

# תואר מוסמך במדעים (M.Sc.) בהנדסת חשמל ומחשבים

## תוכנית הלימודים לתואר שני

המחלקה להנדסת חשמל ומחשבים מקיימת לימודים לקראת התואר "מגיסטר בהנדסת חשמל ומחשבים": עם תזה (עבודת גמר) וללא תזה (סמינר מסכם).  
קבלה: התנאים הכרחיים לקבלה לשני המסלולים זהים והם:

1. בוגר תואר ראשון (B.Sc.) בהנדסת חשמל ומחשבים או בוגרי תואר ראשון (B.Sc.) בהנדסות אחרות או במתמטיקה, בפיזיקה, מדעי מחשב.

2. שתי המלצות, אחת מבעל תואר שני (M.Sc.) לפחות ואחת מבעל תואר שלישי (Ph.D.).

תנאי הקבלה עשויים להשתנות על ידי וועדה ההוראה המחלקתית. כמו כן, הוועדה תחליט על תנאי קבלה נוספים עפ"י שיקול דעתה.

השיקולים בתהליך הקבלה כוללים בין השאר: מיקום במדרג וממוצע מצטבר בתואר ראשון, מכתבי המלצה, והישגי המועמד בקורסי הליבה בהנדסת חשמל בתואר הראשון.

במחלקה מתקיימים 3 מסלולי לימוד: מסלול רגיל עם עבודת גמר, מסלול ללא עבודת גמר (סמינר מסכם), ותוכנית מית"ר להנדסה.

## תחומי ההתמחות בתואר השני

לימודי התואר השני במחלקה מתקיימים בשמונה מסלולי התמחות: תקשורת, עיבוד אותות, מערכות בקרה, אלקטרומגנטיות, אלקטרואופטיקה, מחשבים, מערכות הספק ואנרגיה, מיקרואלקטרוניקה, ננואלקטרוניקה ו-vlsi. בנוסף, המחלקה מקיימת לימודי מיקוד לתואר שני במערכות מאובטחות.

**תקשורת:** תחום התקשורת מהווה את הליבה של תעשיית ההיטק בארץ ואחראי בין השאר למהפכת האינטרנט ומהפכת סלולר. הצפי הוא שבעתיד הקרוב (דור 5) כל מכשיר חשמלי המייצר או דורש מידע יהיה מחובר לרשת התקשורת במסגרת ה-Internet of things, ובכלל זה מכשירים ביתיים כגון מקררים, מזגנים, חלונות, ציוד ייצור, מערכות ניטור סביבתיות וכיו"ב. התקשורת חודרת לתחומים נוספים כגון תעשיית הרכב מכונית (connected vehicles) לטובת מימוש החזון של רכבים אוטונומיים, ותחום האנרגיה למימוש הרשת החכמה. הלימודים במסלול תקשורת כוללים לימוד של כל מערכת התקשורת, מהרמה הפיזית של שליחה בין משדר למקלט ועד רמת ניהול הרשת. הלימוד כולל תכנון משדר ומקלט, לימוד תורת המידע שהינו הבסיס המתמטי של דחיסה ושידור בערוץ רועש, שידור בערוצים שונים כגון: שידור אלחוטי, שידור דרך סיבים אופטיים, תכנון שידור לויני ותכנון רשת סלולרית. בגלל הדרישה הגבוהה היום לתקשורת והמגבלות הפיזיות, תכנון וניהול מערכות התקשורת נעשות יותר ויותר חכמות. כמו כן ממוש המחקר בתחום התקצור מעשרות שנים לשנים בודדות. החוקרים במסלול הינם בעלי מוניטין בינלאומיים. נושאי המחקר כוללים: תקשורת אלחוטית – אלגוריתמים וחסמים, תקשורת ב-smart grid, עיבוד אותות לתקשורת (ד"ר רון דבורה), קודים לתיקון שגיאות וסדרות ספרתיות (פרופ' משה שוורץ), תקשורת לוויינים אופטית ותקשורת אופטית אלחוטית (פרופ' שלומי ארנון), תקשורת אופטית בסיבים ורכיבי תקשורת אופטית (פרופ' דן שדות), תורת האינפורמציה במערכות רבות-משתמשים, קידוד מקור וקידוד ערוץ (פרופ' חיים פרמוטר), ישומי סטטיסטיקה, מערכות לומדות ואלגוריתמים מבוזרים (ד"ר קובי כהן), מערכות OFDM ומערכות MIMO (פרופ' דב ווליר).

