

שם ביה"ס:
התיכון הישראלי
למדעים ולאמנויות
יאס"א

ישוב:
ירושלים

תחום הדעת:
מדע חישובי

מס' יחידות לימוד:
5 יחידות לימוד

סמל מוסד:
14497

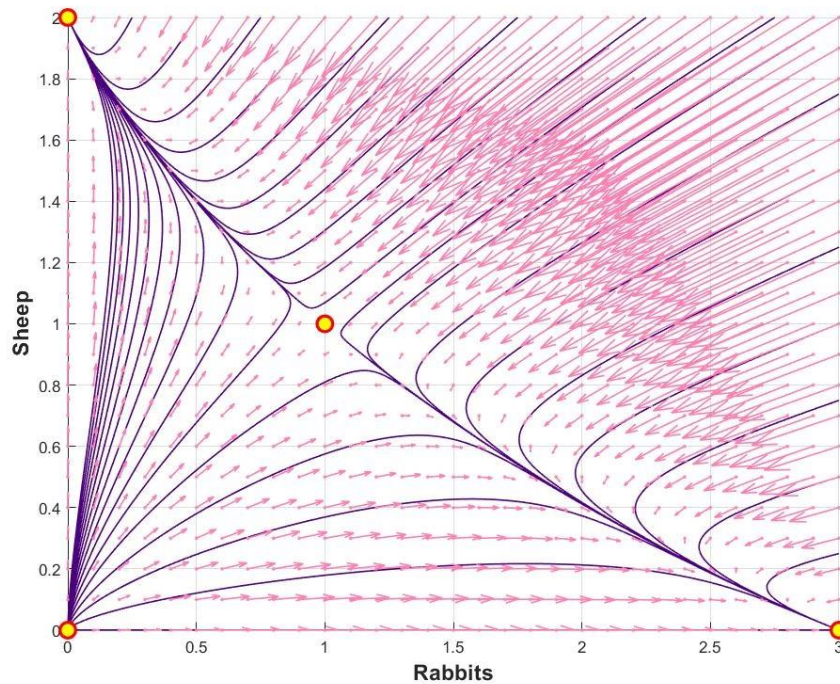
צוות הפיתוח:
יונתן גדעוני
ד"ר דוד גלמן
ד"ר אילת חסון
ברנד סרינג

משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
אגף א' – תחומי בחירה ורב
תחומי

תאריך אישור/עדכון
אוגוסט 2023

מדע חישובי





תכנית לימודים

במדע חישובי

לתלמידות ולתלמידי מגמות המדעים

צוות הפיתוח:

יונתן גדעוני
ד"ר דוד גלמן
ד"ר אילת חסון
ברנד סרינג

עדכון אחרון: יולי 2023

תוכן העניינים

3		מבוא	.1
7		מטרות ומאפייני התכנית	.2
8		קהל היעד והתאמת התכנית אליו	.3
10		סיבות והנמקות לפיתוח תכנית ייחודית	.4
11		דרכי הערכה ומשוב	.5
20		המבנה הכללי של התכנית	.6
21		סילבוס מקוצר	.7
27		סילבוס מפורט	.8
77		מקורות	.9

1. מבוא

התיכון הישראלי למדעים ולאמנויות (יאס"א) בירושלים, הוא תיכון ארצי פנימייתי לנערות ולנערים בעלי מוטיבציה לימודית בולטת ובעלי יכולות קוגניטיביות גבוהות. תוכניות הלימודים במגמות הלימוד השונות מותאמות לאוכלוסיית תלמידים זו. רמת ההוראה במקצועות המדעים מעמיקה יותר בהרבה ממה שנדרש עבור בחינות הבגרות ברמה של 5 יח"ל, הן מבחינת התכנים הנלמדים והן מבחינת הכלים שבהם נעשה שימוש (החל משיטות עבודה במעבדה ועד לכלים מתמטיים).

מעבר להוראה הדיסציפלינארית במקצועות המדעיים, צוות ההוראה במגמת המדעים משקיע מאמצים רבים ביצירת הזדמנויות לשיתוף פעולה בין הדיסציפלינות השונות. מקצוע "מדעי המחשב" נלמד בבית-ספרנו אמנם ברמה גבוהה מאוד, אך הוא מנותק במידה רבה מתחומי המדעים האמפיריים, בשעה שכל התלמידות והתלמידים שלומדים מדעי המחשב לומדים גם מדע אמפירי אחד לפחות בהיקף של 5 יח"ל.

אפשר כמובן לטעון שמדעי המחשב מהווים דיסציפלינה אוטונומית שאינה זקוקה לקשר עם המדעים האמפיריים. מאידך, כפי שצינו קודם, אנו רואים בחשיפת הקשר בין הדיסציפלינות השונות מטרה חשובה של עבודת ההוראה שלנו. לא נעמוד כאן על השאלה, באיזו מידה מדעי המחשב "הטהורים" יוכלו להרוויח מהקשר עם המדעים האמפיריים. עם זאת, ברור מעבר לכל ספק שהצורך ביישום שיטות חישוביות בכל המקצועות המדעיים הולך וגובר, ושמגמה זו רק תימשך ותתגבר בעתיד. בתחום הפדגוגי, אנו מאמצים את טענתה של J. Wing במאמרה שצוטט רבות "Computational Thinking" [8]:

"Computational thinking is a fundamental skill for everyone, not just for computer scientists. To reading, writing, and arithmetic, we should add computational thinking to every child's analytical ability. (...) Computational thinking involves solving problems, designing systems, and understanding human behavior, by drawing on the concepts fundamental to computer science. Computational thinking includes a range of mental tools that reflect the breadth of the field of computer science."

צוות הפיתוח והנהלת התיכון הגיעו למסקנה שיש מקום לבנות ולהפעיל¹ ביאס"א, תחת הכותרת "מדע חישובי", קורס בעל המאפיינים הבאים:

- הקורס יעסוק בפתרונות אלגוריתמיים לבעיות אופייניות שנוצרות במסגרת העיסוק במדעים האמפיריים השונים.
- הקורס יהיה אינטרדיסציפלינרי במהותו וישלב סוגיות מתוך המקצועות השונים במדעי הטבע, ואף מדיסציפלינות אחרות כגון כלכלה וסוציולוגיה.
- התלמידים יכירו במסגרת הקורס מושגי יסוד מרכזיים של מדעי המחשב.
- התלמידים יכירו בצורה מעמיקה מבחר רחב של אלגוריתמים קלאסיים לפתרונות של בעיות, יחד עם שיטות מודרניות מתחום למידת המכונה.
- הקורס יילמד בשפת פייתון הפופולרית.
- הקורס יתקיים בפורמט תלת-שנתי (כיתות י'-י"ב) ויילמד בהיקף של 5-6 שעות שבועיות.
- התכנית מפותחת כתכנית ייחודית המקנה 5 יח"ל לתעודת הבגרות במדע חישובי.

1. מאפייני בית הספר

התיכון הישראלי למדעים ולאומנויות, מיסודו ובעלותו של המרכז הישראלי למצוינות בחינוך, הוקם בירושלים בשנת 1990, במטרה לשמש בית ספר ייחודי לתלמידים מחוננים ומצטיינים מכל רחבי הארץ בכיתות י'-י"ב. התיכון פתוח לתלמידים מכל מגזרי האוכלוסייה הישראלית, חילוניים ודתיים, יהודים, מוסלמים, דרוזים ונוצרים.

החיים בבית הספר מבוססים על התפישה שלפיה התהליך החינוכי חייב לפתח את הכישורים האקדמיים הכלליים של כל תלמיד בצד העצמת הייחודיות שלו, בחירותיו וכישרונותיו. בה בעת הוא מטפח גם את הכישורים החברתיים ואת המודעות לתרומה לקהילה.

במהלך שנות פעילותו ביסס לעצמו התיכון מקום מיוחד בנוף החינוך הישראלי, בזכות חיבור הרמוני בין חיי אקדמיה וקהילה, שהוביל להישגים יוצאי הדופן של תלמידיו ובוגריו. דרך חינוכית זו מהווה, בהתאם לחזון מייסדי בית הספר, מופת ארצי ובינלאומי להוראה פורצת דרך השואפת לגדל את דור המנהיגים הבא.

רוב התלמידים חיים בקמפוס בית הספר במסגרת הפנימייה. בית הספר פתוח גם למספר קטן של תלמידים מאזור ירושלים, שלא בתנאי פנימייה.

השילוב של צוות איכותי ומסור עם תלמידים ברוכי כישרון ופוטנציאל, מאפשר את הקפיצה המשמעותית שהתלמידים חווים בבית הספר, הן האינטלקטואלית והן של ההתפתחות וההתבגרות האישית.

2. סיבות לפיתוח תכנית הלימודים

הצורך בפיתוח התכנית נבע ממספר חוסרים שהיו קיימים בלימודים בתיכון. ראשית, לימודי מדעי המחשב שנעשים גם הם ברמה גבוהה, מנותקים במידה רבה מתחומי המדעים

¹ הקורס התחיל לפעול ביאס"א לראשונה בשנת הלימודים תש"פ/2019-2020 וזכה להתעניינות רבה מצד תלמידיו ותלמידותיו.

האמפיריים. יתר על כן, כלל לא מתייחסים שם לדרכים וגישות לפתרון בעיות, מה שמהווה את מרבית התכלית של השימוש האקדמי והתעשייתי במחשב כיום. בנוסף לפער זה, בין הנלמד ובין מה שנעשה בפועל במקצועות הרלוונטיים, הבגרות במדעי המחשב לא מתייחסת להרבה תחומי דעת ומתודולוגיות נפוצות וחשובות בעולם זה.

בהתאם לכך, התכנית נועדה לגשר על הפערים האלו ולהקנות לתלמידים יכולות שכיום קשה להשיג בלימודים שקיימים במערכת החינוך. בוגרי התכנית יוכלו ליישם את הנלמד בתחומי דעת ובמקצועות נוספים על מנת לפתור בעיות בצורות יעילות וייחודיות בעזרת המחשב.

3. היקף התכנית

הקורס נועד להתקיים בפורמט תלת-שנתי (כיתות י'-י"ב) בהיקף של 5-6 שעות שבועיות. בנוסף לשעות כיתתיות אלו, על התלמידים יהיה להשלים תרגילי בית חישוביים ותכנותיים. כל זאת בהתאם למצופה מתכנית לימודים סטנדרטית בהיקף של 5 יח"ל.

4. מפתחי התכנית

יונתן גדעוני לימד בתיכון בשנים 2019-2022 וכיום מנחה פרויקטים מרחוק. הוא בעל תואר ראשון בפיזיקה עם חטיבה במדעי המחשב מהאוניברסיטה העברית ותואר שני במדעי המחשב מאוניברסיטת קיימברידג'. בעבר לימד והיה עוזר הוראה לכיתת מדע חישובי וכיתת פיזיקה משני. בנוסף לכך, עבד למשך שנתיים וחצי כמפתח אלגוריתמים בחברת "מובילאיי", חברה העוסקת בפיתוח מערכות עזר לנהיגה וברכבים אוטונומיים.

ד"ר דוד גלמן הוא מורה בתיכון משנת 2015. הוא בעל תואר ראשון בפיזיקה ודוקטורט בכימיה תאורטית מהאוניברסיטה העברית בירושלים ועשה בתר-דוקטורט במכללת אלברט-איינשטיין לרפואה בניו-יורק. דוד מלמד פיזיקה מדע ראשי וכיתת מדע חישובי. בעברו היה מרצה מן החוץ בעזריאלי מכללה אקדמית להנדסה ירושלים.

ד"ר אילת חסון מלמדת בתיכון משנת 2022 מלמדת כיתת מדע חישובי. היא בעלת תואר ראשון בביוולוגיה ודוקטורט בביוולוגיה התפתחותית מהאוניברסיטה העברית בירושלים. עשתה בתר-דוקטורט בהוראת המדעים במכון ויצמן למדע. במהלך הבתר-דוקטורט פיתחה תוכנית למידה להוראת מעבדות חקר. בעברה לימדה בתיכון גם ביוולוגיה מדע ראשי.

ברנד סרינג הוא מורה בתיכון מאז היווסדותו ב-1990. ברנד בעל תואר ראשון ושני בפיזיקה מאוניברסיטת לודוויג-מקסימיליאן במינכן. הוא מלמד פיזיקה מדע ראשי, כיתת מדע חישובי, וקורס דו-שנתי באסטרופיזיקה שפיתח. בעברו גם עבד במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן והיה מורה בתיכון הווירטואלי של מט"ח. הוא זכה בפרס המורה המצטיין ע"ש עמוס דה שליט מטעם המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע לשנת 2010.

5. מורי התכנית

ככל מקצוע אחר, על מורה בקורס להיות בעל לא רק ניסיון וידע נרחב בנושאי הלימוד אלא גם ביכולת להעביר אותם היטב ולתמוך בתלמידים באופן אנושי ואישי. בהתאם לכך, הדרישות ממורה לקורס הם:

- על המורה בתכנית להיות בעל רקע מדעי/חישובי מהאקדמיה או מהתעשייה ברמה המאפשרת לו ביעילות להבין וללמוד את הנושאים כך שיוכל להעבירם היטב לתלמידים. בנוסף לכך, רקע זה אמור לאפשר לו להכיר יישומים של הכלים האלו בעולם האמיתי ובהתאם להקנות הבנה עמוקה שלהם.
- מעבר להבנה זו על המורה להיות מסוגל להעביר אל התלמידים את התלהבותו ואת היופי העמוק בנושאים האלו, כך שיוכלו גם לראותו.
- על המורה להיות מסוגל להנחות פרויקטים ובפרט פרויקטים מחקרניים בצורה שמאפשרת לתלמידים לפרוח ולהתלהב בעת ההתמודדות עם בעיה שמעניינת אותם בלי שיגיעו למצבים מתסכלים בצורה לא סבירה. זה כולל הנחיה מתמשכת וייעוץ גם בפן הטכני וגם בפן האדמיניסטרטיבי, הכולל בין היתר עמידה בזמנים ואופן כתיבת עבודה מדעית.
- על המורה להיות מסוגל לעזור ולהיות קשוב לתלמידים בצורה אכפתית ואנושית, כך שהתלמידים יוכלו להפיק את המיטב מעצמם.

2. מטרות ומאפייני התכנית

1. בתחום הידע

- רכישת ידע מעמיק על האלמנטים של שפת פייתון
- רכישת ידע מעמיק על מושגי יסוד במדעי המחשב (מבני נתונים, סיבוכיות, רקורסיה, תכנות מונחה עצמים וכו')
- רכישת ידע מעמיק בתחומי מתמטיקה רלוונטיים (הסתברות, סטטיסטיקה, אלגברה ליניארית, משוואות דיפרנציאליות וכו')
- הכרות עם מאגר רחב של אלגוריתמים קלאסיים ומודרניים (בעיקר מתחום למידת המכונה)

2. בתחום המיומנויות

- פיתוח היכולת לתרגם בעיה מדעית לבעיה אלגוריתמית
- פיתוח היכולת לפרק בעיה אלגוריתמית סבוכה לסדרה של בעיות פשוטות
- פיתוח היכולת לכתוב קוד יעיל, בהיר ומתועד היטב
- פיתוח היכולת לבדוק, במידת האפשר, את הנכונות של קוד
- תרגול בניית הדמיות ממוחשבות של מערכות אמיתיות
- הגדלה ושכלול של ארגז הכלים המתמטיים של התלמיד

3. בתחום ההתפתחות האישית והערכים

- להוביל את התלמידים להכרה בחשיבותן של התמדה ושל עבודה ממושמעת
- לאפשר לתלמידים לחוות הצלחה וכישלון כחוויות בונות
- לשמר ולהעצים סקרנות וחדוות למידה
- לקדם את מעמדם של התלמידים כלומדים וכחוקרים עצמאיים

3. קהל היעד והתאמת התכנית אליו

1. קהל היעד

תכנית הלימודים בקורס "מדע חישובי" מיועדת לתלמידות ולתלמידי מגמת המדעים ביאס"א בשכבות י' – י"ב.

