משרד החינוך
המינהל הפדגוגי
האגף למחוננים ולמצטיינים

מכון הנרייטה סאלד
וכון הארצי למחקר במדעי ההתנהגות

במעגל היצירה

המחזור הרביעי של תכנית מנחים-עמיתים לטיפוח מחוננים בישראל

סיכום הפעילות בשנת תשע"ה-תשע"ו – 2015

מר מנחם נדלר

ד"ר רחל זורמן

ציפי בשן

ד"ר עידית מני-איקן

יועצת חינוכית: אפרת גולן

מרץ 2016

תוכן העניינים

חלק א: תיאור התכנית 5

חלק ב: הערכת התכנית 9

חלק ג: תקצירי עבודות החניכים 13

מדעים מדויקים ומדעי החיים 15

1. **Specific responses of inflammatory Macrophages to IFN-β 17**

מנחה-עמית: ד"ר עמירם אריאל, אוניברסיטת חיפה

תלמידה: נור אלהודא אבו עריש, פרדיס

2. **מודל משולב להיווצרות רשתות בטבע 21**

מנחה-עמית: ד"ר ברוך ברזל, אוניברסיטת בר אילן, רמת גן

תלמיד: אור אלון, חולון

3. **סדר ועיוותים במישור הגיאומטרי ושימושים בתצוגת נהג 31**

מנחה-עמית: ד"ר אסף דגני, ג'נרל מוטורס, הרצליה

תלמידה: שירה בן דור, ירושלים

4. **בעיית המומחים בתורת המשחקים 37**

מנחה-עמית: פרופ' רוברט קראוטגמר, מכון ויצמן, רחובות

תלמיד: עידן דור, הוד השרון

5. **קשיחות במרחבי L1 והשערת קוזנר 45**

מנחה-עמית: פרופ' ערן נבו, האוניברסיטה העברית, ירושלים

תלמיד: רועי יעקובסון, ירושלים

6. **השפעת המצב ההתחלתי של מערכת תלת גופית של ננסים לבנים על התנגשותם סופרנובות מסוג Ia 53**

מנחה-עמית: ד"ר בועז כץ, מכון ויצמן, רחובות

תלמיד: יובל מרבאום, רחובות

7. **התנהגות חברתית בעטלפים – שינה חברתית במושבות עטלפים 59**

מנחה-עמית: ד"ר יוסי יובל, אוניברסיטת תל אביב

תלמיד: לירן פרלמוטר-שושני, חולון

8. **Attempting to find the active molecule in a phage communication system..65**

מנחה-עמית: פרופ' רותם שורק, מכון ויצמן, רחובות

תלמידה: חן שוקרון, אשדוד

מדעי החברה ומדעי הרוח 93

***9.* רומא ויהודה: מכבש הפרובינקיזציה והמרד הגדול.....95**

מנחה-עמית: ד״ר עידו יזרעלוביץ, אוניברסיטת תל אביב

תלמיד: אגם קדם לוי, כפר סבא

10. מתכונים לרפואה 107

מנחה-עמיתה: ד״ר טובה דיקשטיין, נאות קדומים

תלמידה: עליזה קמישן, חולון

11. ניתוח האוטופיות האנרכיסטיות ״המנושל״ ו״בולו׳בולו״ 115

מנחה-עמית: ד״ר יפתח גולדמן, מכללת דוד ילין, ירושלים

תלמידה: ענבל קרסו, יטבתה

12. מערך המשמעויות של הפועל ״בא״ בעברית המקראית בהשוואה לעברית בת ימינו משמעות ותחביר.....123

מנחה-עמיתה: ד״ר פנינה טרומר, אוניברסיטת תל אביב

תלמיד: עומר שחר, רעננה

13. כוחו של הקול - השמעת קול כמשפיעה על התפתחות זהות מנהיגותית 131

מנחה-עמיתה: ד״ר רונית קרק, אוניברסיטת בר אילן, רמת גן

תלמיד: אופק שפירא, חולון

מוזיקה, אמנות וקולנוע 129

14. ״אום רץ רץ״ - סרט אנימציה קצר.....135

מנחה-עמית: פרופ׳ חנן קמינסקי, אוניברסיטת תל אביב, בצלאל ירושלים, שנקר רמת גן

חניכה: שני רועה, רמת השרון

"הדרך הנכונה לחנך בני אדם היא להיות להם לדוגמה"

אלברט איינשטיין

חלק א: תיאור התכנית

הרקע לתכנית

תלמידים מחוננים יכולים להפיק תועלת ייחודית מיצירת קשר עם מנחה-עמית מקצועי המאפשר להם להתנסות, במחיצתו ובהדרכתו, בשאלת מחקר מתחום הדעת והיצירה שבו הוא מומחה. התפקיד החשוב של מנחים-עמיתים בהצלחתם האקדמית של תלמידים מחוננים מתועד היטב בספרות המחקרית[1] [2]. תפקיד זה בא לידי ביטוי בעבודה אישית צמודה של אנשי מקצוע מן השורה הראשונה עם תלמידים בעלי פוטנציאל יוצא דופן אשר הופכים באופן הדרגתי להיות עמיתים לחקר וליצירה.

