

מגמה הנדסה יישומית

מודולה 1 כיתה י"א

תוכנית לימודים בנושא: יסודות רחפנים, בטיחות ופיזיקה יישומית

60 שעות

מחבר:

מר כרים אסעד

עורכת:

ד"ר אמונה אבו-יונס עלי

ייעוץ מדעי ופדגוגי:

גב' אירנה אוצ'יטל

מפמ"ר המגמה:

מר שלומי אחנין

סמל מגמה: 1150

עדכון: אוגוסט 2026

כל הזכויות שמורות למשרד החינוך

מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים, מור-טק

הפרויקט מבוצע על ידי הטכניון עפ"י מכרז 22/11.2020

הפרויקט מבוצע עבור מינהל חדשנות וטכנולוגיה אגף א' STEM, משרד החינוך

החומר יצא לאור במימון מינהל חדשנות וטכנולוגיה אגף א' STEM, משרד החינוך ומינהלת מל"מ
המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי.

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם, לאחסן במאגר מידע, לשדר או לקלוט בכל דרך או
אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני או אחר כל חלק שהוא מהחומר שבחברת זו. שימוש מסחרי מכל
סוג שהוא בחומר הכלול בחוברת זו אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מהמו"ל.

תוכן עניינים

1.....	מבוא לתוכנית הלימודים
1.....	חלוקת שעות
1.....	דגשים דידקטיים
2.....	תוכנית לימודים בנושא יסודות רחפנים, בטיחות ופיזיקה יישומית
2.....	לימודים עיוניים (40 שעות)
2.....	פרק 1 – מבוא לרחפנים (4 שעות)
3.....	פרק 2 – מבנה הרחפן ומערכתיו (6 שעות)
4.....	פרק 3 – פיזיקה של הטיסה והכוחות הפועלים על הרחפן (8 שעות)
5.....	פרק 4 – יציבות, בקרה ושליטה במרחב (6 שעות)
5.....	פרק 5 – בטיחות בהפעלת רחפנים וסביבה בטוחה (6 שעות)
7.....	פרק 6 – רגולציה, אחריות המפעיל ונוהלי חירום (4 שעות)
7.....	פרק 7 – ניתוח אירועי בטיחות ויישום עקרונות הטיסה (6 שעות)
8.....	לימודים התנסותיים (20 שעות)

מבוא לתוכנית הלימודים

תוכנית לימודים זו נועדה להקנות לתלמידי מגמת הנדסה יישומית ידע תיאורטי ומעשי ביסודות הרחפנים, בעקרונות הפיזיקה של הטיסה, בכללי הבטיחות ובהיבטים בסיסיים של רגולציית הפעלת רחפנים.

במהלך הלמידה יכירו התלמידים את מבנהו של רחפן רב-להב, את תפקידם של רכיביו העיקריים, את הכוחות הפועלים עליו בזמן הטיסה ואת עקרונות היציבות והשליטה במרחב. בנוסף ילמדו התלמידים כיצד משפיעים שינויי מהירות המדחפים על תנועת הרחפן, כיצד נשמר שיווי המשקל בזמן ריחוף ותנועה, וכיצד מיושמים חוקי ניוטון במערכת טיסה בלתי מאוישת. התוכנית מתבססת על עקרונות כלליים של הפעלת רחפנים, כאשר במהלך ההוראה יודגם חלק מהחומר באמצעות רחפן חינוכי (לדוגמה: DJI Tello). התוכנית משלבת למידה עיונית עם התנסות מעשית, צפייה בהדגמות, ניתוח מצבי טיסה, פתרון בעיות ודיון באירועי בטיחות. דגש מיוחד מושם על פיתוח חשיבה הנדסית, אחריות מקצועית ויכולת לנתח את התנהגות הרחפן בהתאם לעקרונות הפיזיקה והבקרה.

