Learning Outcomes
ניסוח תוצאות למידה לקורס אקדמי

תוכן עניינים

תוצאות למידה – מהן?

תוצאות למידה מתארות את התוצאות הלימודיות הצפויות - מה הלומד יוכל לבצע עם השלמת תהליך הלמידה. תוצאות למידה[1] משלבות מיומנויות חשיבה ברמות שונות, הן ניתנות למדידה, והן מתארות למידה משמעותית וחיונית שהלומדים ירכשו, ויוכלו להציג עם סיום הקורס. תוצאות למידה מתמקדות בלומד, והן: תמציתיות, מדידות, מוסכמות, וניתנות להשגה במסגרת הזמן המוקצב לקורס.

תוצאות למידה משמשות כיום אחד הקריטריונים החשובים בתהליך ההכרה במוסדות להשכלה גבוהה. תוצאות למידה של קורס מהוות מרכיב חשוב בסילבוס, והן מעצבות כל היבט והיבט בקורס: תוכן, מבנה כללי, דרכי הערכה, ונהלים לקביעת הציון. דרכי ההוראה ודרכי ההערכה מעוצבים בהלימה ישירה לתוצאות הלמידה.

תוצאות למידה מספקות לסטודנטים מידע ספציפי וברור לגבי הציפיות מהם.

המלצות לתהליך בנייה וניסוח של תוצאות למידה אפקטיביות

המלצות כלליות לביצוע התהליך

- ערכו רשימה של נושאים ומיומנויות שבהם מתמקד הקורס
- בנו את תוצאות הלמידה של הקורס בתהליך חשיבה משותף עם צוות ההוראה שלכם

המלצות לתהליך הבנייה של תוצאות הלמידה

- נסחו תוצאות למידה שתהיינה בהלימה למטרות הקורס ולמטרות תכנית הלימודים. התייחסו לידע ולמיומנויות, בהם יימדדו הסטודנטים עם השלמת הקורס
- נסחו תוצאות שישלבו מיומנויות חשיבה ברמות שונות, לפי הטקסונומיה של בלום לרמות חשיבה (ר' נספח פעלים מצורף)
- וודאו כי תוצאות הלמידה ניתנות למדידה והערכה
- וודאו כי ניתן להשיג את התוצאות במסגרת הזמן והמשאבים הנתונים
- חישבו כיצד תעריכו את התוצאות, ובהתאם וודאו כי הן אינן רחבות מדי או לחלופין, ספציפיות מדי
- היעזרו בדוגמאות לתוצאות למידה, שניתן למצוא בסילבוסים של קורסים באוניברסיטאות בעולם

המלצות ממוקדות לניסוח

- התחילו במשפט: **"עם השלמת הקורס בהצלחה, הסטודנט יהיה מסוגל ל ... "**
- התחילו כל תוצאת למידה עם פועל ביצועי (***להסביר, לנתח, להשוות, לפתור, להעריך, ליצור, לנבא, לתכנן***), הוסיפו אחריו את נושא הפועל, ולאחריו ביטוי, המספק את ההקשר
- הימנעו מפעלים מעורפלים, שאינם ניתנים למדידה, כמו: *להבין, להיות מודע, להיחשף* ...
- נסחו את התוצאות באופן ברור ומדויק, ומנקודת ראותו של הסטודנט

תבנית מומלצת לתוצאות למידה

עם השלמת הקורס בהצלחה, סטודנט יהיה מסוגל ליישם (**פועל ביצועי**) תוכן, עקרונות, טכניקות (**ידע ומיומנויות שרכש בקורס**) כדי להפיק תוצר (פתרונות, מסקנות, תוכניות)

---

[1] מקור המונח תוצאות למידה (Learning Outcomes) באיחוד האירופי, במסגרת תהליך הנקרא "תהליך בולוניה". בשנים האחרונות עוברות מערכות ההשכלה הגבוהה באירופה מהפכה בתחום של שתוף פעולה ומוביליות של חוקרים וסטודנטים, והכרה הדדית בתארים, תכניות לימוד וקורסים. הגדרת תוצאות למידה בכל קורס באוניברסיטאות הוא חלק מקידום ההכרה ההדדית בנקודות זכות אקדמיות בכל האוניברסיטאות באיחוד האירופי, וחשיבותו כחלק מתהליך נרחב זה. הגדרת תוצאות למידה תסייע לניידות סטודנטים וחוקרים מהטכניון אל אוניברסיטאות מובילות ברחבי העולם, ולסטודנטים מאוניברסיטאות אלו לקחת קורסים בטכניון כחלק מלימודיהם