**מערכות בקרה:** מהנדסי בקרה הוגים, מנתחים, מתכננים ובונים מערכות בקרה אשר מאפשרות למכונות לנהג את עצמן בהצלחה בסביבה לעומתית, זאת ע"י כונון פעולתן בעזרת משוב מבוסס מדידות מצב. אלגוריתמי בקרה מאפשרים למכונות להציג רמות אינטליגנציה ואוטונומיה אשר משפרים את ביצועיהן. בקרת משוב נמצאת בליבן של מערכות כמו מערכות טייס אוטומטי, מנועי כלי רכב, ספינות ומטוסים, רובוטים, חלליות ומערכות יצור תעשיתיות. לאחרונה, נרשמת התענינות גוברת בישום רעיונות ושיטות מתורת המערכות והבקרה גם בתחומים לא הנדסיים כמו רפואה ובנקאות השקעות. בתחומי המחקר של המסלול ניתן למנות יציבות של מערכות לינאריות ולא לינאריות, תאור גיאומטרי של מערכות בקרה (יצחק לבקוביץ), בקרה של מערכות בתנאי אי ודאות, סינון לא לינארי (דוד לבנוני). בנוסף, נחקרים ומפותחים

נושאים וכלים מתימטיים בתחומים קשורים לנ"ל כמו תורת המטריצות (יצחק לבקוביץ) ותורת ההסתברות ותהליכים אקראיים (דוד לבנוני).

**אלקטרומגנטיות:** מסלול קרינה אלקטרומגנטית מציע לסטודנטים לתארים מתקדמים התמחות והבנה מעמיקה בכלים חישוביים תאורטיים ונומריים, לצורך הערכה ותכנון הפרמטרים המרכזיים המאפיינים ערוץ תקשורת אלחוטי הטרונגי המעביר אינפורמציה בתדר גבוה ובקצבים גבוהים. כמו כן הלימודים מקנים לסטודנטים הבנה לגבי האינטרקציה בין גלים א"מ וחומרים טבעיים ומלאכותיים. הלימודים גם חושפים את הסטודנטים לכלי החישוב המודרניים לתכנון רכיבי (RF) radio frequency כגון אנטנות ורכיבים אלקטרוניים בתדר גבוה, אשר מהווים נדבך בסיסי בכל מערכת תקשורת אלחוטית ובמכ"ם. בוגרי המסלול עובדים בתעשיות טכנולוגיה עילית בשוק האזרחי והבטחוני. צוות ההוראה של המסלול מכסה אספקטים שונים של השידור, ההתפשטות והקליטה של קרינה אלקטרומגנטית וכולל חוקרים מנוסים ובכירים בתחום. תכנית הלימודים והמחקר של המסלול כוללת נושאים בטכנולוגיה עילית כגון: תכנון אנטנות ורכיבי RF מכל הסוגים עם דגש על אנטנות מודפסות וכן הערכת אינטרקציה של גלים וחומר (פרופ' ראובן שביט), חקר התפשטות גלים א"מ מגופים בתנועה תחת תורת היחסות הפרטית, חקירת מבנה של גופים מפזרים מתוך מדידת גל נפזר, שיטות אנליטיות בתחום הזמן, שיטות קרניים ואלומות (פרופ' תימור מלמד), שיטות הדמאה מתוך חקירת הפיזור ממבנים, חקירת פרמטרי הקרינה של אנטנות במישור הזמן (ד"ר אמיר שליוינסקי), חקר הפרמטרים החשמליים של חומרים מרוכבים, יישום חומרים מרוכבים להתקני מיקרוגל ואופטיים, חקר מיקרוסקופ מיקרוגלים לאיפיון חומרים ביולוגיים (ד"ר יבגני קמנצקי).