חלוקת שעות

חלוקת השעות ללימודי מודולה 1 – יסודות רחפנים, בטיחות ופיזיקה יישומית בכיתה י"א נתונה בטבלה שלהלן:

שם המקצוע יסודות רחפנים, בטיחות ופיזיקה יישומית	כיתה י"א	סה"כ כללי
	2 ש"ש	60 ש'

דגשים דידקטיים

- שילוב בין הקניית ידע תיאורטי לבין התנסות מעשית באמצעות רחפן לימודי.
- פיתוח הבנה הנדסית של מבנה הרחפן ותפקידם של רכיביו השונים.
- הדגשת הקשר בין עקרונות הפיזיקה לבין התנהגות הרחפן בזמן הטיסה.
- עידוד חשיבה אנליטית באמצעות ניתוח מצבי טיסה, פתרון בעיות ודיון באירועי בטיחות.
- שילוב עבודה עצמאית ועבודה בקבוצות במהלך פעילויות חקר ומשימות יישומיות.
- הקניית תרבות בטיחות, אחריות מקצועית והקפדה על ביצוע בדיקות לפני הטיסה.
- הכרת עקרונות הרגולציה הבסיסיים להפעלת רחפנים בישראל והטמעתם בתהליכי ההוראה והלמידה.

תוכנית לימודים בנושא יסודות רחפנים, בטיחות ופיזיקה יישומית

לימודים עיוניים (40 שעות)

פרק 1 – מבוא לרחפנים (4 שעות)

יעדים

- הכרת מושגי היסוד בתחום הרחפנים וכלי הטיס הבלתי מאוישים.
- הבחנה בין סוגי רחפנים בהתאם למבנה ולייעוד.
- הכרת תחומי היישום המרכזיים של רחפנים במגזר האזרחי, התעשייתי, החינוכי והביטחוני.
- פיתוח הבנה לגבי התפתחות טכנולוגיית הרחפנים והשפעתה על תחומי החיים השונים.

תכנים

- 1.1 הגדרת רחפן (UAV – Unmanned Aerial Vehicle).
- 1.2 הבחנה בין רחפן, כטב"ם (UAS) וכלי טיס בלתי מאוישים אחרים.
- 1.3 התפתחות היסטורית של תחום הרחפנים.
- 1.4 שימושים אזרחיים:
 - צילום אווירי.
 - חקלאות מדייקת.
 - מיפוי ומדידות.
 - חיפוש והצלה.
 - משלוחים ולוגיסטיקה.
- 1.5 שימושים תעשייתיים וביטחוניים (ברמה כללית).
- 1.6 סוגי רחפנים:

- רחפן צילום.
- רחפן מרוץ (FPV).
- רחפן תעשייתי.
- רחפן חקלאי.
- רחפן למשימות ביטחון והצלה.
- רחפן לימודי לדוגמה: (DJI Tello)

פרק 2 – מבנה הרחפן ומערכתיו (6 שעות)

יעדים

- הכרת המבנה הכללי של רחפן רב-להב.
- הכרת תפקידם של מכלולי הרחפן.
- הבנת הקשר בין מערכות הרחפן לבין יציבות ובקרת הטיסה.
- הכרת המאפיינים העיקריים של רחפנים חינוכיים.

תכנים

- 2.1 מבנה כללי של רחפן רב-להב.
- 2.2 שלדת הרחפן (Frame).
- 2.3 מנועים חשמליים (Motors).
- 2.4 מדחפים (Propellers).
- 2.5 בקרי מהירות אלקטרוניים (ESC).
- 2.6 בקר הטיסה (Flight Controller).
- 2.7 מערכות חישה:
 - ג'ירוסקופ (Gyroscope).
 - מד תאוצה (Accelerometer).
 - חיישני גובה.
 - מערכות ראייה וניווט.
- 2.8 מערכת הצילום.
- 2.9 מערכת התקשורת.
- 2.10 סוללות רחפן (Lithium-Polymer – Li-Po).
- 2.11 מערכות ניווט לווייני – (GNSS / GPS) ברחפנים התומכים בכך.
- 2.12 מגבלות אופייניות של רחפנים:
 - זמן טיסה.
 - טווח תקשורת.
 - עומס נשיאה.
 - השפעת תנאי מזג האוויר.
 - מגבלות גובה ומהירות.