תכנית הלימודים של תלמידי הקורס כוללת את האלמנטים הבאים:

- א. חובה ללמוד מתמטיקה בהיקף של 5 יח"ל.
- ב. חובה ללמוד מדע אמפירי אחד מתוך הקבוצה (ביולוגיה, כימיה, פיזיקה) בהיקף מורחב של 8-10 ש"ש למשך שלוש שנים ("מדע ראשי"). התלמידים ניגשים במדע הראשי לבחינת בגרות ברמה של 5 יח"ל לפחות. תכנית הלימודים במדע הראשי מעמיקה בהרבה ממה שנדרש עבור בחינת הבגרות.
- ג. אפשר ללמוד מדע אמפירי נוסף בהיקף מצומצם של 5 ש"ש במשך שלוש שנים ("מדע שני"). במדע השני ניגשים לבחינת הבגרות ברמה של 5 יח"ל.
- ד. אפשר ללמוד אחד משני המקצועות "הנדסת תכנה" או "מדע חישובי". במקצוע "הנדסת תכנה" ניגשים התלמידים לבחינת בגרות בהיקף של 10 יח"ל. שאיפתנו היא להגיש את תלמידי "מדע חישובי" לבחינת בגרות ייחודית ברמה של 5 יח"ל.
- ה. אפשר לשלב את האפשרויות ג' ו-ד'.

2. מאפייני קהל היעד

במגמת המדעים של יאס"א לומדות ולומדים תלמידות ותלמידים בעלי מוטיבציה מובהקת להצטיין בתחום המדעים. בבחירת הכלים הדידקטיים המתאימים לאוכלוסייה זו כדאי להביא בחשבון שקבוצות של תלמידים מצטיינים תהיינה תמיד, ללא תלות בתהליך המיון, הטרוגניות מבחינות רבות – מהירות תפיסה, יכולת היישום של ידע, ראייה קדימה ויצירתיות, סגנונות למידה, רמת הכישורים הבין-אישיים, מיומנויות תקשורתיות ועוד.

3. כלים דידיקטיים

ההוראה בכיתה מסוג זה תהיה תמיד הוראה דיפרנציאלית. עם זאת, רמת ההוראה הממוצעת תהיה מלכתחילה גבוהה יותר מהמקובל בבי"ס תיכון "רגיל". השיעור בכיתה אינו אלא נקודת מוצא לעבודה אישית עם תלמידים, ולכן תכלול תכנית הלימודים למידה בכיתה ליד עבודה עצמית, עבודה בקבוצות וביצוע פרויקט אישי.

בעבודת ההוראה שלנו נעשה שימוש בכלים הבאים:

א. העמקה

ההוראה בקורס מאופיינת ע"י עלייה לרמה גבוהה של הפשטה ומורכבות. אחד המאפיינים הבולטים של תלמידים בעלי יכולת גבוהה במדעים היא ההנאה המיוחדת, שהם מפיקים מחשיבה פורמלית ומהתמודדות עם בעיות מורכבות. תהליך ההעמקה כרוך ברכישת כלים מתמטיים וחשוביים מתקדמים ובכניסה לתחומים בלתי-מוכרים במדעים. לימודי ההעמקה מאפשרים את העלייה על הגשר, שיעביר את התלמידים מבית-הספר התיכון לעולם המקצועי.

ב. הפשטה ופרקטיקה

במהלך הקורס נעלה לרמת הפשטה גבוהה ונכיר לתלמידים עקרונות כלליים ורעיונות בסיסיים במתמטיקה, במדעי המחשב, ובמדע בכלל. תוצאת לוואי של רמת הפשטה גבוהה היא היכולת ליישם את השיטות שנלמדו למגוון רחב של בעיות בדיסציפלינות שונות. נרבה לעמת את התלמידים עם בעיות מעשיות מגוונות מתחומי המתמטיקה, הפיזיקה, הביולוגיה, הכימיה, הכלכלה, הסוציולוגיה ומתחומים נוספים, כדי שימצאו להן פתרונות אלגוריתמיים.

ג. עבודה ולמידה עצמית

אחת המתנות החשובות ביותר שמסגרת לימודית יכולה להעניק לתלמידה, היא מתנת העצמאות. במסגרת התכנית יעסקו התלמידים בפתרון בעיות מורכבות בהנחה מינימלית. הם ילמדו לעבוד בצורה יעילה ולעשות שימוש מיטבי במשאבים שעומדים לרשותם. הם יחוו כישלונות והצלחות, וילמדו את הלקחים המתחייבים.

ד. למידה בקבוצה

לכל תלמיד ותלמידה סגנון למידה משלהם. יש כאלה שעובדים טוב יותר ביחידות, ואחרים זקוקים לאינטראקציה עם עמיתיהם על מנת להפיק מעצמם את המיטב. בקרב תלמידים מצטיינים קיימת לעתים קרובות (ואם רק מתוך הרגל) נטייה לעבודה ביחידות. עם זאת, מחקר מדעי הנו ביסודו פעילות קבוצתית, ועל התלמידים לרכוש מספר מיומנויות בתחום זה: (1) לדעת להיעזר בידע וביכולת הניתוח של אנשים אחרים; (2) לדעת לחלק משימה בצורה יעילה בין חברי קבוצה; (3) לדעת להציג נושא לפני קהל; (4) לדעת לתת ולקבל ביקורת פומבית בצורה נאותה.

4. סיבות והנמקות לפיתוח תכנית ייחודית

פירטנו את הסיבות הכלליות לפיתוח תכנית הלימודים בפרק 1.2. נעמוד כאן על מאפייניה הייחודיים.

קהל היעד של הקורס "מדע חישובי" ביאס"א הוא קהל בעל **צרכים מיוחדים** במובנים הבאים:

א. תלמידות ותלמידי מגמת המדעים ביאס"א שלומדים מדע חישובי מסוגלים בדרך כלל להבין נושאי לימוד מורכבים במהירות ובקלות. בפרט, הם בעלי יכולות גבוהות בחשיבה לוגית ומתמטית. תלמידים אלה לא יסתפקו בשיעור שיאמן אותם להשתמש באלגוריתמים מוכנים מראש, אלא יצפו להסברים מפורטים לגבי מבנה האלגוריתמים ולגבי הרציונל המתמטילוגי שעומד מאחוריהם. מכאן נבע הצורך לבנות **תכנית לימודים שתעמיק במיוחד מבחינת רמת הטיפול המתמטילוגי שניתן לנושאי הלימודי השונים**.

ב. אצל אותם התלמידות ותלמידים, התהליך הנדרש של מתן פיגומים (scaffolding) וסיוע בתהליך הלמידה, עד להשגת שליטה בנושא לימוד או במיומנות, בדרך כלל קצר מאוד. הטרינספר משפה לסביבה אחת לשפה לסביבה אחרת בקושי מהווה מכשול עבורם. לכן, **תכנית לימודים זו אינה אקלקטית (אינה מלמדת מספר רב של שפות לסביבות תכנות ברמת העמקה נמוכה), אלא היא מעמיקה בחקירת המבנה של שפת תכנות אחת (פייתון). מאותה הסיבה ובנוסף לכך, התכנית שמה דגש על עבודה עצמית של התלמידים (ממיני-פרויקטים ועד לפרויקט שנתי) ומנסה לצמצם את מספר אירועי ההוראה הפרונטליים**.

ג. קיימת תלות הדדית ברורה בין עבודת המחקר של תלמידינו במקצועות המדעיים לבין נושאי הלימוד בקורס "מדע חישובי":

- יותר ויותר מכשירי מדידה דורשים כתיבה של סקריפט להפעלתם (כמו למשל מיקרו-מעבדים מסוג ארדואינו או ראספברי פאי).

- חקירתן של מערכות מורכבות דורשות מידול מתמטי והפקת סימולציה ממוחשבת.
- בתחום הביולוגיה מתגבר הצורך להפיק מידע משמעותי ממסדי נתונים גדולים מאוד.
- בניסוח המסקנות של מחקר נדרש ידע לא מבוטל בבדיקת השערות סטטיסטית.

כל אלה מחייבים הכרות עם עקרונות וטכניקות של מידול ושל סימולציה, של בדיקת השערות ממוחשבת ושל למידת מכונה. מצד שני, ההכרות עם כלים חישוביים חדשים מאפשרת להם לבצע מחקר חדשני עדכני ורלוונטי על סמך נתונים קיימים, וגם מרחיבה את האפשרויות שלהם לבצע ניסויים משמעותיים מסוג חדש.

לכן, **תכנית לימודים זו מדגישה במיוחד את הקשר בין חישוביות לבין סיטואציות שנוצרות במחקר במדעים האמפיריים.**

ד. לאור השינויים הדרמטיים שצפויים בכל תחומי החיים בעקבות התקדמותו המהירה של המחקר בתחום הבינה המלאכותית, **תכנית לימודים זו שמה לעצמה כמטרה לספק לתלמידינו ולתלמידותינו את הידע הדרוש על מנת שיוכלו להיות שחקנים פעילים בפיתוח תחום הבינה המלאכותית.**

5. דרכי הערכה ומשוב

5.1. פירוט היחידות

מספר יחידות	פירוט	כותרת יחידה
1.5	תיק עבודות המכיל את הבעיות השונות והפתרונות אליהן שהתלמידים הפיקו במהלך התכנית	תיק עבודות
1	הדגמת שליטה בחומר העיוני שנלמד לאורך התכנית	שליטה עיונית
1	הדגמת שליטה ביישום הרעיונות והמושגים שנלמדו לאורך התכנית	שליטה יישומית
1.5	פרויקט מחקר שהתלמידים מבצעים במהלך י"ב בנושא לבחירתם במדע חישובי	פרויקט מחקר

5.2. אופן הערכה ליחידות השונות

5.2.1. תיק עבודות

במהלך הקורס על התלמידים לבצע לפחות ארבעה מתוך העבודות הנתונות.

מרכיבים	פירוט ואופן הערכה	משקל
---------	-------------------	------

25%	פיתוח מודל דינמי לתופעת טבע	
15%	ניסוח הבעיה	התלמיד הפגין שהוא הבין את הבעיה ואת רכיביה בצורה מלאה. זה ייבדק בעזרת הסבר ופירוט שיצרף כחלק מהגשת העבודה.
35%	הנחות המודל והתגלמותן במודל עצמו	התלמיד מסביר היטב את ההנחות השונות של המודל, מדוע הן הגיוניות, וכיצד הן משפיעות בהתאם על המודל הסופי. המודל אינו מורכב ללא צורך. זה ייבדק בעזרת הסבר ופירוט שיצרף כחלק מהגשת העבודה.
25%	יעילות ותקינות הפתרון	הפתרון מהווה יישום תקין ויעיל של המודל. זה ייבדק בעזרת הסבר ופירוט שיצרף כחלק מהגשת העבודה.
25%	חקר הבעיה בעזרת המודל	התלמיד הצליח להסיק תובנות על תכונות המודל או מאפייני התופעה שנחקרה בעזרת המודל שפותח. זה ייבדק בעזרת הסבר ופירוט שיצרף כחלק מהגשת העבודה.
25%	ניתוח נתונים	
20%	שאלת המחקר	התלמיד שאל שאלת מחקר שניתן לענות עליה בעזרת הנתונים הקיימים והוא יודע להצדיק אותה.
15%	בחירת הנתונים	התלמיד בחר את הנתונים באופן מיטבי לשם פתרון הבעיה, טיפל נכון בממד הזמן ובחר נתונים ברי השוואה תוך שימת לב לבידוד משתנים ככל האפשר.
35%	ניתוח הנתונים	ניתוח הנתונים תקין (אופן קיבוץ וסינון הנתונים, השוואות וכדומה). המדדים הסטטיסטיים שנבחרו מתאימים ומחושבים נכון. הנתונים ותוצאות הניתוח מוצגים באופן הולם (גרפים, מסוגים שונים, טבלאות וכו').
20%	דיון	התלמיד הסיק מהנתונים מסקנות תקפות. הוא מעגן את מסקנותיו במנגנונים מדעיים מקובלים. הוא יודע להסביר את מגבלות המחקר ולהציע שאלות למחקר עתידי.
10%	הצגת המחקר	התלמיד הציג את הרקע המדעי הדרוש להבנת שאלת המחקר. הוא תאר בבהירות את דרך ואת תוצאות ניתוח הנתונים ואת המסקנות העולות מהם.

פתרון בעיה בעזרת תורת הגרפים			25%
הבנת הבעיה	התלמיד הפגין שהוא הבין את הבעיה ואת רכיביה בצורה מלאה. זה ייבדק בעזרת הסבר מקדים על הבעיה שהתלמיד הגיש והפרזנטציה הסופית.	20%	
שימוש יעיל והולם בגרפים להתמודדות עם הבעיה	התלמיד השתמש בגרפים ובאלגוריתמים על גרפים שנלמדו בצורה הולמת שמשרתת את פתרון הבעיה. זה ייבדק בעזרת הפרזנטציה הסופית.	20%	
איכות ותקינות הפתרון	הפתרון מצליח לפתור את הבעיה באופן מלא או במקרה של בעיה קשה במיוחד הוא מצליח להתמודד איתה היטב. זה ייבדק בעזרת הפתרון המוגש והפרזנטציה הסופית.	35%	
הצגת הבעיה והפתרון	התלמיד הצליח להציג היטב את הבעיה, המהלך הלוגי שהביא אותו לפתרון, את הפתרון, ואת התוצאות.	25%	
תכנות אוטומט תאי אוניברסלי			25%
תכנון API מפורט ומודולרי	התלמיד תכנן API מפורט ומודולרי לאוטומט תאי אוניברסלי, המשתמש בצורה מלאה והולמת במושגי OOP. זה ייבדק בעזרת תכנית עבודה שהתלמיד יגיש טרם כתיבת התכנה.	25%	
יישום גנרי ותקין	התלמיד יישם את ה-API שתכנן בצורה תקינה ושגנרית, כך שהיא תהיה קלה לשימוש ורלוונטית לסוגי אוטומטים רבים. זה ייבדק על ידי מעבר על התכנה שהתלמיד הגיש.	25%	
הבנת אוטומט תאי מסוים לחקר תופעה	התלמיד הבין באופן מלא אוטומט תאי קיים ושהיה צריך לקרוא עליו דרך מאמר אקדמי. זה ייבדק דרך בדיקת תקינות הפעולה של האוטומט שהתלמיד מגיש.	20%	
יישום גנרי ותקין של האוטומט הספציפי בעזרת ה-API	התלמיד השתמש ב-API שלו עם כמות מינימלית של שינויים על מנת ליישם את האוטומט הנתון בצורה תקינה. זה ייבדק על ידי מעבר על התכנה שהתלמיד הגיש.	30%	
סימולציית מונטה קרלו לפתרון בעיה הסתברותית			25%