דוגמאות של תוצאות למידה

דוגמאות מתוך קורסים הנלמדים בטכניון

- **אלגברה 1/מ - 104016 – ד"ר עליזה מלק**

נושא % ההוראה בקורס	תת- נושא	תוצאות למידה
העתקות לינאריות ואופרטורים ליניאריים 8% מהקורס	הגדרה ותכונות– העתקות לינאריות גרעין ותמונה העתקה חח"ע ועל משפט הממדים השני ותוצאותיו	בסיום הקורס הסטודנט יהיה מסוגל: **להוכיח** אם העתקות נתונות הן לינאריות או לא. **לחשב** בסיס וממד לגרעין ותמונה של העתקה לינארית נתונה **להסיק** לגבי חח"ע ועל של ההעתקה. **לבנות** העתקות לינאריות המקיימות תנאים נתונים. **להוכיח** טענות הקשורות להעתקות לינאריות תוך שימוש בתיאוריה לרבות במשפט הממדים השני.

- **DESIGN AND ANALYSIS – 054402 Course Objectives - Prof D. Lewin**

This is what each student is expected to be able to after the course:

- **Carry out** a detailed simulation of a chemical process using UNISIM and interpret the results.
- **Synthesize** a train of separation units.
- **Synthesize** of a network of heat exchangers for a chemical process to maximize energy recovery or to minimize the number of exchangers used.
- **Prepare** a Piping and Instrumentation Diagram (P&ID).
- **Design** plant-wide process control configurations.
- **Carry out** a HAZOP and HAZAN on a process P&ID.
- **Carry out** six-sigma analysis on manufacturing processes.
- **Leap** tall buildings in a single bound

דוגמאות מקורסים הנלמדים באוניברסיטאות מובילות בעולם

Mathematics

- Solve systems of linear equations by using Gaussian elimination to reduce the augmented matrix to row echelon form or to reduced row echelon form.
- Compute complex contour integrals in several ways: directly using parameterization, using the Cauchy-Goursat theorem and deformation of contour, using the fundamental theorem for line integrals, and by Cauchy's integral formula and compute Taylor series expansions for analytic functions and determine where the series converges.
- Test the plausibility of a solution to a differential equation (DE) which models a physical situation by using reality-check methods such as physical reasoning, looking at the graph of the solution, testing extreme cases, and checking units.

Physics

- Explain the difference between inelastic, elastic, and super-elastic collisions between two objects in terms of the relative velocity between the objects and will be able to use the conservation of momentum and conservation of energy laws to solve problems involving two objects.
- Independently solve the Schrödinger equation for simple one-dimensional systems -- the ones explicitly taught (e.g. square well, harmonic oscillator, potential barrier), as well as similar, new ones. Use the solution to compute probabilities, expectation values, uncertainties, time evolution. Give concise physical interpretations and discussions of the mathematical solutions.
- Calculate magnetic properties of simple current distributions using Biot-Savart and Ampère's laws.

Chemistry

- Students will be able to propose reasonable mechanisms for chemical reactions based on a fundamental understanding of organic chemistry
- Students will be able to determine the states of an atom from an electronic configuration
- Students will be able to examine and interpret the #H NMR spectrum, the IR spectrum and MS chromatograph of simple compounds

Biology

- Students will be able to provide an account of factors influencing the adaptation and radiation of vertebrate species
- Students will be able to demonstrate knowledge of the major steps and adaptations in the evolution of vertebrates from simple chordates to humans
- Students will be able to calculate the probability that an individual in a pedigree has a particular genotype

Architecture

- Students should be able to produce two- and three-dimensional compositional designs
- Students should be able to communicate design intentions publicly using appropriate presentation techniques and argue rationally regarding the positive and negative qualities of his/her design
- Students should be able to analyze the evolution of architecture with the development of building materials and construction techniques
- Students should be able to design within the context of an existing building, demonstrating a clear architectural intention
- Students should be able to apply conservation philosophy and methodology in design

Engineering

- Students will have the ability to demonstrate general design principles, use fundamental engineering techniques skills and tools for analyzing and interpreting data to produce meaningful conclusions and recommendations.
- Students will have the ability to use the techniques, skills, and modern engineering tools necessary for engineering practice
- Students will have the ability to devise appropriate solution strategies, recognize dead ends (and use an alternate strategy) and find a correct answer to the problem ON their OWN.