פרק 3 – פיזיקה של הטיסה והכוחות הפועלים על הרחפן (8 שעות)

יעדים

- הכרת הכוחות הפועלים על רחפן בזמן ריחוף ובמהלך הטיסה.
- הבנת עקרונות יצירת כוח העילוי באמצעות המדחפים.
- הכרת חוקי ניוטון ויישומם במערכת טיסה בלתי מאוישת.
- ניתוח מאזן הכוחות במצבי טיסה שונים.
- הבנת הקשר בין שינוי כוחות הטיסה לבין תנועת הרחפן במרחב.

תכנים

- 3.1 מבוא לפיזיקה של טיסת רחפן.
- 3.2 ארבעת הכוחות הפועלים על הרחפן:
 - כוח העילוי (Lift) .
 - כוח הכבידה (Weight / Gravity) .
 - כוח הדחף (Thrust) .
 - כוח הגרר (Drag) .
- 3.3 יצירת כוח העילוי באמצעות המדחפים.
- 3.4 יישום חוקי ניוטון בטיסת רחפן:
 - החוק הראשון – חוק ההתמדה.
 - החוק השני – כוח ותאוצה.
 - החוק השלישי – פעולה ותגובה.
- 3.5 מאזן הכוחות במצבי טיסה שונים:
 - ריחוף.
 - עלייה.
 - ירידה.
 - תנועה אופקית.
- 3.6 פירוק כוח הדחף לרכיבים אופקי ואנכי.
- 3.7 תנאים להאצה, למהירות קבועה ולשמירת גובה.
- 3.8 השפעת מסת הרחפן, התנגדות האוויר ותנאי הסביבה על ביצועי הטיסה.

פרק 4 – יציבות, בקרה ושליטה במרחב (6 שעות)

יעדים

- הכרת מושגי היסוד של בקרת רחפן.
- הבנת השפעת שינוי מהירות המדחפים על תנועת הרחפן.
- הכרת תנועות היסוד של רחפן רב-להבי.
- פיתוח יכולת לנתח מצבי תנועה ולחזות את תגובת הרחפן.

תכנים

4.1 עקרונות היציבות של רחפן רב-להבי.

4.2 תנועות היסוד:

- Throttle.
- Pitch.
- Roll.
- Yaw.

4.3 שינוי מהירות המדחפים לצורך שליטה בכיוון ובגובה.

4.4 שמירת יציבות בזמן ריחוף.

4.5 שינוי כיוון ותנועה במרחב.

4.6 השפעת רוח והפרעות חיצוניות על יציבות הרחפן.

4.7 תקלות אופייניות הקשורות לעקרונות הפיזיקה:

- רוח צד.
- מדחף פגום.
- עומס יתר.
- סוללה חלשה.

פרק 5 – בטיחות בהפעלת רחפנים וסביבה בטוחה (6 שעות)

יעדים

- הכרת עקרונות הבטיחות בהפעלת רחפנים.
- זיהוי גורמי סיכון סביבתיים וטכניים העלולים להשפיע על בטיחות הטיסה.
- הקניית הרגלי עבודה בטוחים לפני, במהלך ולאחר הטיסה.
- פיתוח אחריות מקצועית בהפעלת רחפן בסביבה חינוכית.

תכנים

5.1 עקרונות הבטיחות בהפעלת רחפנים.

5.2 בדיקות לפני טיסה (Pre-flight Checklist) :

- תקינות הסוללה.
- תקינות המדחפים.
- בדיקת מערכות החישה.
- בדיקת מערכות התקשורת.
- בדיקת סביבת ההטסה.