5%	התלמיד הבין בצורה מלאה את הבעיה ואיך ניתן לנסחה כבעיה של דגימה מקרית. זה ייבדק דרך דו"ח שהתלמיד הגיש.	הבנת הבעיה
20%	התלמיד ניסח מודל פשטני שמסוגל לתת ניבויים אנליטיים לבעיה והשווה את תוצאותיו אל הניבויים. זה ייבדק דרך דו"ח שהתלמיד הגיש.	ניבוי והשוואה למודל פשטני
35%	התלמיד יישם בצורה יעילה ונכונה את הסימולציה שלו. זה ייבדק דרך מעבר על התכנה שהתלמיד הגיש.	יישום ונכונות הסימולציה
15%	התלמיד הציע הרחבה למודל, כגון התחשבות בתופעה נוספת, ויישם אותה בסימולציה שלו. זה ייבדק דרך דו"ח שהתלמיד הגיש.	הרחבת הניתוח
25%	התלמיד ניתח תכונות שונות של המודל וסימולציה, כגון קצב התכנסות וההשפעה של פרמטרים שונים. זה ייבדק דרך דו"ח שהתלמיד הגיש.	ניתוח תכונות המודל וסימולציה
25%	פתרון בעיה מציאותית בלמידת מכונה	
כל המאפיינים של עבודה זו ייבדקו דרך סיכום דמוי-מאמר שהתלמיד יגיש.		
10%	התלמיד הבין היטב את האלגברה הלינארית הנדרשת לשימוש בשיטות.	אלגברה לינארית
20%	התלמיד הבין היטב את הבעיה וכיצד לנסח אותה בשפה מתמטית שתורמת להתמודדות חישובית עמה.	ניסוח הבעיה
10%	התלמיד הצליח להבין ולהתמודד עם בעיות בנתונים, כגון חוסרים ואי-דיוקים.	ניקוי וניתוח נתונים
15%	התלמיד הצליח ליצור מאפיינים חדשים מהאלו שקיימים ובחן באופן כמותי את מידת הרלוונטיות שלהם.	הנדסת ובחירת מאפיינים
25%	התלמיד ניסה מספר מודלים ובחר באחת מן הדרכים המקובלות בלמידת מכונה את האחד שהכי מתאים לבעיה.	בחירה שקולה של מודלים
20%	התלמיד ניתח את תוצאות המודל שלו בצורה שאפשרה לו להבין מה מגבלותיו ורמת אמינותו.	ניתוח תוצאות

5.2.2. שליטה עיונית

מרכיבים	פירוט ואופן הערכה	משקל
סיבוכיות		
הבנת מושגים וניתוח בעיות פשוטות	התלמיד מבין את מושגי ה- O -גדול, Ω , ו- Θ ומסוגל להשתמש בהם באופן חופשי על מנת לתאר ולנתח את הסיבוכיות של אלגוריתמים פשוטים. זה ייבדק בעזרת בוחן בקיאות שינתן במהלך כיתה י' ובאופן רציף כחלק מהלימודים.	20%
	התלמיד מסוגל לנתח את סיבוכיות זמן הריצה והמקום של קטעי קוד קיימים, תוך הבנת הסיבוכיות של מבני נתונים פשוטים. זה ייבדק בעזרת בוחן בקיאות שינתן במהלך כיתה י' ובאופן רציף כחלק מהלימודים.	30%
	התלמיד מסוגל להפגין הבנה עמוקה בנושאים שונים בסיבוכיות ובניתוח מקרי קצה של אלגוריתמים שונים. זאת תוך הקפדה על ההבנה של ההנחות השונות שיש בעת היישום של אלגוריתם. זה ייבדק בעזרת ראיון בעל-פה שהתלמיד ינהל עם המורה, שבמהלכו יהיה עליו לנתח בעיות שונות ולהפגין הבנה עמוקה במושגים השונים שנלמדו.	50%
ניסוח וניתוח עיוני של בעיות		
יכולת הבנת בעיה קיימת	בהינתן בעיה מדעית התלמיד מצליח להבין או להתמודד עם הבנת מרכיביה השונים, עם הקשיים שבה, ועם ניסוחה המדעית בהתאם לתחומה. הוא מזהה את ההנחות שנעשו בעת ניסוחה בצורה זו. יכולת זו תיבדק באופן רציף בכיתה ודרך מטלות שהתלמיד מגיש.	15%
	בהינתן בעיה קיימת התלמיד מצליח להבין מה מרכיביה השונים, כיצד לנסח בצורה המקלה על הניתוח העיוני וחשובי, ומה המורכבויות שבה. זה ייבדק באופן רציף בכיתה ודרך מטלות שהתלמיד יגיש.	15%
	התלמיד מצליח להפריד בין עיקר ותפל בעת הנחת הנחות למטרת התמודדות עם בעיה בצורה שגורמת לבעיה להיות קלה יותר אך	15%

	עדיין לכלול את מרכיביה המעניינים. זה ייבדק באופן רציף בכיתה ודרך מטלות שהתלמיד יגיש.	
25%	התלמיד מצליח לנתח בעיה באופן עיוני על מנת להגיע לתובנות לגביה שלא ברורות מהניסוח שלה, כאשר תובנות אלו יכולות להיות במקרי קצה רלוונטיים או בנוגע לתכונות מסוימות שלה. הניתוח יעשה בעזרת כלים מתמטיים וחשובים שנלמדו במהלך הקורס. זה ייבדק באופן רציף בכיתה ודרך מטלות שהתלמיד יגיש.	ניתוח עיוני
30%	התלמיד מצליח להיעזר בתוצאות של חישובים ובתרשימים שהפיק על מנת להסיק מסקנות בנוגע לבעיה ולאופייה. זה ייבדק באופן רציף בכיתה ודרך מטלות שהתלמיד יגיש.	הסקה מתוצאות חישוביות
40%	יכולת שימוש בכלים מתמטיים שנלמדו	
30%	התלמיד מבין את מושגי היסוד ואת המשפטים הבסיסיים בהסתברות (משתנה מקרי, מרחב הסתברות, הסתברות מותנית, תוחלת, וכך הלאה) וידע ליישם אותם בבעיות חישוביות שונות באופן אנליטי ונומרי. זה ייבדק בעזרת סדרת תרגילים שינתנו, כאשר עיקרם עיוניים אך חלקם תכנותיים.	הסתברות
30%	התלמיד מבין מושגים שונים בסטטיסטיקה, כך שיוכל להשתמש בהם כדי להגיע אל מסקנות ריגורוזיות ומספריות. זה ייבדק בעזרת מבחן בנושא.	סטטיסטיקה
40%	התלמיד מבין את המושגים השונים באלגברה לינארית שנדרשים ללמידת מכונה בסיסית ומסוגל להשתמש בהם כדי לפתור בעיות מספריות. זה ייבדק בעזרת עבודה ומבחן בנושא.	אלגברה לינארית

5.2.3. שליטה יישומית

במקרה בו אופן הבדיקה לא מפורט, הנושא נבדק באופן רציף כחלק מהרגלי העבודה וההגשה של התלמידים.

מרכיבים	פירוט ואופן הערכה	משקל
---------	-------------------	------

20%	שימוש בכלי הנדסת תכנה	
50%	התלמיד יודע היטב איך להשתמש בלפחות שתי סביבות פיתוח שונות מהותית, כגון Jupyter Notebook ו-Pycharm. התלמיד מבין מתי עדיף להשתמש בכל אחת ופועל בהתאם.	שימוש בסביבות פיתוח שונות
50%	התלמיד יודע איך להשתמש ב-Git על מנת לנהל גרסאות תכנה בצורה הולמת לפרויקטים קטנים.	שימוש ב-Git למען ניהול גרסאות
45%	יעילות וקריאות קוד	
10%	התלמיד נותן שמות מובנים ופשוטים למשתנים ופונקציות בתכנה שלו, מה שמסייע להבנתה.	נתינת שמות הולמים למשתנים ופונקציות
30%	התלמיד יודע להשתמש במבני נתונים שהולמים את הבעיה שהוא פותר, בהתאם לאילוצים השונים כגון זיכרון וזמן ריצה.	שימוש במבני נתונים הולמים
25%	התלמיד יודע להשתמש באלגוריתמים מתאימים לבעיה שהוא פותר, בהתאם לסוג הבעיה שהוא פותר ולאילוציה השונים.	שימוש באלגוריתמים הולמים
20%	התלמיד מקפיד להשתמש בקונבנציות של שפת התכנות Python בתכנה שלו בצורה שמשרתת את קריאותה ויעילותה.	שימוש בקונבנציות
15%	התלמיד מצליח לכתוב תכנה מסודרת ומתועדת היטב.	יכולת כתיבת תכנה נקייה ומתועדת היטב
35%	שליטה תכנותית	
20%	התלמיד מפגין יכולת הבנה ונוחות עם כתיבת קוד בסיסי ב-Python. זה כולל שימוש בתחביר ובמבני הנתונים הבסיסיים של השפה.	שליטה ביסודות התכנות ב-Python
15%	התלמיד עושה שימוש נרחב והולם בפונקציות, מה שמשפר את יעילות, קריאות, ומודולריות התכנה שלו.	שימוש בפונקציות
30%	התלמיד עושה שימוש הולם בספריות על מנת להקל על עבודתו ולנתח בעיות שונות בצורה מעמיקה ויעילה.	שימוש בספריות
10%	התלמיד מבין כיצד להשתמש ברקורסיה ומסוגל להשתמש בשיטה באופן יישומי.	רקורסיה

תכנות מונחה עצמים	התלמיד מבין את העקרונות של תכנות מונחה עצמים ומסוגל ליישם בצורה מלאה על מנת ליצור תכנה מודולרית.	25%
-------------------	--	-----

5.2.4. פרויקט מחקר

מרכיבים	פירוט ואופן הערכה	משקל
מפגשי נקודות ציון		
התקדמות ראוייה ושליטה בחומר	התלמיד הציג שהוא מתקדם כנדרש בפרויקט ושולט בחומר שהוא עוסק בו.	50%
בדיקות מעבר	התלמיד עבר כנדרש את בדיקות המעבר.	50%
העבודה הכתובה		
מבוא מדעי וחישובי	התלמיד הציג היטב את הבעיה המדעית ואת הרקע המדעי וחישובי הנדרש כדי להבין אותה.	30%
אופן הפתרון ושימוש בשיטה המדעית	התלמיד נימק היטב מדוע הוא משתמש בפתרון בו השתמש, מדוע הוא מתאים לבעיה הנתונה, ואת התהליך המדעי שעבר במהלך המחקר.	25%
הצגת וניתוח התוצאות	התלמיד הציג בצורה ברורה את התוצאות שקיבל והסביר כיצד קיבל אותן. המסקנות והתובנות שנובעות מהתוצאות מוצגות בבהירות וברור מדוע הן נובעות מהתוצאות.	25%
הסבר על מבנה ועקרונות התכנה	התלמיד מסביר היטב מה מבנה התכנה, מה המתודולוגיה/עקרונות שהשתמש בעת כתיבתה, ומדוע הוא כתב אותה דווקא בצורה הזו ולא אחרת.	10%
יצירתיות	התלמיד הציג רכיב יצירתי כלשהו בעבודתו – כגון ביישום לא רגיל של אלגוריתם מסוים, בניית/מהלך לוגי מעניין, ועוד.	10%
התכנה ותייעוד תהליך העבודה		
		20%

תיעוד	התכנה ותהליך העבודה מתועדים היטב, כך שגם מדען שלא היה מעורב בהם מסוגל להבינם בקלות.	30%
ניהול גרסאות	נעשה שימוש עקבי ב-Git ובעת הצורך בענפים שונים למען ניהול גרסאות התכנה.	25%
איכות התכנה	התכנה כתובה באופן מסודר וברור. אין חזרתיות בקוד והיא יעילה באופן סביר. יש שימוש הולם בפונקציות ובאובייקטים היכן שצריך.	35%
ספריות	נעשה שימוש יעיל בספריות היכן שנדרש וכשזה מקל משמעותית על תהליך העבודה.	10%
הצגת המחקר בכנס מדע חישובי		10%
מצגת	התלמיד הכין מצגת אסתטית ומסודרת, המציגה כראוי את הרקע הנדרש ואת מחקרו.	50%
הצגה	התלמיד הציג היטב ובאופן ברור את מחקרו, כולל מבוא לבעיה, אופן ההתמודדות איתה, תוצאות ומסקנות.	50%
מפגש מסכם		15%
הצגת הרקע העיוני	התלמיד מסוגל להסביר היטב את הרקע המדעי והחישובי לפרויקט שלו.	20%
הצגת אופן הפתרון	התלמיד מסוגל להסביר כיצד החליט להתמודד עם הבעיה, מדוע בחר דווקא בשיטה הזו, מה היתרונות והחסרונות שלה, וכיצד בבעיה הספציפית איתה התמודד יישם את שיטת הפתרון.	30%
הצגת קשיים ואופן ההתמודדות איתם	התלמיד מסוגל להסביר מה היו הקשיים שנתקל בהם במהלך המחקר וכיצד התגבר עליהם.	20%
תוצאות סופיות והסקת מסקנות	התלמיד מסוגל להסביר כיצד הגיע אל תוצאותיו הסופיות, מה הן, ומה משמעותן. התהליך הלוגי ברור ויש שימוש בכלים הגיוניים.	10%
מענה על שאלות	התלמיד מסוגל באופן מלא לענות על שאלות בסיסיות ומעמיקות על מחקרו.	20%

6. המבנה הכללי של התכנית

אנו יוצאים מההנחה שבשנת לימודים 30 שבועות הוראה.² הנושאים שיילמדו בזמן הזה מופיעים בסילבוס המפורט במשבצות לבנות. נושאי הרחבה, שאותם נלמד במידת האפשר, מופיעים במשבצות **צהובות**. יישומים בביולוגיה מסומנים **בירוק**.

■ כיתה י'

שיעורים עיוניים	5 שעות $\times$ 30 שבועות = 150 שעות הוראה עיוניות
מטלות בית	מטלת בית להגשה אחת לשבועיים
מבחנים	מבחן אחד בכל מחצית

■ כיתה י"א

שיעורים עיוניים	5 שעות $\times$ 30 שבועות = 150 שעות הוראה עיוניות
סיור לימודי	סיור אחד במהלך השנה
מטלות בית	מטלת בית להגשה אחת לשבועיים
מבחנים	שני מבחנים בכל מחצית

■ כיתה י"ב

שיעורים עיוניים	6 שעות $\times$ 30 שבועות = 180 שעות הוראה עיוניות
סיור לימודי	סיור אחד במהלך השנה
מטלות בית	ע"פ שיקול המורה - מטלות בית להגשה (בנוסף לפרויקט האישי)
מבחנים	מבחן אחד בכל מחצית + בחינות מתכונת
פרויקט אישי	מפגשי מעקב ודיווח פעם בחודש, בנוסף לכך מפגשי תלמיד-מנחה בזמן הפנוי של התלמיד
כנס	כנס מדע חישובי ארצי בו התלמידים יציגו את מחקרם בפני תלמידים ומורים מתכניות דומות במוסדות אחרים.

² אנו מודעים לכך שזו הערכה אופטימית.