Mechanical Engineering

- Students will be able to identify and solve engineering problems related to the transfer of energy in the form of heat
- Students will be able to perform complex analysis and calculations for complex industrial processes
- Students will be able to develop process options that address specified project goals while working within project constraints.

Chemical Engineering

- Use correlations for calculating diffusion coefficients
- Apply energy balances and material balances to separations processes; solve engineering problems involving mass transfer (absorption/stripping in packed columns; membrane separation, separation by adsorption)
- Combine material balances and phase equilibrium thermodynamics for design of unit operations in: absorption, liquid stripping, binary distillation, liquid-liquid extraction
- Calculate design membranes and chromatographic separations by rate based analysis for separations processes

Electrical Engineering

- Implement numerically stable recursion algorithms for evaluating mathematical functions.
- Students will be able to apply analytical methods (i.e. circuit theory) and modeling techniques (i.e. electronic device models) to the identification, classification and description of electronic circuits and their performance in response to a range of externally applied stimuli.

Material Engineering

- Recognize basic MSE nomenclature, basic microstructure, associate terms with the appropriate structure/phenomena, and be able to differentiate between related structures/phenomena.
- Apply the laws of thermodynamics for the construction of single and multicomponent phase diagrams.
- Use knowledge of the crystal structure (BCC, FCC, and HCP) of a metal to make general predictions about the metal's ability to plastically deform
- Show the application of materials microstructure in the design of materials and their processing to obtain required properties

Computers and Programming

- Students will be able to describe program language evolution and classification (From Machine Language to 4th Generation Languages)
- Students will be able to solve basic numerical computation in binary/ other number representation systems
- Students will be able to describe the various classes of operating systems and the correlation to hardware growth. Evolution based classification (Single User, Multitasking, Multiprocessing), Domain-specific classification (Real-Time, Database, etc.)
- Students will be able to design recursive programs and mathematically compute the upperbound on execution time

הדוגמאות מעלה נלקחו מסילבוסים של קורסים מהאוניברסיטאות הבאות:

- UCSAVIS – University of California Davis
- Stanford University
- Massachusetts Institute of Technology: MIT
- Purdue University
- Iowa State University
- University of North Texas
- University of Oslo
- University of Manchester
- Seattle Pacific University
- IET LEARNING OUTCOMES HANDBOO

נספח א' - פעלים ביצועיים לפי רמות חשיבה שונות (הטקסונומיה של בלום[2])

רמות חשיבה		פעלים הממחישים את הביצוע המצופה מהסטודנט לפי רמות חשיבה שונות
בסיסית	ידע	Count, Define, Describe, Draw, Find, Identify, Label, List, Match, Name, Quote, Recall, Recite, Sequence, Tell, Write לארגן, לאסוף, לתאר, לשכפל, למנות, לבדוק, למצוא, לזהות, לתייג, להציג, לאחזר, לרשום, לדווח, לייחס
	הבנה	Conclude, Demonstrate, Discuss, Explain, Generalize, Identify, Illustrate, Interpret, Paraphrase, Predict, Report, Restate, Review, Summarize, Tell לקשר, לשנות , להבהיר, לסווג , לבנות , לבדל , להמיר, לפענח , להבדיל , להבחין, לדון, לייחד, להסביר, לפרש , לנסח בצורה אחרת
בינונית	יישום	Apply, Change, Choose, Compute, Dramatize, Interview, Prepare, Produce, Role-play, Select, Show, Transfer, Use ליישם , להחיל, לחשב , לבחור, להשלים , לפתח , לגלות , לבחון, לנסות , להפעיל , לארגן, לתרגל , לברור, להעביר, להשתמש
חשיבה מסדר גבוהה	אנליזה	Analyze, Characterize, Classify, Compare, Contrast, Debate, Deduce, Diagram, Differentiate, Discriminate, Distinguish, Examine, Outline, Relate, Research, Separate לנתח , לסדר, לפרט , למיין, לסווג , להשוות , לעמת , לבקר, לדון, להסיק , לקבוע , להבדיל , להבחין, לייחד, להקיש , לחקור, להפריד
	סינתזה	Compose, Construct, Create, Design, Develop, Integrate, Invent, Make, Organize, Perform, Plan, Produce, Propose, Rewrite להרכיב , לטעון, לשלב , לחבר, למזג, לנהל , להכין, להציע , לסדר מחדש , לבנות מחדש , לסכם
	הערכה	Appraise, Argue, Assess, Choose, Conclude, Critic, Decide, Evaluate, Judge, Justify, Predict, Prioritize, Prove, Rank, Rate, Select להעריך, להשוות , לעמת , לשכנע , לבקר, להחליט , לשפוט , להצדיק , למדוד, לחזות , לדרג , להמליץ , לייחס , לפתור