5.3 גורמי סיכון סביבתיים:

- רוח.
- גשם ותנאי מזג אוויר.
- מכשולים.
- קווי מתח.
- עצים.
- מבנים.
- אנשים.

5.4 גורמי סיכון טכניים:

- סוללה חלשה.
- מדחפים פגומים.
- תקלות חיישנים.
- תקלות במערכת הבקרה.

5.5 השפעת תנאי הסביבה על בטיחות הטיסה.

5.6 קבלת החלטות לפני ביצוע משימת טיסה.

פרק 6 – רגולציה, אחריות המפעיל ונוהלי חירום (4 שעות)

יעדים

- הכרת עקרונות הרגולציה הבסיסיים להפעלת רחפנים.
- הבנת אחריותו המקצועית של מפעיל הרחפן.
- הכרת נהלי פעולה במצבי חירום.
- פיתוח יכולת קבלת החלטות במצבים בלתי צפויים.

תכנים

- 6.1 רגולציה בסיסית להפעלת רחפנים בישראל.
- 6.2 אחריות המפעיל לפני, במהלך ולאחר הטיסה.
- 6.3 כללי הפעלה בטוחה:

- שמירת קשר עין.
- שמירת מרחק מאנשים.
- הימנעות מהטסה באזורים אסורים.

6.4 נהלי חירום:

- אובדן קשר.
- אובדן מערכת ניווט לוויינית (כאשר קיימת).
- סוללה חלשה.
- תקלה באחד ממנועי הרחפן.
- נחיתת חירום.

6.5 תיעוד אירועי בטיחות והפקת לקחים.

פרק 7 – ניתוח אירועי בטיחות ויישום עקרונות הטיסה (6 שעות)

יעדים

- יישום הידע התיאורטי שנרכש במהלך המודולה.
- פיתוח יכולת לנתח אירועי טיסה מנקודת מבט הנדסית ובטיחותית.
- פיתוח חשיבה ביקורתית וקבלת החלטות.
- הפקת לקחים ושיפור תהליכי עבודה.

תכנים

- 7.1 ניתוח אירועי בטיחות המבוססים על תרחישים אמיתיים.
- 7.2 זיהוי גורמי הסיכון שהובילו לאירוע.
- 7.3 ניתוח השפעת הכוחות הפועלים על הרחפן במהלך האירוע.
- 7.4 הצעת דרכי פעולה למניעת האירוע.
- 7.5 הפקת לקחים וכתובת סיכום מקצועי.
- 7.6 דיון מסכם והצגת פתרונות.

לימודים התנסותיים (20 שעות)

יעדים

- יישום הידע התיאורטי באמצעות פעילויות מעשיות, סימולציות והדגמות.
- פיתוח מיומנויות של תצפית, ניתוח, פתרון בעיות וקבלת החלטות.
- הקניית הרגלי עבודה בטוחים בהפעלת רחפנים.
- חיזוק הקשר בין עקרונות הפיזיקה, בטיחות והתנהגות הרחפן במצבי טיסה שונים.

תכנים

משימה 1 – זיהוי סוגי רחפנים ותחומי יישום

- 1.1 זיהוי סוגי רחפנים שונים.
- 1.2 השוואת ייעודם ומאפייניהם.
- 1.3 ניתוח יתרונות וחסרונות של כל סוג.

משימה 2 – הכרת מבנה הרחפן ומערכותיו

- 2.1 זיהוי חלקי הרחפן.
- 2.2 התאמת כל רכיב לתפקידו.
- 2.3 זיהוי רכיבים חיוניים להפעלת הרחפן.

משימה 3 – ניתוח הכוחות הפועלים על הרחפן

- 3.1 זיהוי ארבעת הכוחות הפועלים על הרחפן.
- 3.2 ניתוח מצבי ריחוף, עלייה וירידה.
- 3.3 הסקת מסקנות לגבי שינויי הכוחות.