7. סילבוס מקוצר

[סילבוס מפורט](#)

כיתה י'

אלמנטים של שפת פייתון	1
שפות תכנות	1.1
ייצוגים של מספרים	1.2
העבודה בסביבת Jupyter notebooks	1.3
המבנה הכללי של נוטבוק	1.3.1
פקודות עריכה מתקדמות	1.3.2
משתנים ופעולות אריתמטיות בסיסיות	1.4
סוגי משתנים בסיסיים בפייתון	1.4.1
פונקציות להמרת <i>integer</i> ל- <i>floating point number</i>	1.4.2
אופרטורים אריתמטיים	1.4.3
מחרוזות	1.5
יצירת מחרוזות ; מאפיינים כלליים	1.5.1
שיטות לעבודה עם מחרוזות	1.5.2
הדפסה מפורמטת	1.6
משתנים בוליאניים ומשפטי תנאי	1.7
מבוא ; אופרטורי השוואה ; אופרטורים לוגיים	1.7.1
משפטי תנאי	1.7.2
לולאות	1.8
לולאות <i>while</i>	1.8.1
לולאות <i>for</i>	1.8.2
פונקציות אנונימיות (פונקציות λ)	1.9
רשימות (lists)	1.10
יצירת רשימות ; מאפיינים כלליים	1.10.1
פונקציות לעבודה עם רשימות	1.10.2
שיטות לעבודה עם רשימות	1.10.3
לכידת שגיאות	1.11
בדיקת תקינות של תכנה	1.11.1
לכידת שגיאות מובנית בפייתון	1.11.2
השימוש בקבצים	1.12

קריאה מקבצים	1.12.1	
כתיבה לקבצים	1.12.2	
גרפיקה דו-ממדית I	1.13	
יצירה ועיצוב של תרשימי פיזור	1.13.1	
אנימציה	1.13.2	
מילונים (dictionaries)	1.14	
יצירת מילונים ; מאפיינים כלליים	1.14.1	
שיטות לעבודה עם מילונים	1.14.2	
טופלים (tuples)	1.15	
יצירת טופלים ; מאפיינים כלליים	1.15.1	
פונקציות ושיטות לעבודה עם טופלים	1.15.2	
קבוצות (sets)	1.16	
יצירת קבוצות והתכונות הכלליות שלהן	1.16.1	
אופרטורים בין קבוצות	1.16.2	
שיטות לעבודה עם קבוצות	1.16.3	
פונקציות	1.17	
הגדרת פונקציה	1.17.1	
הטווח של משתנים בפונקציה	1.17.2	
ארגומנטים עם ברירת מחדל ועם מפתח	1.17.3	
פונקציות מסדר גבוה	1.17.4	
גנרטורים ואיטרטורים	1.18	
מערכות דינמיות I : מערכות בדידות	2	
מבוא והגדרות	2.1	
מודל מתמטי לגידול אוכלוסייה יחידה בעלת משאבים בלתי-מוגבלים	2.2	
מודל מתמטי לגידול אוכלוסייה יחידה בעלת משאבים מוגבלים	2.3	
המשוואה הלוגיסטית	2.4	
משוואות Lotka-Volterra (גרסה בדידה)	2.5	
רקורסיה	3	
מבוא והגדרות	3.1	
עצי רקורסיה	3.2	
ממויזציה (memoization)	3.3	
דוגמאות נוספות לאלגוריתמים רקורסיביים	3.4	
ביואינפורמטיקה	4	
מבוא והגדרות	4.1	
עימוד והשוואת שני רצפים	4.2	
השוואת רצפים מרובים	4.3	

אלגוריתמים הסתברותיים (randomized algorithms) I	5
מושגי יסוד בסטטיסטיקה	5.1
מושגי יסוד בסטטיסטיקה תיאורית	5.1.1
תרשימי קופסה (box plots)	5.1.2
היסטוגרמות	5.1.3
צידוד (skewness)	5.1.4
קורלציה	5.1.5
מושגי יסוד בתורת ההסתברות	5.2
יצירת מספרים אקראיים	5.3
מחוללי מספרים אקראיים : התפלגות אחידה	5.3.1
בדיקת רנדומליות	5.3.2
מחוללי מספרים אקראיים : דגימה מטרנספורמציה הופכית	5.3.3
יצירת מספרים אקראיים בפייתון	5.3.4
הדמיות מונטה קרלו	5.4
עקרונות השימוש בהדמיות מונטה קרלו	5.4.1
יישומים	5.4.2
נושאים מתקדמים	5.5
אוטוקורלציה	5.5.1
בדיקת השערות בסטטיסטיקה	5.5.2
חישוביות \ סיבוכיות	6
מבוא	6.1
ניתוח של אלגוריתמים	6.2
אוטומטים	6.3
מכונת טיורינג	6.4
בעיית NP=P	6.5

כיתה י"א

אלגוריתמים הסתברותיים II	7
מבוא	7.1
שרשראות מרקוב	7.2
הגדרות	7.2.1
שיטות שרשראות-מרקוב-מונטה-קרלו (MCMC)	7.2.2
מודל מרקוב חבוי (HMM)	7.3
הגדרות	7.3.1
בעיית ההערכה ואלגוריתם קדימה (forward algorithm)	7.3.2
בעיית הפיענוח ואלגוריתם ויטרבי	7.3.3
בעיית הלמידה, קריטריון הנראות המקסימלית (maximum likelihood)	7.3.4
אוטומטים תאיים (cellular automata)	8
מובא	8.1
אוטומט תאי חד-ממדי	8.2
מידול עומס תנועה בעזרת אוטומט חד-ממדי	8.3
אוטומט דו-ממדי	8.4
self-organized criticality	8.5
מודל החלחול (פרקולציה)	8.6
מיני-פרויקט בנושא אוטומט תאי	8.7
מבני נתונים ותכנות מונחה עצמים (OOP)	9
מבוא למבני נתונים	9.1
מערך ורשימה מקושרת	9.2
ערימה ומחסנית	9.3
גרפים	9.4
מבוא והגדרות	9.4.1
אלגוריתמים העוסקים במסלולים בגרפים	9.4.2
בעיית הסוכן הנוסע	9.4.3
נושאים מתקדמים	9.4.4
עצים	9.5
מבני נתונים ל-big data	9.6
תכנות מונחה עצמים (OOP)	9.7
הגדרת אובייקט ושימושי	9.7.1
ירושה ושימושיה	9.7.2
פולימורפיזם ומחלקות אבסטרקטיות	9.7.3

10	חיזוי (forecasting)
10.1	מבוא לסדרות עתיות (time series)
10.2	מגמות ושיטות החלקה (smoothing)
10.3	ניתוח בתחום התדרים (עונתיות)
10.4	אוטוקורלציה: מודלי AR ו-ARMA
10.5	חיזוי תוצאות בינאריות
10.6	הערכת דיוק החיזוי
11	מבוא לאופטימיזציה
11.1	מבוא
11.2	מציאת מינימום של פונקציה
11.3	מבוא לבעיות בגרפים
11.4	אלגוריתמי אופטימיזציה מבוססי גרדיאנט I
11.5	מבוא לאלגברה לינארית
11.6	אלגוריתמי אופטימיזציה מבוססי גרדיאנט II
11.7	שימוש באלגוריתמים אבולוציוניים לבעיות אופטימיזציה.
11.8	בעיות אופטימיזציה עם אילוצים. תכנות לינארי.
12	מערכות דינמיות II: מערכות רציפות
12.1	שיטות נומריות לפתרון משוואות דיפרנציאליות מסדר ראשון
12.2	שיטות נומריות לפתרון משוואות דיפרנציאליות מסדר שני
12.3	מערכות דינמיות וכאוס

כיתה י"ב

למידת מכונה	12
מבוא למדעי הנתונים ולמידה חישובית. מושגי יסוד.	12.1
למידה מונחית. סיווג. למידה מונחית. רגרסיה.	12.2
למידה מונחית. סיווג.	12.3
למידה מונחית. רגרסיה.	12.4
רשתות נוירונים	12.5
אלגוריתם מכונת וקטורים תומכים (SVM) ושיטות גרעין	12.6
למידה בלתי מונחית. ניתוח גורמים ראשיים (Principal Component Analysis).	12.7
למידה בלתי מונחית. ניתוח אשכולות	12.8

8. סילבוס מפורט

סילבוס מקוצר

סיכום שעות הוראה³:

שכבה י'		
שעות הוראה		נושא לימוד
הרחבה	ליבה	
20	75	פרק 1 : אלמנטים של שפת פייתון
4	15	פרק 2 : מערכות דינמיות I: מערכות בדידות
2	10	פרק 3 : רקורסיה
2	15	פרק 4 : ביואינפורמטיקה
28	24	פרק 5 : אלגוריתמים הסתברותיים I
9	13	פרק 6 : חישוביות \ סיבוכיות
65	152	סה"כ :

שכבה י"א		
שעות הוראה		נושא לימוד
הרחבה	ליבה	
7	13	פרק 7 : אלגוריתמים הסתברותיים II
25	45	פרק 8 : אוטומטים תאיים (cellular automata)
6	30	פרק 9 : מבני נתונים ותכנות מונחה עצמים (OOP)
37	0	פרק 10 : חיזוי (forecasting)
25	62	פרק 11 : מבוא לאופטימיזציה
15	20	פרק 12 : מערכות דינמיות II: מערכות רציפות
115	170	סה"כ :

שכבה י"ב		
שעות הוראה		נושא לימוד
הרחבה	ליבה	
0	70	פרק 13 : למידת מכונה (machine learning)
0	80	פרויקטים אישיים

³ מורות ומורי הקורס ירכיבו מיחידות ההוראה המוצעות כאן תוכנית לימודים לכיתה שלהם.

0	150	סה"כ :
---	-----	--------

פרק 1 : אלמנטים של שפת פייתון

שעות הוראה		נושא
הרחבה	ליבה	
0	2	1.1 שפות תכנות
0	2	1.2 ייצוגים של מספרים
0	4	1.3 העבודה בסביבת Jupyter notebooks
0	4	1.4 משתנים ופעולות אריתמטיות בסיסיות
0	5	1.5 מחרוזות (strings)
2	0	1.6 הדפסה מפורמטת
0	4	1.7 משתנים בוליאניים ומשפטי תנאי
0	4	1.8 לולאות
2	0	1.9 פונקציות אנונימיות (פונקציות λ)
0	10	1.10 רשימות
0	3	1.11 לכידת שגיאות
0	6	1.12 השימוש בקבצים
10	0	1.13 גרפיקה דו-ממדית I
0	8	1.14 מילונים (dictionaries)
0	5	1.15 טופלים (tuples)
0	10	1.16 קבוצות (sets)
4	8	1.17 פונקציות
2	0	1.18 גנרטורים ואיטרטורים
20	75	סה"כ :

1 אלמנטים של שפת פייתון				
פירוט	מושגים	מטרות אופרטיביות	פעילויות	שעות הוראה
1.1 שפות תכנות				
תיאור התהליך מכתבת קוד מקור ועד להפקת קובץ הרצה; תיאור ההבדלים בין מחלקות שונות של שפות תכנות	– שפת תכנות עילית (high-level language) – שפת תכנות low-level – שפת מכונה (machine language) – שפת סף (assembly language) – שפה מפורשת (interpreted language) – שפה מקומפלת (compiled language) – מהדר (compiler) \ מקשר (linker)	התלמיד יכיר במבט על את סוגי שפות התכנות השונות וכיצד הן קשורות אחת לשנייה	צפייה בקטע מסרט של Phil Morrison המדגים את ניסוי ארטוסתנס; משימת בית: קריאה וניתוח של מאמר על המודל ה"בועתי" של הארץ	2
			סה"כ:	2
1.2 ייצוגים של מספרים				
ייצוג של מספרים בבסיסים שונים; המרה בין בסיסים	– מספרים עשרוניים (decimal numbers) – מספרים בינאריים (binary numbers) – סיבית (bit); בית (byte) – מספרים אוקטליים (octal numbers) – מספרים הקסאדצימליים (hexadecimal numbers)	- התלמיד יבין מה הם בסיסים שונים, כיצד להמיר ביניהם, וכיצד מבצעים פעולות אריתמטיות בסיסיות בבסיסים שונים - תרגילי כיתה באריתמטיקה ובהמרה של מספרים לבסיסים שונים - תרגיל בית בפרק של הצפנה שמצריך המרה בין בסיסים		2
			סה"כ:	2
1.3 העבודה בסביבת Jupyter notebooks				
1.3.1 המבנה הכללי של מחברת: ניהול קבצים בסביבת נוטבוק, סוגי תאים, פקודות עריכה בסיסיות, פקודות ביצוע קוד	– markdown cell – code cell – edit mode, command mode	התלמיד יבין כיצד לכתוב מחברת Jupyter מסודרת המכילה תאי קוד ותאים מעוצבים	תרגול שוטף המשולב בשיעור	2
1.3.2 פקודות עריכה מתקדמות לתאי markdown	– HTML (הכרות בסיסית בלבד)			2

			– LaTeX (הכרות בסיסית בלבד)	
4	סה"כ:			
שעות הוראה	פעילויות	מטרות אופרטיביות	מושגים	פירוט
1.4 משתנים ופעולות אריתמטיות בסיסיות				
2	תרגול שוטף המשולב בשיעור	התלמיד יבין מה הם סוגי המשתנים השונים, איך לעבוד איתם, איך להמיר ביניהם, ואיך לקבל/להחזיר אותם למשתמש	– integer, float, boolean, string – dynamic typing – type casting – print, input	1.4.1 סוגי משתנים בסיסיים בפייתון; המרה בין סוגי משתנים; קריאה והדפסה של משתנים
1			הפונקציות floor, ceil, round, int ו-floating point number ל-integer	1.4.2
1	– תרגיל בנושא משוואת Drake – תרגיל חישוב מספר המולקולות בנשימה אחת	התלמיד יבין ויתרגל עבודה עם אופרטורי האריתמטיקה הבסיסיים	אופרטורי חיבור, חיסור, כפל, חילוק, חילוק שלם, חישוב שארית חילוק, חזקה	1.4.3 אופרטורים אריתמטיים
4	סה"כ:			
1.5 מחרוזות (strings)				
1	– תרגול שוטף המשולב בשיעור	התלמיד יבין ויתרגל לעבוד עם מחרוזות, איך ניתן לעשות להן slicing, ולבצע פעולות עליהן בעזרת שיטות מובנות שונות	– מקובעות (immutability) – slicing – operator overloading	1.5.1 יצירת מחרוזות; מאפיינים כלליים של סוג המשתנה; גישה לאיברים במחרוזות; שרשור מחרוזות
4	תרגיל עיבוד קטע DNA		lower(), upper(), count(), find(), rfind(), replace()	1.5.2 שיטות לעבודה עם מחרוזות
5	סה"כ:			
1.6 הדפסה מפורמטת				
2	תרגול בפרמוט הדפסה של משתנים מהסוגים int ו-f-string	התלמיד יבין ויתרגל איך להשתמש במחרוזות מפורמטות		תחביר השימוש במחרוזות מפורמטות

	float ; תרגיל הדפסת טבלה	ובפרט בתחביר המגוון שלהן		
2	סה"כ:			
1.7 משתנים בוליאניים ומשפטי תנאי				
2	- בדיקה האם שנה היא שנה מעוברת - בדיקת תקינות של מספר ת"ז	- התלמיד יבין ויתרגל איך להשתמש באופרטורים לוגיים על מנת להיעזר בהם בהרכבת תנאים שונים	- ערך אמת (truth value) - not, and, or - ==, !=, >, ≥, <, ≤, in	1.7.1 מבוא ; אופרטורי השוואה ; אופרטורים לוגיים
2			if ... elif ... else	1.7.2 משפטי תנאי
4	סה"כ:			
1.8 לולאות				
2	- חישוב שורש 2		- תרשים זרימה	1.8.1 לולאות while
2	- בדיקת ראשוניות של מספר - ניסוח תנאי עצירה עבור משתנה מסוג float - בניית מחרוזת דנ"א חצי רנדומלית וספירת מספר בסיסים	- התלמיד יבין ויתרגל שימוש בלולאות ובעקרונות של בקרת זרימה על מנת לכתוב תכנה יותר יעילה	- תנאי כניסה, תנאי יציאה - continue, break	1.8.2 לולאות for
4	סה"כ:			
1.9 פונקציות אנונימיות (פונקציות λ)				
2	- שיטת החצייה (bisection method) למציאת נקודת אפס של פונקציה	- התלמיד יבין כיצד להשתמש בפונקציות λ בתכנה במקומות בהן זה מתבקש	פונקציה אנונימית	התחביר של פונקציות λ והשימוש בהן
2	סה"כ:			

