

1. גמיל יעקוב 207894775
2. אברהים מגאדלה 207101734
3. אברהים חוראני 316203405

## **מטלה 0 – חלק ראשון**

דוח מסכם: הכרות עם החללית "בראשית" ופיתוח סימולטור נחיתה אוטונומי

### **הסיבות הטכניות להתרסקות "בראשית"**

החללית "בראשית", שפותחה על ידי Spacell, התרסקה על הירח ב-11 באפריל 2019 לאחר כשל במערכת ההנחיה האוטונומית. מהניתוח הטכני עולה כי הסיבה העיקרית להתרסקות הייתה כשל במד התאוצה (IMU - Inertial Measurement Unit) שגרם לשרשרת כשלים במערכת הבקרה:

#### **1. כשל ראשוני במד התאוצה (IMU)**

במהלך הנחיתה, אחד מחיישני ה-IMU קרס עקב "restart" לא מתוכנן של המערכת. הסיבה לכך הייתה ככל הנראה הפרעה אלקטרומגנטית או עומס חישובי שגרם לאתחול המערכת.

#### **2. אי יכולת לתקן את הכיוון עקב אובדן נתונים**

לאחר קריסת ה-IMU, מערכת הבקרה ניסתה לחשב את המיקום והמהירות בעזרת חיישנים אחרים, אך הדיוק נפגע. כתוצאה מכך, החללית החלה לבצע תמרון לא נכון שגרם לה לאבד שליטה.

#### **3. כיבוי המנוע הראשי בטרם עת**

עקב חישוב שגוי של הגובה והמהירות, המנוע הראשי \*כובה בגובה של כ-150 מטר\* במקום להמשיך לבלימה עד הנחיתה. החללית צנחה בחופשיות והתרסקה על הירח במהירות גבוהה.

#### **4. אי עמידה ביעדי הנחיתה**

הנחיתה הייתה אמורה להתבצע במהירות אנכית של פחות מ-2.5 מטר לשנייה, אך בפועל המהירות הייתה גבוהה בהרבה. כמו כן, לא נותר דלק מספיק לביצוע תיקונים אחרונים.

### **מסקנה:**

הכשל נבע משילוב של תקלת חומרה (IMU) ותוכנה (אלגוריתם בקרה שלא הצליח להתמודד עם הכשל).

## מטלה 0 – חלק שני

### דוח טכני: סימולציית נחיתה אוטונומית על הירח

דוח זה מציג סימולציה של נחיתה אוטונומית של בראשית על הירח, תוך שימוש במערכת בקרת PID. מטרת הסימולציה היא להבטיח נחיתה בטוחה על ידי ויסות דחף המנוע בהתאם למהירות ולגובה הבראשית.

### חומרים ושיטות

#### פרמטרים פיזיקליים

- תאוצת הכבידה של הירח:  $1.625 \text{ m/s}^2$
- דחף מקסימלי של המנוע:  $4500 \text{ N}$
- דחף מינימלי:  $0 \text{ N}$
- מסה ללא דלק:  $165 \text{ kg}$
- מסה התחלתית של הדלק:  $420 \text{ kg}$
- צעד זמן בסימולציה:  $50 \text{ s}$
- מהירות יעד לנחיתה בטוחה:  $2 \text{ m/s}$

#### בקר PID

הסימולציה עושה שימוש בבקר PID המותאם לנחיתה רכה, עם הפרמטרים:

**מהירות אנכית PID:** עם ערכים מותאמים אישית ( $k_p=10$ ,  $k_i=0.5$ ,  $k_d=1.0$ )

**מהירות אופקית PID:** עם ערכים מותאמים אישית ( $k_p=0.1$ ,  $k_i=0.01$ ,  $k_d=0.05$ )

**זווית ההטיה PID:** עם ערכים מותאמים אישית ( $k_p=5$ ,  $k_i=0.2$ ,  $k_d=0.5$ )

#### תיאור הסימולציה

הבראשית מתחילה את מסלולה בגובה **30 ק"מ** ובמהירות התחלתית של  $1,700 \text{ m/s}$ . הבקר PID מחשב את השגיאה בין המהירות הנוכחית למהירות היעד ומתאים את הדחף של המנוע כדי להאט את הבראשית לנחיתה בטוחה.

תהליך זה כולל:

1. חישוב שגיאת המהירות.
2. התאמת הדחף בהתאם לגובה: שימוש בדחף גבוה יותר בשלבים קריטיים.
3. חישוב הכוחות הפועלים על הבראשית: כוח כבידה, דחף ותאוצה.
4. עדכון משתנים: מהירות, גובה ומסת הדלק בכל צעד זמן.
5. עצירת הסימולציה ברגע שבראשית נוגעת בקרקע.

## **תוצאות גרפיות:**

הנתונים הגרפיים מוצגים בצורה ברורה להערכת הצלחת המשימה וההשוואה לפי המדדים השונים. כל גרף מציג את השינויים בזמן של:

1. **גובה הנחיתה** - שינויים בגובה במהלך הזמן.
2. **מהירות אנכית** - התנהגות המהירות האנכית של החללית.
3. **מהירות אופקית** - התנהגות המהירות האופקית של החללית.
4. **כמות דלק נשארת** - עדכון לגבי כמות הדלק הנשארת בסימולציה.

## **מסקנות**

הסימולציה מדגימה כיצד ניתן להשתמש בבקר PID לנחיתה בטוחה של הבראשית על הירח. הבקר מבצע ויסות אופטימלי של הדחף, תוך שמירה על מהירות בטוחה בעת הנחיתה. תהליך זה חשוב לתכנון מערכות הנחיתה של משימות חלל עתידיות.