**אלקטרואופטיקה:** מסלול האלקטרואופטיקה מציע לסטודנטים לתארים גבוהים התמחות במגוון רחב של נושאים המצויים בחזית המחקר והטכנולוגיה של זמננו. בוגרי המסלול עובדים בחברות טכנולוגיה עילית המובילות בארץ ומלמדים באוניברסיטאות מובילות בארץ ובעולם. הסטודנטים במסלול לומדים את התאוריה האלקטרואופטית לעומקה, במקביל לניסויים מעבדתיים ומחקר בעל חשיפה בין לאומית. צוות ההוראה של המסלול בא מתחומים שונים של האלקטרואופטיקה, והוא כולל חוקרים מנוסים ובכירים בתחום, לצד מדענים צעירים, מוכשרים ודינאמיים. תכנית הלימודים והמחקר של המסלול כוללת נושאי טכנולוגיה עילית, כגון: תקשורת לוויינים אופטית ותקשורת אופטית אלחוטית (פרופ' שלומי ארנון), טלקומוניקציה אופטית ואופטיקה לא לינארית (דר' סטס דרוויאנקו), לייזרים רבי עוצמה בסיבים אופטיים ורכיבים אופטיים לא לינאריים (פרופ' עמי ישעיה), אופטיקה ביורפואית ומיקרוסקופיה הולוגרפית ממוחשבת (פרופ' יוסי רוזן), רכישת מטרות ועיבוד אותות היפר ספקטראליים (פרופ' ישראל [סטנלי] רוטמן), תקשורת אופטית בסיבים ורכיבי תקשורת אופטית (פרופ' דן שדות).

**מחשבים:** מסלול מחשבים מציע לסטודנטים לתארים מתקדמים התמחות והבנה מעמיקה בתחומים של הנדסת מחשבים ומדעי המחשב ובפרט בנושאים המתמקדים בארכיטקטורת מחשבים, ארכיטקטורה של מעבד אותות DSP, תכנון חומרה ותוכנה, תכנון מערכות מבוססות מיקרו-מחשב, תקשורת מחשבים, מערכות מבוזרות, תכנון מעבדים באספקט של חומרה ותוכנה, עיבוד מקבילי, תכנון והערכת ביצועים של מערכות מחשבים מרובות ליבות, תכן לוגי וסינתזה, פיתוח מאיצי חומרה, אנליזה ושיפור ביצועים ברמת המעבד וברמה מערכתית-SoC, הערכה ושיפור ביצועים במערכות VLSI דלות הספק, פיתוח פלטפורמות היברידיות מתקדמות משולבות CPU ורכיב מתוכנת-FPGA, כמו גם עיבוד תמונה בזמן אמת, ראייה ממושבת, בינת מלאכותית ורובוטיקה אוטונומית. הלימודים במסגרת מסלול מחשבים לתואר השני מאפשרים התמחות בתחום וחושפים את הסטודנט לטכנולוגיות מתקדמות בתחום המחשבים, לארכיטקטורות של מעבדים מתקדמים ומעבדי אותות מרובי ליבות כמו גם לאספקטים של תכנון חומרה ותוכנה במערכות זמן-אמת. הלימודים מקנים לסטודנט את הידע והכלים הנחוצים להשתלב בפיתוח של דור המחשבים הבא ואת היכולת לתכנון מחשבים מהירים, יעילים ומתוחכמים יותר. תכנית הלימודים לתואר שני עונה על הצרכים של תעשיית ההיי-טק המודרנית הדורשת מהנדסים המתמחים בתחום המחשבים. בוגרי המסלול משתלבים בתעשייה עתירת הידע המתקדמת במגוון תפקידי מפתח של מחקר ופיתוח בתחומי החומרה והתוכנה. צוות ההוראה של המסלול כולל חוקרים מנוסים ובכירים בתחום. תוכנית הלימודים והמחקר כוללת נושאים בטכנולוגיה מתקדמת ומפורטת בשנתון.

**מערכות הספק ואנרגיה:** מסלול מערכות הספק ואנרגיה מציע לסטודנטים לתארים מתקדמים להתמחות בכיוונים עיקריים הבאים:

- ייצור, המרה וניהול מערכות אנרגיה מתחדשת ואלטרנטיבית (טורבינות רוח, מערכות סולאריות, תאי דלק וכו');
  - מחקר ופיתוח מארזי אנרגיה מבוססי סוללות וסופרקבלים;
  - בקרה מתקדמת של ממירי אנרגיה אלקטרוניים עם דגש על התממשקות לרשת חשמל;
  - הינע חשמלי מבוקר;
  - יישום אלגוריתמי בקרה בזמן אמת באמצעות מעבדי אותות ספרתיים (DSP);
  - שילוב (היברידיזציה) של מקורות אנרגיה קונבנציונאליים עם מקורות אנרגיה חשמלית.
- האופי היישומי של המסלול מאפשר שיתוף פעולה רחב עם תעשיות שונות תוך ביצוע מגוון פרויקטים מתקדמים.