1.10 רשימות (lists)				
4	- תרגילים סביב סדרת פיבונצ'י - השוואת ועימוד רצפים	התלמיד יתרגל שימוש ברשימות, בשיטות שלהן, ובפונקציות שונות שעושות בהן שימוש	- מנייה (enumeration) - type casting - list comprehension - mutability - slicing, unpacking - nested lists, flattening	1.10.1 יצירת רשימות; תכונות כלליות של רשימות; איחוד ושכפול של רשימות; גישה לאיברים ברשימה
2	תרגול שוטף המשולב בשיעור		min, max, sum, len, map, filter	1.10.2 פונקציות לעבודה עם רשימות
4	תרגול שוטף המשולב בשיעור	התלמיד יתרגל שיטות שונות של רשימות	append(), extend(), insert(), clear(), remove(), pop(), index(), count(), reverse(), sort(), copy()	1.10.3 שיטות לעבודה עם רשימות
10	סה"כ:			
1.11 לכידת שגיאות				
1		התלמיד יבין מה זה באג, מה הוא אומר, וכיצד באופן שיטתי לנטר אותם	- באג, traceback - פקודת assert - debugger	1.11.1 בדיקת תקינותה של תכנה: כיצד לקרוא את ה-traceback של פייתון, דרכים למצוא באגים
2	לכידת שגיאה בקליטת מידע מהמשתמש	התלמיד יבין מה הן סוגי השגיאות השונות, יתנסה בלכידתן, ויבין מה הדרכים הנכונות ושונות לעשות זאת	- exception - try ... except ... else ... finally	1.11.2 סוגי שגיאה; לכידת שגיאות מובנית בפייתון
3	סה"כ:			
1.12 השימוש בקבצים				
4	עיבוד נתוני UNICEF לגבי מתן ויטמין A לילדים	התלמיד יבין כיצד ויתרגל עבודה עם קבצים ובפרט קריאה וכתובה מהם. בנוסף	- קובץ בינארי, קובץ טקסט - open, close - השיטות name, mode, closed	1.12.1 קריאה מקצים: סוגי קבצים, פתיחה וסגירה, לכידת שגיאות, מידע על קובצים; קריאת גושים, קריאת שורה בודדת, קריאת שורות אל תוך רשימה, ניהול מצביע הקריאה

		- זיהוי אקסונים (exons) ברצף DNA	לכך, התלמיד יבין מה הדרכים הנכונות לנהל קריאה וכתובה לקבצים בתכנה.	readlines(), readline(), read() – read/write pointer, seek() –	
2				overwrite, append	1.12.2 כתיבה לקבצים : שיטות לפתיחת קובץ לכתובה
6	סה"כ:				
1.13 גרפיקה דו-ממדית I					
6	עיצוב תרשימים מתקדם	התלמיד יתנסה בשימוש בתרשימים מסודרים ומפורטים ובלתכנת אנימציות בעזרתם		figures, axes, subplots	1.13.1 יצירת ועיצוב תרשימי פיזור (scatter plots)
4	– כדור בתיבה – תנועה מעגלית				1.13.2 אנימציה
10	סה"כ:				
1.14 מילונים (dictionaries)					
4	– תרגול שוטף המשולב בשיעור – בניית מאגר של עובדים בחברה	התלמיד יבין כיצד מילונים עובדים ויתרגל עבודה איתם ושימוש בשיטותיהם		keys, values – unpacking – פונקציית zip –	1.14.1 יצירת מילונים ; תכונות כלליות של מילונים ;
4	– תרגיל בהצפנת/פענוח צופן קיסר			clear(), get(), update(), pop(), fromkeys(), setdefault()	1.14.2 שיטות לעבודה עם מילונים
8	סה"כ:				
1.15 טופלים (tuples)					
4		התלמיד יבין כיצד טופלים עובדים, מתי הם עדיפים על פני רשימות, ויתרגל עבודה איתם ושימוש בשיטותיהם		immutability – unpacking – פונקציית zip – יעילות של העבודה עם טופלים בהשוואה לרשימות	1.15.1 יצירת טופלים והתכונות הכלליות שלהם ; גישה לאיברים
1				השוואה עם השיטות שקיימות עבור רשימות	1.15.2 שיטות ופונקציות לעבודה עם טופלים

5	סה"כ:			
1.16 קבוצות (sets)				
2	תרגול שוטף המשולב בשיעור	התלמיד יבין כיצד קבוצות עובדות ויתרגל עבודה איתן ושימוש בשיטותיהן. בפרט, התלמיד ידע להשתמש באופרטורים בין קבוצות בצורה יעילה	1.16.1 יצירת קבוצות והתכונות הכלליות שלהן ; בדיקת שייכות לקבוצה ; frozen sets	
4			1.16.2 אופרטורים בין קבוצות	– איחוד, חיתוך, הפרש, הפרק סימטרי – השוואות : שוויון, קבוצת-על, קבוצה חלקית
4			1.16.3 שיטות לעבודה עם קבוצות	add(), update(), union(), clear(), remove(), discard(), pop(), intersection(), intersection_update(), difference(), difference_update(), symmetric_difference()
10	סה"כ:			
1.17 פונקציות				
2	- האלגוריתם האוקלידי - אלגוריתם ניוטון-רפסון	התלמיד יבין מה הדרך והקונבנציות לכתיבת פונקציה ולשימוש בסיסי בה	1.17.1 הגדרת פונקציה: יצירה ותיעוד	– ארגומנט, ערך מוחזר – docstring
4		התלמיד יבין מה הוא הטווח של משתנה בצורה שיוכל להשתמש בידע זה למניעת וניטור באגים בעתיד	1.17.2 הטווח של משתנים בפונקציה	local, enclosing, nonlocal, global וכלל LEGB
2	תרגול שוטף המשולב בשיעור	התלמיד יבין ויתרגל שימוש בארגומנטים בפונקציות	1.17.3 ארגומנטים עם ברירת מחדל ועם מפתח	– default arguments – keyword arguments
4	תיכנות סכימת הורנר לחישוב פולינומים	התלמיד יבין כיצד פונקציות יכולות לפעול על ולקבל פונקציות אחרות ואיך ניתן להשתמש	1.17.4 פונקציות מסדר גבוה	– first class function – higher order function – closure – decorator

		בתכונות אלו לכתיבת תכנה יותר טובה		
12	סה"כ:			
1.18 גנרטורים ואיטרטורים				
2	שימוש בגנרטורים לתרגילים בפרק של מערכות בדידות, כגון מציאת הגודל של אוכלוסייה לאורך זמן	התלמיד יבין איך גנרטורים ואיטרטורים עובדים, מדוע הם עדיפים על פני החזרת רשימות, ואיך לכתוב גנרטורים משלו		גנרטור, איטרטור, פקודת yield
2	סה"כ:			

פרק 2 : מערכות דינמיות I : מערכות בדידות [סילבוס מקוצר](#) • [סיכום שעות הוראה](#)

שעות הוראה		נושא
הרחבה	ליבה	
0	1	2.1 מבוא והגדרות
0	5	2.2 מודל מתמטי לגידול אוכלוסייה יחידה בעלת משאבים בלתי-מוגבלים
0	1	2.3 מודל מתמטי לגידול אוכלוסייה יחידה בעלת משאבים מוגבלים
0	8	2.4 המשוואה הלוגיסטית
4	0	2.5 משוואות Lotka-Volterra (גרסה בדידה)
4	15	סה"כ :

2 מערכות דינמיות I: מערכות בדידות				
פירוט	מושגים	מטרות אופרטיביות	פעילויות	שעות הוראה
2.1. מבוא והגדרות				
מהי מערכת דינמית בדידה?	- משוואת הפרשים מסדר k - נוסחת רקורסיה - מערכת דינמית בדידה מסדר k	התלמיד יבין מה היא מערכת דינמית בדידה ואת מושגי היסוד הנדרשים להבינה		1
2.2. מודל מתמטי לגידול אוכלוסייה יחידה בעלת משאבים בלתי-מוגבלים				
התורה האנליטית של מודלים לפיצוץ ולהכחדת אוכלוסייה	- שיעור ילודה (birth rate) - שיעור תמותה (death/mortality rate) - איבר ריסון (damping term) - קצב רבייה נטו (net reproductive rate)	התלמיד יבין מה המשמעות והיגיון מאחורי הרכיבים השונים במודלים מתמטיים שונים לגידול אוכלוסייה ויתרגל את הצגתם באופן גרפי	- ניתוח מתמטי של מודל לגידול אוכלוסייה ללא משאבים מוגבלים - בניית גרפי קורי עכביש	1
הצגה גרפית של מערכות דינמיות בדידות: (1) גרף פיזור רגיל כתלות בזמן (2) גרף קורי עכביש (cobweb plot)	גרף קורי עכביש (cobweb plot)			4
2.3. מודל מתמטי לגידול אוכלוסייה יחידה בעלת משאבים מוגבלים				
משוואת ההפרשים הכללית לתיאור גידול של אוכלוסייה בעלת משאבים מוגבלים	יכולת הנשיאה (carrying capacity) של סביבה	התלמיד יבין מה זו יכולת נשיאה וכיצד ניתן לתאר מודל של גידול אוכלוסייה עם משוואת הפרשים	תרגיל בפיתוח מודל לגדילת אוכלוסייה עם כמות מוגבלת של משאבים	1
2.4. המשוואה הלוגיסטית				
הגדרת המשוואה הלוגיסטית כמודל בעל תלות לינארית של שיעור הרבייה בגודל האוכלוסייה	- המשוואה הלוגיסטית (logistic equation) - נקודת שבת (fixed point) - שיווי משקל (equilibrium) - נקודת שבת מושכת (attracting f.p.) - נקודת שבת דוחה (repelling f.p.)	התלמיד יכיר ויבין את המושגים הנתונים ויתרגל אותם בעזרת סימולציות שיכתוב	- חקירת המשוואה הלוגיסטית בעזרת גרף קורי עכביש - מציאת נקודות שבת ונקודות מחזוריות על ידי מציאת שורש פולינום	4

4	המשוואה הלוגיסטית עבור אוכלוסייה של דגים (בלי ועם דייג)		– נקודת ביפורקציה – כאוס (ללא הגדרה מתמטית מדויקת)	המפה הלוגיסטית
2.5. משוואות Lotka-Volterra (גרסה בדידה)				
4	חקירת אוכלוסיות של ארנבים ושועלים עם ובלי משאבים מוגבלים	התלמיד יכיר את המושג מרחב פזה ויתנסה בחקר מערכת מחזורית בעזרת סימולציה	– מרחב פזה (phase space) – פתרונות מחזוריים	מודל לדינמיקה של שתי אוכלוסיות מתחרות
19	סה"כ:			

שעות הוראה		נושא
הרחבה	ליבה	
0	2	3.1 מבוא והגדרות
0	2	3.2 עצי רקורסיה
0	2	3.3 ממויזציה (memoization)
2	4	3.4. דוגמאות נוספות לאלגוריתמים רקורסיביים
2	10	סה"כ :

3 רקורסיה				
פירוט	מושגים	מטרות אופרטיביות	פעילויות	שעות הוראה
3.1. מבוא והגדרות				
מהי פונקציה רקורסיבית? שימושים של רקורסיה, פתרון בעיות בעזרת רקורסיה, שקילות רקורסיה ללולאה	- הגדרה רקורסיבית - תנאי כניסה, תנאי יציאה	התלמיד יבין מהי פונקציה רקורסיבית, מה מרכיביה, ויתרגל תכנות פונקציות רקורסיביות פשוטות	- חישוב עצרת $N!$ - מספרי פיבונצ'י - מיון מיזוג	2
			סה"כ:	2
3.2. עצי רקורסיה				
השימוש בעץ רקורסיה (recursion tree) לניתוח אלגוריתם רקורסיבי	מושגים בסיסיים בתורת הגרפים	התלמיד יבין מושגי יסוד בתורת הגרפים וכיצד ניתן לנתח רקורסיה בעזרת עץ רקורסיה	עץ רקורסיה עבור פונקציה שמחשבת את מספרי פיבונצ'י	2
			סה"כ:	2
3.3. ממויזציה				
האצת זמן הריצה של אלגוריתם רקורסיבי ע"י ממויזציה (memoization)		התלמיד יבין מדוע ממויזציה עוזרת להאצת זמן הריצה של אלגוריתם רקורסיבי ויתרגל יישום שלה	מספרי פיבונצ'י, בעיית המטבעות	2
			סה"כ:	2
3.4. דוגמאות נוספות לאלגוריתמים רקורסיביים				
3.4.1 מגדלי הנוי, האלגוריתם האוקלידי הפשוט		התלמיד יישם פתרון רקורסיבי לבעיות אלו		4

2	פתרון משוואות דיופנטיות	התלמיד יישם פתרון רקורסיבי לפתירת משוואות דיופנטיות	משוואה דיופנטית (diophantine equation)	3.4.2 האלגוריתם האוקלידי המורחב
6	סה"כ:			

פרק 4 : ביואינפורמטיקה

שעות הוראה		נושא
הרחבה	ליבה	
2	4	4.1 מבוא והגדרות
0	7	4.2 עימוד והשוואת שני רצפים
0	4	4.3 השוואת רצפים מרובים
2	15	סה"כ :

4 ביואינפורמטיקה				
פירוט	מושגים	מטרות אופרטיביות	פעילויות	שעות הוראה
4.1. מבוא והגדרות				
הדנ"א - מבנה ותפקוד גילוי מבנה הדנ"א ותהליך ההכפלה	תכונה מורשת, בסיס חנקני (נוקלאוטיד), דנ"א, סליל כפול, דיפרקציית קרני X ויצירת מודל מרחבי. גדיל משלים (template strand), הכפלת הדנ"א.	התלמיד יבין את מבנה ה-DNA ויבין כיצד המידע נשמר וכיצד הוא מועבר לדורות הבאים.	חישוב GC% ברצף	2
מדנ"א לחלבון רצפים מקודדים, רצפי בקרה ורצפים מבניים	שיעתוק, רנ"א, תרגום, חלבון, אלל, מוטציה, מוטציית חסר/ הוספה, הסטת מסגרת קריאה. שחבור, שחבור חליפי.	התלמיד יבין אילו סוגי מידע נשמרים בדנ"א, כיצד המידע עובר וכיצד משתמשים בו.		2
הדנ"א כהתקן אחסון (storage device)	יעילות (קצב קריאה/כתיבה), צפיפות נתונים (data density), יעילות אנרגטית, עמידות, אמינות.	התלמיד יבין את התכונות המגדירות התקני אחסון ואת היתרונות, החסרונות והאתגרים שבשימוש בדנ"א כהתקן כזה.	חישוב כמות המידע שניתן לשמור בטיפת נוזל.	2
			סה"כ:	6
4.2. עימוד והשוואת שני רצפים				
השוואה בעזרת Dot Plot		התלמיד יבין את המשמעות והייצוג החזותי של השוואה בעזרת Dot Plots.	בניית Dot Plot להשוואה בין שני רצפים.	2
עימוד רצפים (sequence alignment) גלובלי ומקומי. אלגוריתם נידלמן-וונש	Local alignment, Global alignment, מרחק גנטי.	התלמיד יבין את ההבדל שבין פתרון גלובלי למקומי ויבין ויידע ליישם את אלגוריתם נידלמן-וונש	עימוד שני רצפים בעזרת אלגוריתם נידלמן-וונש. הצגת העימוד בפורמט המקובל. חישוב המרחק הגנטי בין הרצפים.	4