[2] בנג'מין בלום (Bloom Benjamin Bloom, 1913-1999) זיהה שלושה תחומי למידה : קוגניטיבי, ריגושי ופסיכומוטורי ובמסגרת כל אחד מתחומים אלו זיהה סדר עולה של מורכבות. בלום הציע שהתחום הקוגניטיבי יחולק לשש רמות של דפוסי מחשבה. הטקסונומיה של בלום היא כלי המשמש להגדרת רמות של מטרות לימודיות וביצועיות, כאשר הידע והביצועים הנמדדים מסווגים לפי רמת המורכבות

נספח ב' - קריטריונים של ABET לניסוח תוצאות למידה לתוכניות אקדמיות במדע יישומי, מחשוב, הנדסה וטכנולוגיה [3]

קריטריונים אלה מהווים בסיס לניסוח תוצאות למידה בקורסים באוניברסיטאות רבות ברחבי ארה"ב. תוכלו להיעזר בהם בכדי לבחון ולהעריך את מידת התרומה של הקורס אותו אתם מלמדים לתכנית הלימוד בפקולטה ולעיצוב דמות הבוגר בפקולטה ובטכניון.

לפי ABET עם השלמת תכנית (הנדסה, מדעים, טכנולוגיה) סטודנט יוכל להציג כי רכש:

1. יכולת ליישם ידע במתמטיקה, מדע והנדסה;
2. יכולת לתכנן ולבצע ניסויים, כמו גם לנתח ולפרש נתונים;
3. יכולת לתכנן מערכת, רכיב או תהליך כדי לענות על צרכים נתונים במסגרת מגבלות ריאליות, כמו: מגבלות כלכליות, סביבתיות, חברתיות, פוליטיות, אתיות, בריאותיות, בטיחותיות, יצרניות, קיימות;
4. יכולת לתפקד בצוותים רב תחומיים;
5. יכולת לזהות, לגבש ולפתור בעיות הנדסיות;
6. יכולת להבין אחריות מקצועית ואתית;
7. יכולת לתקשר ביעילות;
8. השכלה רחבה הכרחית להבנת ההשפעה של פתרונות הנדסיים בהקשר גלובלי, כלכלי, סביבתי וחברתי;
9. הכרה בצורך וביכולת לעסוק בלמידה לאורך החיים;
10. ידע בנושאים עכשוויים;
11. יכולת להשתמש בטכניקות, מיומנויות וכלים הנדסיים מודרניים, הנחוצים לפרקטיקה הנדסית

רשימת מקורות

- Stephen Adam, ***An Introduction to Learning Outcomes***
  http://ccs.dcu.ie/afi/docs/bologna/a_consideration_of_the_nature_function.pdf
- Declan Kennedy, Áine Hyland and Norma Ryan, ***Writing and Using Learning Outcomes: a Practical Guide***
  http://sss.dcu.ie/afi/docs/bologna/writing_and_using_learning_outcomes.pdf
- Bloom, B., Englehart M.D., Furst E.J., David, W.H. (1956); Taxonomy of Educational Objectives Handbook I: The Cognitive Domain. Longmans, New York, NY, USA

[3] The Accrediting Board for Engineering & Technology – ABET, הוא אחד מארגוני האקרדיטציה הגדולים והמוערכים של לימודי הטכנולוגיה וההנדסה בארה"ב, אשר העריך עד היום אלפי תכניות בהנדסה ובטכנולוגיה במאות מוסדות להשכלה גבוהה בארה"ב