**מיקרואלקטרוניקה, ננואלקטרוניקה ו- vlsi:** מסלול ננו-מקרוטכנולוגיה, מעגלים ו VLSI מציע לסטודנטים לתארים מתקדמים מגוון רחב של נושאים מהמובילים בתחומי הענין של התעשייה והמחקר האקדמי. בוגרי המסלול עובדים בחברות הנמצאות בחזית הטכנולוגיה הישראלית כמו אינטל VISHAY, TOWER ועוד. כמו כן בוגרים של המסלול הינם חברי סגל באוניברסיטאות מובילות הן בארץ והן בעולם. במסגרת הלימודים נחשפים התלמידים לתחומים הנמצאים היום בחזית הטכנולוגיה כמו ננוטכנולוגיה, התקנים אורגניים ומעגלים חדשניים ברמה הגבוהה ביותר. תחומי הענין המובילים הם: המרכז לאלקטרוניקה הספק ומעגלים מוכללים עוסקת במחקר בתחום האנרגיה ופיתוח טכנולוגיות המחר למזעור אלקטרוני באמצעות מעגלים מוכללים. תחומי הפעילות כוללים: אלקטרוניקה אנאלוגית וספרתית, מעגלי מיקרואלקטרוניקה ו VLSI, בקרה ספרתית ובקרה יישומית, תכנון חיישנים, מערכות קושחה ומכשור, ספקים ממותגים ופלטפורמות כוללות לניהול הספק (ד"ר מור פרץ), ננוטכנולוגיה המבוססת על ננו-חומרים ואפיון התקנים בסקאלה ננומטרית (ד"ר אילן שלישי), התקנים המבוססים על חומרים אורגניים כמו OLED תאי שמש אורגניים, מתגים אופטיים, התקנים פיזואלקטרוניים וגלאים (ד"ר רפי שיקלר), תאוריה של מבנים אופטיים ממוליכים למחצה (פרופ' שלמה הבא).

**מיקוד מערכות מאובטחות (secure systems):** טכנולוגיות מערכות מאובטחות כוללות תחומי תשתית חיוניים, הנמצאים בלבן של מקצוע הנדסת חשמל ומחשבים, כמו: תקשורת מאובטחת ברמת השכבה פיזית, קליטה של אותות בנוכחות הפרעות, הצפנה, זיהוי דובר וזיהוי דיבור, שימוש במערכי מיקרופונים לעבוד מרחבי של אותות שמע, עבוד אותות היפרספקטראלי ושימושו לעבוד תמונות, ועוד. הבנה, פיתוח וניתוח של טכנולוגיות אלו דורשים ידע מעמיק, תאורטי ומעשי, ייחודי ובין-תחומי. הידע הזה נמצא במלואו, ובהיבטים רבים, במחלקה להנדסת חשמל ומחשבים באוניברסיטת בן-גוריון. אנו פותחים לימודי מיקוד במערכות מאובטחות במסגרת תואר שני בהנדסת חשמל ומחשבים, המיועדים להכשרת מומחים בנושא. ההכשרה תכלול מגוון רחב של קורסים בשלוש קבוצות: קורסים מתמטיים, קורסי ליבה וקורסי בחירה מומלצים. מטרת הקורסים המתמטיים היא לתת בסיס את המתמטי הדרוש למגוון הנושאים שתוארו. קורסי הליבה נותנים ידע בסיסי בתחומי מערכות מאובטחות וקורסי הבחירה מתייחסים לנושאים ספציפיים של מערכות אלו. לימודי המגמה מיועדים לבוגרי תואר ראשון בהנדסת חשמל ומחשבים ולבוגרי תואר ראשון של מחלקות רלוונטיות כמו הנדסת מערכות תקשורת, מדעי המחשב והנדסת תוכנה. ניתן ללימוד את מיקוד מערכות מאובטחות בכל שלושת מסלולי הלימוד של התואר השני.