		וונש למציאת עימוד אופטימלי		
1	השוואה בין דנ"א ורנ"א של אותו הגן	התלמיד יבין על אילו שאלות מדעיות ניתן לענות בעזרת עימוד והשוואה של שני רצפים.	גנים הומולוגים, הומולוגיה בין מינים (אורטולוגיה), הומולוגיה בין גנים באותו המין (פארלוגיה). זיהוי מוטציות. השוואה בין דנ"א לרנ"א וזיהוי אזורים מקודדים (שחבור ושחבור חליפ).	איזה מידע ניתן לקבל מהשוואת שני רצפים
7	סה"כ:			
4.3 השוואת רצפים מרובים				
2	גרף שונות עם תת-רצפים באורך משתנה.	התלמיד ידע לזהות אזורים שונים מול אזורים עם שונות גבוהה ויבין את המשמעות הביולוגית	רצפים שמורים אבולוציונית, פולימורפיזם	רצפים שמורים מול רצפים עם שונות גבוהה.
1	בניית מטריצת שכיחויות ומציאת רצף קונצנזוס	התלמיד ידע לבנות מטריצת שכיחויות ולמצוא רצף קונצנזוס. התלמיד יכיר את דרך ההצגה המקובלת של רצפים אלה.	רצפי קונצנזוס, motifs, מטריצת שכיחויות, sequence logo	רצפי קונצנזוס.
1	בניית מטריצת מרחק גנטית	התלמיד יבין על אילו שאלות מדעיות ניתן לענות בעזרת השוואה של רצפים מרובים.	זיהוי אזורים שמורים, חישוב מרחק אבולוציוני בין מינים.	איזה מידע ניתן לקבל מהשוואת רצפים מרובים
4	סה"כ:			

פרק 5 : אלגוריתמים הסתברותיים I

שעות הוראה		נושא
הרחבה	ליבה	
8	8	5.1 מושגי יסוד בסטטיסטיקה
0	6	5.2 מושגי יסוד בתורת ההסתברות
8	2	5.3 יצירת מספרים אקראיים
0	8	5.4 הדמיות מונטה קרלו
12	0	5.5 נושאים מתקדמים
28	24	סה"כ :

5 אלגוריתמים הסתברותיים I				
פירוט	מושגים	מטרות אופרטיביות	פעילויות	שעות הוראה
5.1. מושגי יסוד בסטיסטיקה				
5.1.1 מושגי יסוד בסטיסטיקה תיאורית	- טבלת שכיחות - שכיח (mode), ממוצע (mean/average), חציון (median), - שונות (variance), סטיית תקן (standard deviation) - אחוזונים (percentiles, quantiles)	התלמיד יכיר ברמה היישומית את מושגי היסוד הנתונים ויתרגל אותם	חישוב פרמטרים של סטיסטיקה תיאורית עבור ה-Anscombe data set	4
5.1.2 תרשימי קופסה (box plots): יצירה ושיטות עיצוב		התלמיד יתרגל שימוש וניתוח בתרשימי קופסה	ניתוח נתוני AirBnB	2
5.1.3 היסטוגרמות: יצירה ושיטות עיצוב	- גרף עמודות כנגד היסטוגרמה - bin - היסטוגרמה (כולל מצטברת)	התלמיד יבין מתי מתאים להשתמש בגרף היסטוגרמה, סוגי הגרפים השונים, וכיצד להשתמש בהן		4
5.1.4 צידוד (skewness)	מקדם Fisher-Pearson	התלמיד יכיר את המושגים הנתונים השונים, כיצד לחשב אותם, מה ניתן להסיק מהם, ומה המגבלות שלהם	המשך ניתוח ה-Anscombe data set	2
5.1.5 קורלציה: הגדרה, חישוב ופרשנות סטטיסטית של מקדם הקורלציה של פירסון	- מקדם הקורלציה של פירסון - p-value		ניתוח ה-Sheffield birthweight data	4
			סה"כ:	16
5.2. מושגי יסוד בתורת ההסתברות				
מושגי יסוד ומשפטים בסיסיים בתורת ההסתברות; סוגים שונים של פונקציות הסתברות	- ניסוי מקרי (אקראי) - מרחב מדגם, מאורע - פונקציית הסתברות - פונקציית צפיפות הסתברות - סוגי התפלגויות: אחיד, בינומית, Poisson, נורמלית	התלמיד יכיר ויתרגל שימוש במושגי היסוד הנתונים	תרגול שוטף המשולב בשיעור	6

6	סה"כ:			
5.3. יצירת מספרים אקראיים				
2	תרגול שוטף המשולב בשיעור	התלמיד יכיר מה הוא מחולל מספרים אקראיים, את הסוגים הנתונים, ויישם אותם	Linear Congruence Generator (LCG) – Lagged Fibonacci Generator –	5.3.1 מחוללי מספרים אקראיים : התפלגות אחידה
2		התלמיד יכיר ברמה יישומית את מבחן χ^2	מבחן χ^2	5.3.2 בדיקת רנדומליות
4		התלמיד יכיר את שיטת הקבלה והדחייה וכיצד ניתן ליצור מחוללי מספרים אקראיים בעזרת דגימה מהטרנספורמציה ההופכית	שיטת הקבלה והדחייה (acceptance-rejection method)	5.3.3 מחוללי מספרים אקראיים : דגימה מטרנספורמציה הופכית (inverse transform sampling)
2	תרגול שוטף המשולב בשיעור	התלמיד יכיר את השיטות ופונקציות השונות בספריות האלו ויתרגל שימוש בהן	הספריות random ו-numpy	5.3.4 יצירת מספרים אקראיים בפייתון
10	סה"כ:			
5.4. הדמיות מונטה קרלו (Monte Carlo simulations)				
2	אינטגרציה נומרית בשיטת מונטה קרלו	התלמיד יכיר מה היא שיטת מונטה קארלו, יבין את עקרונותיה, ויישמה עבור מספר מקרים פשוטים	הדמיית מונטה קרלו	5.4.1 עקרונות השימוש בהדמיות מונטה קרלו : סדר הפעולות
6	– לוח גלטון, הגעה לתחנת רכבת – ודוגמאות נוספות מהלך אקראי			5.4.2 יישומים : ניתוח מערכות בעזרת הדמיות מונטה קרלו
8	סה"כ:			

5.5 נושאים מתקדמים				
4	מציאת שני מחזורים בדינמיקה של כתמי שמש	התלמיד יבין מה היא פונקציית אוטוקורלציה ואיך לבדוק השערות סטטיסטיות שונות	פונקציית אוטוקורלציה	5.5.1 אוטוקורלציה : השימוש לבדיקת רנדומליות
8			– טעות מסוג ראשון (false positive) – טעות מסוג שני (false negative, miss) – התפלגות דגימה (sampling distribution) – השערת אפס (null hypothesis) – ערך p	5.5.2 בדיקת השערות בסטטיסטיקה
12	סה"כ:			

פרק 6 : חישוביות \ סיבוכיות

[סילבוס מקוצר](#) • [סיכום שעות הוראה](#)

שעות הוראה		נושא
הרחבה	ליבה	
0	4	6.1 מבוא
0	9	6.2 ניתוח של אלגוריתמים
4	0	6.3. אוטומטים
3	0	6.4. מכונת טיורינג
2	0	6.5. בעיית $NP=P$
9	13	סה"כ :

6 סיבוכיות				
פירוט	מושגים	מטרות אופרטיביות	פעילויות	שעות הוראה
6.1. מבוא				
סיבוכיות זמן ריצה וזכרון עבור אלגוריתמים		התלמיד יבין מה היא סיבוכיות זמן ריצה וזיכרון וכיצד למצוא אותם עבור אלגוריתמים שונים.	אלגוריתמים של מיון : מיון הכנסה (insert sort) ומיון מיזוג (merge sort)	4
			סה"כ :	4
6.2. ניתוח של אלגוריתמים				
המקרה הגרוע ביותר, המקרה הממוצע, התנהגות אסימפטוטית	סימון לנדאו : $O(n)$ ו- $o(n)$	התלמיד יכיר את הסימונים והפורמליזם המתמטי של סיבוכיות וניתוח אסימפטוטי בסיסי וידע ליישמו	- תרגילים במציאת הסיבוכיות של אלגוריתמים שונים כולל אלגוריתמים רקורסיביים - תרגול שוטף במהלך השיעורים בעת שימוש באלגוריתם חדש	5
אלגוריתמים מהסוג "הפרד ומשול" (divide and conquer algorithms)		התלמיד יבין ויתרגל כיצד ניתן למצוא את הסיבוכיות של אלגוריתמי הפרד ומשול	- בעיית הזוג הקרוב ביותר - quicksort	4
			סה"כ :	9
6.3. אוטומטים				
הגדרה של אוטומט, אוטומטים מסוג DFA ו-PDA, מכונות Mealy ו-Moore	הבנת מושגי יסוד בלבד	תרגיל : חיוב של 2^s complement של מספר בינארי		4
		סה"כ :		4

6.4. מכונת טיורינג				
3		הבנת מושגי יסוד בלבד	הגדרה של מכונת טיורינג ; בעיית העצירה (עם הוכחת טיורינג) ; תזת Church-Turing	
3	סה"כ:			
6.5. בעיית $P=NP$				
2		הבנת מושגי יסוד בלבד	מחלקות סיבוכיות, ניסוח בעיית $NP=P$	
2	סה"כ:			

פרק 7 : אלגוריתמים הסתברותיים II

[סילבוס מקוצר • סיכום שעות הוראה](#)

שעות הוראה		נושא
הרחבה	ליבה	
0	1	7.1 מבוא
4	3	7.2 שרשראות מרקוב
3	9	7.3. מודל מרקוב חבוי (HMM)
7	13	סה"כ :

7 אלגוריתמים הסתברותיים II				
פירוט	מושגים	מטרות אופרטיביות	פעילויות	שעות הוראה
7.1. מבוא				
מוטיבציה ותכונת מרקוב: תהליכים הסתברותיים שהם intractable וההנחה המרקוביאנית, הגדרת תהליך מרקוביאני	– תכונת מרקוב – חוסר זיכרון בהסתברות	התלמיד יבין מה הם תהליכים מרקוביאניים, את המושגים שקשורים אליהם, ומה הרלוונטיות שלהם.	תרגיל בזיהוי תופעות עם תכונת מרקוב ותופעות ללא התכונה	1
			סה"כ:	1
7.2. שרשראות מרקוב				
7.2.1 הגדרת שרשרת מרקוב והסתברות מעבר, דוגמאות עם מזג אוויר	– שרשרת מרקוב דיסקרטית – הסתברות מעבר	התלמיד יבין ויוכל להגדיר בצורה מדויקת מה הן שרשראות מרקוב	תרגיל בחיזוי מזג אוויר בעזרת שרשרת מרקוב	3
7.2.2 שיטות שרשראות-מרקוב-מונטה-קרלו (MCMC)	– הסתברות פוסטריורית – פונקציית התפלגות	התלמיד יכיר ברמה יישומית שיטות MCMC פשוטות	תרגיל במציאת פונקציית ההתפלגות של הגובה הממוצע של בני אדם	4
			סה"כ:	7
7.3. מודל מרקוב חבוי (HMM)				
7.3.1 הגדרת מודל מרקוב חבוי	מודל מרקוב חבוי, מצב חבוי	התלמיד יכיר ויתרגל מודלי מרקוב חבויים ואת האלגוריתמים הנפוצים שמשתמשים בהם עם המודל		1
7.3.2 בעיית ההערכה ואלגוריתם קדימה (forward algorithm)			תרגיל בחיזוי מזג אוויר בעזרת HMM	4
7.3.3 בעיית הפענוח ואלגוריתם ויטרבי (Viterbi algorithm)	דיאגרמת טרליס (Trellis diagram)		זיהוי רצפים ביולוגיים (כגון רצפי DNA) בעזרת אלגוריתם ויטרבי	4
7.3.4 בעיית הלמידה, קריטריון הנראות המקסימלית	קריטריון הנראות המקסימלית (maximum likelihood criterion)			3

12	סה"כ:			
----	-------	--	--	--

פרק 8 : אוטומטים תאיים (cellular automata)

[סילבוס מקוצר](#) • [סיכום שעות הוראה](#)

שעות הוראה		נושא
הרחבה	ליבה	
0	10	8.1 מבוא
0	10	8.2 אוטומט תאי חד-ממדי
0	15	8.3 מידול עומס תנועה בעזרת אוטומט חד-ממדי
0	10	8.4 אוטומטים דו-ממדיים
5	0	8.5 self-organized criticality
10	0	8.6 מודל החלחול (פרקולציה)
10	0	8.7 מיני-פרויקט בנושא אוטומט תאי
25	45	סה"כ :

8 אוטומטים תאיים (cellular automata)				
פירוט	מושגים	מטרות אופרטיביות	פעילויות	שעות הוראה
8.1. מבוא				
– היסטוריה של אוטומטים תאיים (von Neumann, Ulam) – אוטומט תאי של Langton - מודל לשכפול תאי בסיסי – מגוון היישומים של המודל – מבוא למערכות מורכבות – סטיבן וולפרם ו-"A New Kind of Science" – פרקטלים	– אוטומט תאי (cellular automaton) – מערכת מורכבת (complex system) – התארגנות עצמית (self-organization) – התהוות (emergence)	התלמיד יכיר את ההיסטוריה והגדרות בסיסיות של אוטומטים תאיים, מה השימושים הנפוצים שלהם, והיתרונות בלהשתמש במערכות כאלו למידול תופעות מורכבות ומתהוות		10
			סה"כ:	10
8.2. אוטומט תאי חד-ממדי				
– אוטומט בינארי פשוט – חקר אוטומטים חד-ממדיים: התנהגות פשוטה, מחזורית, כאוטית, התארגנות עצמית	– תנאי השפה: מחזוריים, בעלי ערך קבוע, מחזוריים – כללי וולפרם	התלמיד יכיר ויתרגל דרך הכנת סימולציה את המושגים והתנהגות של אוטומטים חד-ממדיים	– ייצוג ויזואלי של אוטומט תאי חד-ממדי באמצעות imshow() – משולש סירפינסקי באמצעות Rule 90	10
			סה"כ:	10
8.3. מידול עומס תנועה בעזרת אוטומט חד-ממדי				
– מידול עומסי תנועה (traffic models) – מודל Nagel-Schreckenberg חד-ממדי – ניתוח תוצאות. חישוב גדלים מקרוסקופיים: המהירות הממוצעת, שטף, צפיפות עומס התנועה	– מהירות ממוצעת – שטף – צפיפות עומס תנועה	התלמיד יכיר ויתרגל מידול תנועה בעזרת אוטומטים תאיים	– אוטומט פשוט עם תנאי שפה המחזוריים; מודל NS – חקר עומסי התנועה – צומת עם שני רחובות דו-סיטריים	15
			סה"כ:	15

