הפROYיקט

אתהיל בינוי אישית, סבי אברהם ספר זיל נפטר לפני כ-3 שנים עקב נפילה בביתו. מבחינתי פרויקט זה מוקדש לעליוי נשמהו ומטרת הפרויקט היא להגביר את המודעות והចורך במערכות מסווג זה. כפי שנאמר מעלה, כל מבוגר שלישי נופל אחת לשנה על פי נתוני משרד הבריאות חלק גדול מהמרקמים מתרחשים בבית ומתוכם חלק קטן מהאנשים נזקקים לטיפול רפואי אף לאשפוז. על אף שלא מירב המקרים מסתיימים בפצעה או מוות, החשיבות של חי אדם אפילו אם הסיבות לפגיעה בהם היא יחסית נמוכה הינה ראשונה במעלה ובעלת עדיפות על כל צורך אנושי אחר.

4.1.2 סיכום ומסקנות

לסיכום, פרויקט זה עוסק ברובו בניתו מדדי תנועה של אדם על מנת לאפיין מצב מסכן חיים בו האדם מוטח אל הקרקע. מלבד הערך הלימודי הרב שהפקתי מפרויקט זה היה בו גם סגירת מעגל עבורי והוא הקנה לי יכולת חשיבה מחוץ לקופסה במסגרת ההתמודדות עם ניתוח הליכת אדם, דבר שהואزر לי עד תחילת פרויקט זה.

ביצוע הפרויקט היה עבורי אתגר מורכב אשר במהלךיו היו לא מעט שעות למידה עצמית, למידה על פרוטוקולי תקשורת וIMPLEMENTATION, עבודה עם בקר, התקנת ספריות, הרכבת המערכת הכוללת על מנת לבצע את המדידות.

במסגרת הפרויקט נחשפה לנושאים ותהליכיים רבים שהקדמו אותו הן בrama המקצועית והן בrama האישית. הניסיון שרכשתי בפיתוח תוכנה, בתכנונות בקרים וברשות ובסוגות ובסוגות רשות עזר ותרם רבות להבנתי ולהמשך דרכי המקצועית.

4.1.3 תוספות עתידיות

- שימירת המדדים הקיימים בפרויקט נועדה לשדרוג עתידי של אלגוריתם "איתור הנפילה" הוסף אפיון מצבים כמו הליכה, ישיבה, עמידה וכן מתן אפשרות למידה עמוקה עבור המערכת כך שתלמיד כל משתמש ומשתמש באופן אישי ותדע לאפיין את הרגלי הליכה שלו ולהתאים את ערכי הסף של המערכת כתלות בדges נטוניים ההליכה.
- התממשקות למודם סלולרי ושליחת הודעה או שיחה למספר מוגדר בעת נפילה או לחיצה על לחץ מצוקה.

4.1.4 עמידה בדרישות

טבלה 3 - סטאטוס עמידה בדרישות הפרויקט

ביצוע בפרויקט	דרישות בפרויקט
בוצע	כתיבת הצעת פרויקט
בוצע	קריאת חישנים בזמן אמת
בוצע	שימוש בתקשורת אלחוטית והקמת קשר TCP
בוצע חלקית	תכנן מקור מתח
בוצע	כתיבת אלגוריתם לאייתור נפילה + הקמת התראה
בוצע	הקמת מערכת בקרה
בוצע	ניתור מצב תאורה
בוצע	כתיבת ספר פרויקט

- [1] the Israeli Ministry of Health, "2019 סקר נפילות לאומי בישראל". [Online]. Available: https://www.gov.il/BlobFolder/reports/israel-national-elderly-falls-survey-2019/he/files_publications_units_ICDC_israel-national-elderly-falls-survey-2019.pdf
- [2] NXP semiconductors, "I²C-bus specification and user manual", Rev. 6, April 4, 2014. [Online]. Available: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>
- [3] L. Pounder, "Raspberry Pi Zero Guide: Projects, Specs, GPIO, Getting Started", tomshardware.com, August 04, 2020. [Online]. Available: <https://www.tomshardware.com/features/raspberry-pi-zero>
- [4] Walmart. "Digital Light Intensity Detection Photosensitive Sensor Module", walmart.ca. [Online]. Available: <https://www.walmart.ca/en/ip/Module-Photosensitive-Intensity-Digital-Smart-5pcs-Car-Robot-Light-Fyydes-Detection-Module-Arduino-Sensor/PRD38WBCTJ4VWX1>
- [5] Picamera.readthedocs, "Picamera". [Online]. Available: <https://picamera.readthedocs.io/en/latest/recipes1.html>
- [6] "R-Pi Troubleshooting", in eLinux, Embedded Linux Wiki. [Online]. Available: https://elinux.org/R-Pi_Troubleshooting#Coloured_splash_screen
- [7] Programiz, "Python datetime". [Online]. Available: <https://www.programiz.com/python-programming/datetime>
- [8] Amazon, "Pisugar Portable Power Module", amazon.co.uk. [Online]. Available: <https://www.amazon.co.uk/Pisugar-Portable-Lithium-Raspberry-Accessories/dp/B07RDNT8CY>
- [9] N. Jennings, "Socket Programming in Python (Guide)", realpython.com. [Online]. Available: <https://realpython.com/python-sockets/#tcp-sockets>
- [10] A. Singh, *Socket Programming With Python*. Lulu.com, 2019.
- [11] J. Pyles, J. L. Carrell, and E. Tittel, *Guide to TCP/IP*. WCN, 2017.
- [12] S. Rakhecha, *Reliable and Secure Body Fall Detection Algorithm in a Wireless Mesh Network*. Rochester Institute of Technology, 2013.

- [13] ANALOG DEVICES, "Digital Accelerometer", ADXL345 datasheet. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/ADXL345.pdf>
- [14] Raspberry Pi. "Camera". [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/documentation/accessories/camera.html>
- [15] Raspberry Pi, "Raspberry Pi 4 Model B", Raspberry Pi 4 Model B datasheet. [Online]. Available: <https://datasheets.raspberrypi.org/rpi4/raspberry-pi-4-datasheet.pdf>
- [16] MOTOROLA, "Low Offset Voltage Dual Comparators", LM393N datasheet. [Online]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/3072/MOTOROLA/LM393N.html>
- [17] JdaieLin, "PiSugar", github.com, June 20, 2021. [Online]. Available: <https://github.com/PiSugar/PiSugar>