משימה 4 – יציבות ושליטה במרחב

- 4.1 זיהוי מצבי Pitch.
- 4.2 זיהוי מצבי Roll.
- 4.3 זיהוי מצבי Yaw.
- 4.4 ניתוח השפעת שינוי מהירות המדחפים על תנועת הרחפן.

משימה 5 – יישום עקרונות הפיזיקה בטיסת רחפן

- 5.1 זיהוי חוקי ניוטון במהלך הטסת רחפן.
- 5.2 ניתוח מאזן הכוחות.
- 5.3 פתרון תרחישים פשוטים.

משימה 6 – ביצוע בדיקות בטיחות לפני טיסה

- 6.1 ביצוע רשימת בדיקות לפני טיסה.
- 6.2 זיהוי ליקויים.
- 6.3 קבלת החלטה האם ניתן להמריא.

משימה 7 – זיהוי והערכת גורמי סיכון

- 7.1 ניתוח סביבת ההטסה.
- 7.2 זיהוי מכשולים.
- 7.3 הערכת תנאי מזג האוויר.

משימה 8 – ניתוח תקלות אופייניות

- 8.1 ניתוח השפעת רוח.
- 8.2 ניתוח השפעת סוללה חלשה.
- 8.3 ניתוח השפעת מדחף פגום.

משימה 9 – תחקור אירועי בטיחות

- 9.1 צפייה בסרטון אירוע.
- 9.2 זיהוי גורמי הכשל.
- 9.3 הצעת דרכי מניעה.

משימה 10 – ניתוח ותכנון משימת טיסה

- 10.1 ניתוח משימת טיסה מלאה.
- 10.2 הצגת שלבי התכנון.
- 10.3 זיהוי סיכונים אפשריים.
- 10.4 הצגת המלצות לביצוע בטוח של המשימה.

מחונן הערכה – לימודים התנסותיים

הערכת התלמיד תתבסס על ביצוע המשימות ההתנסותיות, הבנת העקרונות שנלמדו, עבודה בטוחה ויכולת ניתוח ותכנון משימת טיסה.

קריטריון	משקל	מצוין	טוב	טעון שיפור
הכרת סוגי הרחפנים, המבנה והמערכות	15%	זיהוי והסבר מלאים ומדויקים	זיהוי נכון ברובו	ידע חלקי ונדרשת הכוונה
הבנת הפיזיקה, הכוחות, היציבות והשליטה	20%	ניתוח נכון והסבר ברור	הבנה טובה עם אי-דיוקים קלים	קושי בניתוח ובהסבר
בטיחות, בדיקות לפני טיסה וזיהוי סיכונים	25%	עבודה עצמאית ובטוחה וזיהוי מלא של סיכונים	עבודה בטוחה ברובה וזיהוי מרבית הסיכונים	נדרשת הכוונה משמעותית
ניתוח תקלות ואירועי בטיחות	15%	זיהוי גורמי הכשל והצעת פתרונות מתאימים	זיהוי רוב הגורמים והצעת פתרון סביר	קושי בזיהוי התקלה ובבחירת פעולה
תכנון משימת טיסה, תיעוד והצגת מסקנות	25%	תכנון מלא, מסודר ובטוח	תכנון טוב עם חסרים קלים	תכנון חלקי או לא מסודר
סה"כ	100%			

ביבליוגרפיה

- [DJI. Safety Guidelines for Drone Operation](#)
- [DJI. User Manuals](#) (לדוגמאות של רחפנים לימודיים).
- [רשות התעופה האזרחית \(רת"א\)](#). הנחיות להפעלת רחפנים בישראל.
- [משרד החינוך – מגמת הנדסה יישומית](#).
- [FAA – Drone Safety Guidelines](#)
- [EASA – Open Category Drone Operations](#)
- [ASTM International](#) - תקנים רלוונטיים למערכות כלי טיס בלתי מאוישים.
- חומר עזר בנושא רחפנים למורים [יסודות רחפנים 1](#), [יסודות רחפנים 2](#), [יסודות רחפנים 3](#)