8.4 אוטומטים דו-ממדיים				
10	ניתוח מודל לשריפת יער	התלמיד יכיר ויתרגל דרך הכנת סימולציה את המושגים והתנהגות של אוטומטים דו-ממדיים	– רדיוס האוטומט – שכנים (von Neumann, Moore ועוד) – כלל זוגיות (Parity rule)	– משחק החיים של קוננוי – התארגנות עצמית – מידול שריפת יער בעזרת אוטומט דו-ממדי
10	סה"כ:			
self-organized criticality 8.5				
5		התלמיד יכיר מושגים הקשורים למעברי פזה ומשמעותם בהקשר של אוטומטים תאיים	מעברי פזה	– מעברי פאזה מסדר ראשון ושני – מאפיינים של מצב קריטי – עקרון פארטו והתפלגות חזקתית – חוק זיף (Zipf's Law)
5	סה"כ:			
8.6 מודל החלחול (פרקולציה)				
10	– חישוב סף החלחול בסריג דו-ממדי – חישוב התפלגות גודל הצבירים	התלמיד יכיר ברמה חישובית ויישומית מושגים הקשורים לחלחול ואיך הם מתבטאים במודלים שונים	– חלחול (percolation) – צביר (cluster) – צביר מחלחל (spanning cluster) – סף החלחול – מערכים קריטיים (critical exponents)	– התפלגות גודל הצבירים באוטומט חד-ממדי – אלגוריתם Hoshen-Kopelman – התפלגות צבירים באוטומט דו-ממדי – סיכוי לחלחול בסריג דו-ממדי
10	סה"כ:			
8.7 מיני-פרויקט בנושא אוטומט תאי				
בהנחיה אישית				

פרק 9 : מבני נתונים ותכנות מונחה עצמים

שעות הוראה		נושא
הרחבה	ליבה	
0	2	9.1 מבוא למבני נתונים
0	2	9.2 מערך ורשימה מקושרת
0	4	9.3 ערימה ומחסנית
2	10	9.4 גרפים
0	4	9.5 עצים
4	0	9.6 מבני נתונים ל-big data
0	8	9.7 תכנות מונחה עצמים (OOP)
6	30	סה"כ :

9 מבני נתונים ותכנות מונחה עצמים				
פירוט	מושגים	מטרות אופרטיביות	פעילויות	שעות הוראה
9.1. מבוא למבני נתונים				
- שימושים במבני נתונים שונים לפתירת בעיות - חשיבות של זמן ריצה/זיכרון בבעיות שונות	- מבנה נתונים - המקרה הכי גרוע בניגוד למקרה ממוצע	התלמיד יכיר ברמה כללית מבני נתונים שונים, סוגי הסיבוכיות שיש, ואת חשיבותן בניתוח אלגוריתמים		2
			סה"כ:	2
9.2. מערך ורשימה מקושרת				
- יתרונות וחסרונות במערכים ורשימות מקושרות - שימושים של כל אחד מהמבנים האלו	- מערך - רשימה מקושרת חד-כיוונית ודו-כיוונית - Pointer	התלמיד יכיר ויתרגל שימוש במבני הנתונים האלו	בניית רשימה מקושרת בפיתון והשוואה בינה ובין רשימות/מערכי numpy	2
			סה"כ:	2
9.3. ערימה ומחסנית				
מבני נתונים של ערימה ומחסנית והשימושים שלהם	- ערימה - מחסנית - FIFO ו-LIFO - infix ו-postfix עבור ביטויים אריתמטיים	התלמיד יכיר ויתרגל שימוש במבני הנתונים האלו	יצירת מחסנית מרשימה מקושרת וחישוב ביטויים פשוטים בעזרתה.	4
			סה"כ:	4
6.1. גרפים				
6.1.1. מבוא והגדרות: בעיית גשרי קוניגסברג, הגדרת מושג הגרף ומושגים רלוונטים אחרים	- קודקוד, קשת, גרף, קשת ממושקלת - גרף מכוון ולא מכוון - מסלול אוילריאני	התלמיד יכיר ויתרגל שימוש בגרפים לפתרון בעיות שונות	תרגיל בזיהוי האם בגרף יש מסלול אוילריאני ומציאת מספר רכיבי קשירות	2

			– דרגה – רכיב קשירות	
4	- תרגיל בפתרון מבוך - מציאת מסלול הכי קצר בין תחנות אוטובוס - בניית עצים פילוגנטיים על סמך מטריצת מרחק (שנלמדו) ומציאת העץ הקצר ביותר		חיפוש DFS ו-BFS, מסלול קצר ביותר	6.1.2. <u>אלגוריתמים העוסקים במסלולים בגרפים</u> : קיום מסלול בגרף בין שני קדקודים, מציאת מסלול בין שני קדקודים, מציאת מסלול הכי קצר
4	תרגיל בלפתור את הבעיה בעזרת אלגוריתם חמדני		– traveling salesman problem – TSP – היוריסטיקה – מינימום לוקלי וגלובלי – אלגוריתם חמדני – פתרון אופטימלי ומקורב	6.1.3. <u>בעיית הסוכן הנוסע</u> : בעיית הסוכן הנוסע, הקשיים בלפתור אותה, ופתרונות היוריסטיים
2	תרגיל בלנסות לפתור את הבעיה בעזרת אלגוריתמים היוריסטיים יותר חכמים	התלמיד יכיר ויתרגל היוריסטיקות לפתרון בעיות אלו	– היוריסטיקת 2-opt – simulated annealing	6.1.4. <u>נושאים מתקדמים</u> : היוריסטיקות יותר חכמות עבור בעיית הסוכן הנוסע
12	סה"כ:			
6.2. עצים				
4	שימוש בעץ חיפוש בינארי בכדי לפענח קוד מורס	התלמיד יכיר ויתרגל שימוש בעצים	– עץ – עץ בינארי, עץ חיפוש בינארי	– עצים ובפרט עצים בינאריים – מימוש אלגוריתמי שלהם
4	סה"כ:			
6.3. מבני נתונים ל-big data				
4	התנסות בהפעלת פעולות בסיסיות על מבני נתונים גדולים	התלמיד יכיר ויתרגל שימוש ב-pandas ואת מתודולוגיית העבודה עם הספרייה	– ספריית pandas – DataFrames – split-apply-combine	היכרות עם ספריית pandas וכלים בסיסיים להתמודדות עם big data

4	סה"כ:			
6.4. תכנות מונחה עצמים (OOP)				
2	תרגילים ביצירת ויישום אובייקטים שונים	התלמיד יתרגל ויבין מה הם אובייקטים, מדוע הם עוזרים להקל על מגוון משימות תכנות, איך להשתמש בהם בצורה נכונה, ואת העקרונות השונים בעת יישומם	– מחלקה – constructor – תכונות ומתודות של מחלקה – כימוס (encapsulation)	6.4.1. הגדרת אובייקט ושימושיו
2			– ירושה – מחלקת אב – משתנים פרטיים ומשתנים פומביים	6.4.2. ירושה ושימושיה
4			– פולימורפיזם – העמסה (overloading) – אבסטרקציה, מחלקה אבסטרקטית	6.4.3. פולימורפיזם ומחלקות אבסטרקטיות
8	סה"כ:			

שעות הוראה		נושא
הרחבה	ליבה	
2	0	10.1 מבוא לסדרות עתיות (time series)
6	0	10.2 מגמות ושיטות החלקה (smoothing)
10	0	10.3 ניתוח בתחום התדרים (עונתיות)
8	0	10.4 אוטוקורלציה : מודלי AR ו-ARMA
6	0	10.5 חיזוי תוצאות בינאריות
5	0	10.6 הערכת דיוק החיזוי
37	0	

10 חיזוי (forecasting)				
פירוט	מושגים	מטרות אופרטיביות	פעילויות	שעות הוראה
10.1. מבוא לסדרות עתיות (time series)				
– סוגים של סדרות עתיות (דוגמאות) – ויזואליזציה של סדרות עתיות – תפקיד החיזוי	אינטרפולציה, אקסטרפולציה			2
			סה"כ:	2
10.2. מגמות ושיטות החלקה (smoothing)				
– זיהוי מגמה (trend) – שיטת הממוצע הנע (moving average) – מגמות פולינומיאליות ואחרות – חיזוי בעזרת מגמה – ניקוי מגמה מנתונים	– רגרסיה (שיטת הריבועים הפחותים) – התאמת יתר (overfitting) והתאמת חסר (underfitting)			6
			סה"כ:	6
10.3. ניתוח בתחום התדרים (עונתיות)				
– אוטוקורלציה – אנליזת פורייה – מניפולציה של נתונים בתחום התדרים				10
			סה"כ:	10
10.4. אוטוקורלציה: מודלי AR ו-ARMA				
מודלים אוטו-רגרסיביים (AR ו-ARIMA)				8
			סה"כ:	8
10.5. חיזוי תוצאות בינאריות				

6				– שיטות לחיזוי מאורעות בינאריים – שיטות להערכת הביצוע של מודלים לחיזוי בינארי
6	סה"כ:			
10.6. הערכת דיוק החיזוי				
5				שיטות להערכת דיוק החיזוי
5	סה"כ:			

פרק 11 : מבוא אופטימיזציה

[סילבוס מקוצר](#) • [סיכום שעות הוראה](#)

שעות הוראה		נושא
הרחבה	ליבה	
0	10	11.1 מבוא
0	5	11.2 מציאת מינימום של פונקציה
15	0	11.3 מבוא לגרפים
0	10	11.4 אלגוריתמי אופטימיזציה מבוססי גרדיאנט I
0	17	11.5 מבוא לאלגברה לינארית
0	10	11.6 אלגוריתמי אופטימיזציה מבוססי גרדיאנט II
10	0	11.7 שימוש באלגוריתמים אבולוציוניים לבעיות אופטימיזציה
0	10	11.8 בעיות אופטימיזציה עם אילוצים; תכנות לינארי
25	62	סה"כ :

11 מבוא לאופטימיזציה				
פירוט	מושגים	מטרות אופרטיביות	פעילויות	שעות הוראה
11.1 מבוא				
- מהי אופטימיזציה? דוגמאות לבעיות אופטימיזציה. - למידה מכונה מודרכת כבעיית אופטימיזציה - רשת נוירונים - הגדרה מתמטית של בעיית האופטימיזציה - רגרסיה לינארית ושיטת הריבועים הפחותים	- למידה מודרכת - סט אימון - פונקציית עלות (פונקציית מטרה) - אילוצים - פונקציה קמורה	התלמיד יבין מושגי יסוד באופטימיזציה, מושגי יסוד בלמידה מכונה, ויתרגל יישום של שיטות פשוטות כגון רגרסיה לינארית והוכחת קמירות של פונקציה	- תרגילים בהוכחת וזיהוי קמירות של פונקציות - חישוב רגרסיה לינארית לבעיות מספריות פשוטות	10
			סה"כ:	10
11.2 מציאת מינימום של פונקציה				
- נקודת מינימום לוקלית ונקודת מינימום גלובלית - תנאים הכרחיים ומספקים למציאת מינימום - אלגוריתמים למציאת מינימום בפונקציה של משתנה יחיד: ניוטון-רפסון, אינטרפולציה.		התלמיד יבין כיצד ויתרגל מציאת מינימום של פונקציה בעזרת השיטות המוזכרות	תרגיל במציאת מינימום לפונקציה בעזרת השיטות השונות שמוזכרות והשוואה ביניהן	5
			סה"כ:	5
11.3 מבוא לבעיות בגרפים				
- בעיית הגשרים של קניגסברג כבעיית האופטימיזציה. מידול הבעיה באמצעות גרפים. - מידול באמצעות גרפים. דוגמאות.	- גרף, קודקודים וצמתים, קשתות. - גרף מכוון, לא מכוון, ממושקל, קשיר. - שכנים	התלמיד יכיר את הבעיות הנפוצות השונות בגרפים ויתרגל פתרון שלהן בעזרת היוריסטיקות שונות	- תרגילים במימוש אלגוריתמי החיפוש ומציאת מסלולים השונים	15

	- תרגיל באופטימיזציה היוריסטית של בעיות שונות		- דרגה של צומת מסלול, מעגל. - האלגוריתם של דייקסטרה. - סריקה לעומק, סריקה לרוחב.	- מציאת המסלול הקצר ביותר בגרף לא ממושקל. - אלגוריתם חיפוש לרוחב (BFS). - אלגוריתם חיפוש לעומק (DFS). - מציאת המסלול הקצר ביותר בגרף ממושקל. - בעיית הסוכן הנוסע אותה
15	סה"כ:			
11.4 אלגוריתמי אופטימיזציה מבוססי גרדיאנט I				
10	- מציאת מינימום של פונקציית Rosenbrock. התכנסות האלגוריתם. - תרגיל השוואה בין שיטת הירידה התלולה לשיטת ניוטון.	התלמיד ידע לחשב נגזרות חלקיות וגרדיאנטים של פונקציות ולהשתמש בהם כדי ליישם את שיטת הירידה התלולה ביותר	- נגזרות חלקיות - נגזרת כיוונית וגרדיאנט	- שיטת הירידה התלולה ביותר (gradient descent). - התכנסות האלגוריתם. - השוואה בין שיטת ניוטון והירידה התלולה.
10	סה"כ:			
11.5 מבוא לאלגברה לינארית				
17		התלמיד יכיר את המושגים המוזכרים ויתרגל פתרון בעיות מספריות בעזרתם	- מטריצה - מטריצה הפיכה - מטריצה סינגולרית - דטרמיננטה - ערכים ווקטורים עצמיים	- מערכת משוואות לינאריות בכתוב מטריוני. - ווקטורים במישור ובמרחב, חיבור וכפל בסקלר. - משמעות גאומטרית של פתרון מערכת משוואות לינאריות. - אלגברה של מטריצות.

			- מטריצה חיובית מוגדרת (positive definite)	- דטרמיננטה של מטריצה. כלל קרמר של פתרון מערכת משוואות. - מציאת מטריצה הפוכה ע"י שימוש בדטרמיננטה. - העתקה לינארית. - מטריצת סיבוב. - ערכים ווקטורים עצמיים של מטריצות (אופרטורים). - לכסון מטריצה ריבועית. - מטריצה חיובית מוגדרת.
17	סה"כ:			
11.6 אלגוריתמי אופטימיזציה מבוססי גרדיאנט II				
10		התלמיד יכיר את השיטות השונות ויתרגל יישומים חישוביים שלהם	מבנה ריבועי (quadratic form)	- פתרון מערכת משוואות לינאריות כבעיית המינימיזציה של מבנה ריבועי. שיטת הירידה הטלולה בניסוח מטריציוני. - אלגוריתם הגרדיאנטים הצמודים (Conjugate-Gradient). התכנסות האלגוריתם. - אלגוריתם הגרדיאנט הסטוכסטי (Stochastic Gradient Descent). השוואה בין השיטות.
10	סה"כ:			

11.7 שימוש באלגוריתמים אבולוציוניים לבעיות אופטימיזציה				
10	תרגיל בפתרון בעיית הגנב (Knapsack problem) בעזרת אלגוריתם אבולוציוני.		- זיווג (Crossover) - מוטציה (Mutation) - שיערוך (Evaluation) - שכפול - שחלוף - פונקציה כשירות (fitness function)	- אלגוריתם גנטי בסיסי. - אלגוריתם אבולוציוני כללי. תנאי עצירת האלגוריתם. - אילו סוגי בעיות ניתן לפתור בעזרת אלגוריתמים גנטיים.
10	סה"כ:			
11.8 בעיות אופטימיזציה עם אילוצים. תכנות לינארי.				
10		התלמיד יתרגל מציאת פתרונות אנליטיים לבעיות מאולצות פשוטות ובאופן חישובי לכאלו מרובות אילוצים	- אילוץ - כופל לגרנג'	- אלגוריתמים נומריים לפתרון בעיות עם אילוצים. שיטות המחיר והמחסום (Penalty, Barrier). - אלגוריתם ה-Simplex.
10	סה"כ:			

פרק 12 : מערכות דינמיות II – מערכות רציפות

שעות הוראה		נושא
הרחבה	ליבה	
0	5	12.1 שיטות נומריות לפתרון משוואות דיפרנציאליות מסדר ראשון
0	15	12.2 שיטות נומריות לפתרון משוואות דיפרנציאליות מסדר שני
15	0	12.3 מערכות דינמיות וכאוס
15	20	סה"כ :

12 מערכו דינמיות II : מערכות רציפות				
פירוט	מושגים	מטרות אופרטיביות	פעילויות	שעות הוראה
12.1 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות מסדר ראשון				
- מערכת דינמית בזמן רציף. משוואה דיפרנציאלית כתחליף של משוואת ההפרשים - פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות מסדר ראשון בעלות משתנה יחיד בשיטת אוילר - אנליזת השגיאה לשיטת אוילר. התכנסות ויציבות השיטה	- משוואה דיפרנציאלית מסדר ראשון - שיטת אוילר - שגיאת עיגול (roundoff error) - שגיאת קיטוע (truncation error)	התלמידים יבינו מושגי יסוד בקשר למשוואות דיפרנציאליות ומשוואות הפרשים. התלמידים יבינו את האלגוריתם של אוילר לפתרון משוואות דיפרנציאליות.	- פתרון נומרי עבור התפרקות רדיואקטיבית. השוואה לפתרון האנליטי. אוילר. אנליזת שגיאה של שיטת בעיית קירור קפה	5
			סה"כ:	5
12.2 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות מסדר שני				
- פתרון משוואת התנועה. תנועה בתווך צמיג - אי יציבות של שיטת אוילר עבור מערכת אוסצילטורית - שיטות צעד אחד מסדר גבוה (רונגה-קוטה) - התכנסות ויציבות השיטה - שיטות רב-צעדיות (חיזוי-תיקון). - יציבות והתכנסות השיטה - שימוש ב-odeint של scipy לפתרון משוואות דיפרנציאליות רגילות	- שיטת רונגה-קוטה - שיטת חיזוי-תיקון - מרחב פאזה	התלמידים ילמדו לעשות שימוש באלגוריתם רונגה-קוטה באמצעות הפותר ode45 של פייתון	- פתרון משוואת התנועה בתווך. מידול תנועה בליסטית באוויר - פתרון משוואת התנועה עבור מתנד הרמוני מרוסן - ניתוח השגיאה בשיטה הנומרית מיני-פרויקטים : תגובות בתגובות כימיות, מודל Hodgkin and Huxley לתגובה חשמלית של תא עצב	15

15	סה"כ:			
12.3 מערכות דינמיות לא לינאריות וכאוס				
15		התלמידים יבינו מושגי יסוד בתורת הכאוס ואת הקשר שלהם למערכות דינמיות.	- מיפוי - מערכת דטרמיניסטית - אקריות - רגישות לתנאי ההתחלה - Cobweb plot - נקודות שבת (fixed points) - מושכים (attractors) - ביפורקציות - אקספוננט ליאפונוב	- בחזרה למשוואה הלוגיסטית. כאוס במערכת חד-ממדית. נקודות שבת ויציבות לינארית. דיאגרמת ביפורקציות. אוניברסליות וקבוע פייגנבאום. מדידת כאוס ואקספוננט ליאפונוב - כאוס במערכות דו-ממדיות. מודל לורנץ - מתנד מרוסן מאולץ ומטוטלת כפול - פרקטלים
15	סה"כ:			

פרק 13 : למידת מכונה (machine learning)

שעות הוראה		נושא
הרחבה	ליבה	
0	2	13.1 מבוא למדעי הנתונים ולמידה חישובית. מושגי יסוד.
0	2	13.2 למידה מונחית. סיווג. למידה מונחית. רגרסיה.
0	15	13.3 למידה מונחית. סיווג
0	15	13.4 למידה מונחית. רגרסיה
0	10	13.5 רשתות נוירונים
0	6	13.6 אלגוריתם מכונת וקטורים תומכים (SVM) ושיטות גרעין
0	8	13.7 למידה לא מונחית. ניתוח גורמים ראשיים (Principal Component Analysis).
0	12	13.8 למידה לא מונחית. ניתוח אשכולות.
0	70	סה"כ :

13 למידת מכונה (machine learning)				
פירוט	מושגים	מטרות אופרטיביות	פעילויות	שעות הוראה
13.1. מבוא למדעי הנתונים ולמידה חישובית. מושגי יסוד				
- מהם מדעי הנתונים ויישומיהם. - מהי למידה חישובית (למידת מכונה). היסטוריה: פרספטרון, מודל נוירוני של McCulloch ו-Pitt וחסרונו. "חורף בינה מלאכותית". - דוגמאות לבעיות שניתן לפתור באמצעות למידה חישובית ויתרונה על פני אלגוריתמים קלאסיים.	- מדעי הנתונים - למידת מכונה - פרספטרון	התלמיד יבין מה הם מדעי הנתונים ולמידת מכונה, כיך את ההיסטוריה של התחום, מה הן סוגי הבעיות שהולם לפתור בעזרת כלים אלו, מה הוא פרספטרון, ואילו בעיות הוא יכול ולא יכול לפתור.	צפייה בראיון עם Tom Mitchel http://videolectures.net/mlas06_mitchell_itm	2
			סה"כ:	2
13.2. למידה מונחית. סיווג. למידה מונחית. רגרסיה.				
- סוגי למידה חישובית. - טקסונומיה של למידה חישובית. ניסוח בעיה במונחים של למידה חישובית. - למידה מונחית. רגרסיה לעומת סיווג.	- למידה מונחית (supervised) - למידה בלתי מונחית (unsupervised) - למידת חיזוק (reinforcement) - למידה אבולוציונית (evolutionary) - סיווג (classification) - רגרסיה - אשכול (clustering)	התלמיד יכיר את מושגי היסוד הנתונים בלמידת מכונה ויבין כיצד לסווג בעיה בהתאם לקלט ופלט שנדרשים בה		2
			סה"כ:	2
13.3. למידה מונחית. סיווג.				
- למידה מכונה מונחית כבעיית סיווג.	- ווקטור מאפיינים (features) - משקל	התלמיד יכיר את המושגים הנתונים ברמה יישומית, יישם ויתרגל	- הכרות עם ספריית Pandas ותרגילים עם נתונים טבלאיים.	15

	- בעיית סיווג בינאריות. אלגוריתם השכן הקרוב (KNN). יתרונות וחסרונות של האלגוריתם. - קללת הממדיות. - פרספטרון. היסטוריה. אלגוריתם למידה ראשון עבור נתונים הניתנים להפרדה לינארית. התכנסות האלגוריתם. - אלגוריתם הכיס (pocket algorithm), פרספטרון בעל יציבות מקסימלית. - עיבוד מקדים (preprocessing), טריק הגרעין (kernel trick). - רגרסיה לוגיסטית - regularization - סיווג רב-קבוצתי. - מדדי ביצוע של מסווג	- משתנה מטרה (target) - מדגם אימון (training set) - פונקציית הפסד (loss function) - קצב למידה (learning rate) - הטיות (bias) - מפריד (מסווג) לינארי ומישור-על - מטריקת מרחק, מרחק מינקובסקי - גרעין (kernel) - Confusion matrix	- שימוש ב-KNN ואלגוריתמי סיווג אחרים לפתרון בעיות, מה זה וכיצד לבצע עיבוד מקדים, מה הוא וכיצד להשתמש בטריק הגרעין, ואיך למדוד ביצוע של מסווג	- ניתוח נתוני שיעתוק מתא יחיד בעזרת KNN - שימוש ב-KNN עבור נתונים משוק המניות. (Smarket). - שימוש בנתוני ביטוח-Caravan. - יישום אלגוריתמי הסיווג השונים על נתוני הספרייה IrisData. השוואה בין האלגוריתמים. - פרספטרון ובעיית ה-XOR. - יישום רגרסיה לוגיסטית לבעיית סיווג רב-קבוצתית (Irisdata) - שימוש במודול sklearn.
15	סה"כ:			
13.4. למידה מונחית; רגרסיה				
15	- למידת מכונה מונחית כבעיית אופטימיזציה. - הגדרת מודל ניבוי - רגרסיה לינארית פשוטה. משוואות נורמליות. שיטת הריבועים הפחותים. - מודלים סטטיסטיים לשגיאות. חישוב שגיאת ניבוי ורמת דיוק. - שיטת הירידה התלולה (Gradient Descent).	- שגיאת מבחן (variance) - התאמת יתר (overfitting) - התאמת חסר (underfitting) - נרמול משקלים	- התלמיד יבין את המושגים הנתונים וידע ליישם אותם בניתוח התוצאות של אלגוריתם לומד, יבין מה היא בעיית אופטימיזציה ושיטות נפוצות לפתרון בעיות כאלו, יישם ויתרגל שימוש בשיטות כאלו, ויבין מה היתרונות והחסרונות של האלגוריתמים השונים	- שימוש ברגרסיה לינארית פשוטה לניתוח מחירי בתים (Boston data). - שימוש ב-statsmodels.api. - ניתוח מחירי בתים עם נתונים מרובי משתנים.

				- אלגוריתם הגרדיאנטים הצמודים (Conjugate-Gradient). התכנסות האלגוריתם. - אלגוריתם הגרדיאנט הסטוכסטי (Stochastic Gradient Descent). השוואה בין השיטות. - רגרסיה לינארית מרובת משתנים. - רגרסיה לא לינארית.
15	סה"כ:			
10	- מימוש MLP לניבוי עובי שכבת האוזון - דחיסת נתונים (תרגילים)	התלמיד יכיר את הרקע ההיסטורי ללמידה עמוקה ואת השימושים המודרניים שלה. התלמיד יתרגל מימוש של רשת נוירונים, יבין כיצד ניתן לבצע הפרדה לא לינארית, ויבין מה הוא וכיצד להשתמש ב-SVM בגרסאותיו השונות	שכבת כניסה, שכבה חבויה, שכבת יציאה	- מוטיבציה. רקע היסטורי. למידה עמוקה (deep learning) - כיצד ניתן להפוך מפריד לינארי ללא לינארי? - מבנה רשת נוירונים. - רשת נוירונים עם זרימה קדימה (feed-forward). - אלגוריתם back-propagation. שימוש בגרדיאנט הסטוכסטי. - מוטיבציה. אלגוריתם למציאת מפריד לינארי בעל השוליים הרחבים ביותר: Hard-SVM. - שימוש ב-soft SVM למדגם לא פריד. מזעור קבוע ענישה. - שיטות גרעין. סוגי גרעין שונים.
10	סה"כ:			
13.6. אלגוריתם מכונת וקטורים תומכים (SVM) ושיטות גרעין				
6	תרגיל זיהוי כתב יד בעזרת SVM	התלמיד יכיר ויישם SVM בגרסאותיו השונות, יכיר את סוגי פונקציות ההפסד השונות, יישם SVM	- מכונת וקטורים תומכים support vector machines (SVM) - הפרדה רכה (soft margin)	- מוטיבציה. מהו המפריד האופטימלי?

		- הפרדה קשיחה (hard margin) - hinge loss - קבוע ענישה (penalty) לבעיית קלסיפיקציה, ויבין מה יתרונותיו וחסרונותיו על פני שיטות אחרות	- אלגוריתם למציאת מפריד לינארי בעל השוליים הרחבים ביותר (Large Margin Classification) - Hard-SVM - שימוש ב-soft SVM למדגם לא פריד. מזעור קבוע ענישה. - שיטות גרעין. סוגי גרעין שונים. - השוואה בין SVM לרגרסיה לוגיסטית
6	סה"כ:		
13.7. למידה בלתי מונחית; ניתוח גורמים ראשיים (Principal Component Analysis - PCA)			
8		התלמיד יכיר ברמה היישומית את PCA ואת העקרונות בשיטות להורדת ממד, יתרגל פירוק לערכים סינגולריים, יבין כיצד להעריך מודל בלמידה בלתי מונחית, וכיצד באופן אפקטיבי לעשות ויזואליזציה של נתונים.	- מוטיבציה. דחיסת נתונים (Data compression) ויזואליזציה של נתונים. - ניתוח גורמים ראשיים כשיטה להורדת ממד; אלגוריתם PCA. - מרכז של מדגם - הערכת ביצוע המודל - הטלות מקריות
8	סה"כ:		
13.8. למידה בלתי מונחית; ניתוח אשכולות (clustering)			
12	- יישום אלגוריתמי האשכול עבור מערכי נתונים שונים. cell line NCI60 cancer - שימוש בממדים השונים כדי לבחון את מספר האשכולות הנכון עבור מערך נתונים שמאושכל בעזרת k מרכזים. - שימוש במטריקות מרחק שונות. - תרגיל באשכול מילים למילה שהם הכי דומות אליה (תיקון שגיאות כתיב).	התלמיד ילמד מהו אשכול, יכיר את האלגוריתמים הנפוצים בתחום ויישם את חלקם, יכיר וישתמש במטריקות מרחק שונות באלגוריתמי אשכול שונים, את שארית המושגים הנתונים, וכיצד לזהות חריגים	- מהו "אשכול"? המטרה הכללית, יישומים, תכנות אלגוריתמי אשכול. - אשכול נקודות מופלגות במרחב. - מדדים לאיכות אשכול. - אשכול עם מטריקות מרחק שונות. יתרונות וחסרונות של מטריקות שונות. - אשכול (clustering) - אלגוריתם k-מרכזים (k-means) - אלגוריתם DBSCAN. - מטריקות מרחק - ניתוח אשכולות היררכי (hierarchical agglomerative clustering) - מודל מבוסס צפיפות

	- תרגיל באשכול מאמרים. תרגיל באשכול תלמידים לחדרי פנימייה.	בעזרת אלגוריתמים כאלו	- מודל מבוסס מרכז הכובד - האלגוריתם של קוהנון (SOM) - חריג חשוד טעות (outlier)	- אשכול תכונות. המרה של תכונות למידע מרחבי ושימוש במטריקות מרחק. - זיהוי חריגים (Anomaly detection) (הרחבה)
12	סה"כ:			

9. מקורות

להלן רשימת המקורות בהם נעזרנו בבניית תוכנית הלימודים.

מקורות בשפה העברית:

מבוא לאלגוריתמים – פרקים 1-14. האוניברסיטה הפתוחה. 2008

מקורות בשפה האנגלית:

- [1] Johansson, R. (2019). *Numerical Python: Scientific computing and data science applications with Numpy, SciPy and Matplotlib*. Apress.
- [2] Jones, M. (2015). *Python for biologists*. CreateSpace.
- [3] Jones, M. (2014). *Advanced Python for biologists*. CreateSpace.
- [4] Langtangen, H. P. (2018). *A Primer on Scientific Programming with Python*. Springer Berlin.
- [5] Mirjalili, S. (2019). *Python Machine Learning – 3rd ed.: Machine learning and deep learning with Python, scikit-learn and Tensorflow 2*. Packt Publishing Limited.
- [6] Osais, Y. (2020). *Computer Simulation – a Foundational Approach Using Python*. CRC Press.
- [7] Petrou, M. (2020). *PANDAS 1.X Cookbook: Practical recipes for scientific computing, time series and exploratory data analysis using Python*. Packt Publishing Limited.
- [8] Roughgarden, T. (2017). *Algorithms illuminated – Parts 1-4*. Soundlikeyourself Publishing.
- [9] Russell, Stuart J, and Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Noida, India, Pearson India Education Services Pvt. Ltd, 2018.
- [10] Shmueli, G. (2018). *Practical time series forecasting: a hands-on guide*. Axelrod Schnall Publishers.
- [11] Wing, J. M. (2006). *Computational thinking*. Communications of the ACM, 49(3), 33.