מחקרים שונים[3] מצביעים על כך שמנחים-עמיתים יכולים לשחק תפקיד משמעותי בהתפתחותם הרגשית והחברתית של מתבגרים מחוננים, וכן לסייע להם מבחינה מקצועית. בהתאם למודל ההתפתחות של כישרון[4], המתייחס לתהליך של מספר שלבים – מיכולת לקומפטנטיות, למומחיות ולבסוף להישגים יוצאי דופן. מחקרים מראים שבכל אחד מהשלבים, אך במיוחד בשלבים האחרונים, מנחים-עמיתים יכולים לשמש מודלים להזדהות למתבגרים מחוננים ולסייע להם ליישם ידע באופן מעשי, להתנסות בכיווני קריירה מקצועית ולמצוא את קולם הייחודי ואת המקום האישי שלהם.

הנחיה אישית של מנחה-עמית מתייחסת לסוגיות שונות המטרידות מחנכים של תלמידים מחוננים, כגון:

- כיצד להתייחס למגוון תחומי העניין והיכולות של התלמידים?
- כיצד ליצור לתלמידים אלו הזדמנויות להגיע לידע ולאמצעי החקר העדכניים והמתקדמים ביותר על מנת לאפשר להם לרכוש ידע מעשי בתחומי העניין שלהם?
- כיצד לסייע לתלמידים לבחור באופן מושכל את כיוון הקריירה שלהם?
- כיצד לטפח תלמידות מחוננות כשסביבתן אינה מעודדת אותן תמיד לממש את הפוטנציאל שלהן?

---

[1] Bisland, A. (2001). Mentoring: An educational alternative for gifted students. *Gifted Child Today, 24*(4), 22-25.

[2] Hamilton, S. F., & Darling, N. (1996). Mentors in adolescents' lives. In K. Hurrelmann & S. F. Hamilton (Eds.), *Social problems and social contexts in adolescence* (pp. 199-214). Hawthorne, NY: Aldine, De Gruyter.

[3] Casey, K. M. A , & Shore, B. M. (2000). Mentors' contributions to gifted adolescents' affective, social and vocational development. *Roeper Review, 22*(4), 227-230.

[4] Subotnik, R.F., Olszewski-Kubilius, P., & Worrell, F.C. (2011). Rethinking giftedness and gifted education: A proposed direction forward based on psychological science. *Psychological Science in the Public Interest. 12(1),* pp. 3–54.

תכניות של הנחיה אישית לתלמידים מחוננים בארצות הברית ובקנדה הצליחו להתמודד עם סוגיות אלו בקרב אוכלוסייה[5] שרמת המחוננות שלה גבוהה במיוחד[6] [7], ובמיוחד בקרב בנות מחוננות[8] [9].

לאור המחקרים שצוינו לעיל, סבור האגף לתלמידים מחוננים ומצטיינים במשרד החינוך כי תלמידים מחוננים יכולים להפיק תועלת ייחודית מיצירת קשר אישי הדוק עם מנחה-עמית מקצועי, מומחה מן המעלה הראשונה בתחומו, המאפשר להם להתנסות במחקר בתחומי דעת ויצירה. במהלך ההתנסות עשויים התלמידים לפתח יכולות חקר ויצירה שקשה לפתחן בסביבת הכיתה, הן בזכות הליווי האישי של המנחה, הן כתוצאה מהחשיפה למבנה הדעת ולידע העדכני של התחום והן בזכות ההתנסות המעשית עם אתגרים בתחום תוכן מסוים. כל זאת, תוך רכישת כלים להתמודדות עם מכשולים ותסכולים ובלוויית הצלחות ונקודות אור שהתחום מזמן. התנסות זו תסייע לתלמידים מחוננים לממש את הפוטנציאל שלהם ולגבש את זהותם המקצועית לקראת בחירת קריירה עתידית.

מסיבה זו החליט האגף לתלמידים מחוננים ומצטיינים במשרד החינוך ליזום תכנית ארצית ובמסגרתה לאתר ולטפח מתבגרים מחוננים מכל קצות הארץ. למטרה זו הוקמה ועדת היגוי לתכנית שבראשה עומד מנחם נדלר, מנהל האגף. ועדת ההיגוי מסייעת לעצב את מסגרת התכנית ואת עקרונותיה ומלווה את פעילותה. צוות מומחים ממכון סאלד מפעיל את התכנית עבור האגף, החל מינואר 2009, ומעריך אותה בהערכה מעצבת.

מטרת התכנית

מטרת התכנית היא לטפח מנהיגות עתידית בישראל בתחומי תוכן שונים.

יעדי התכנית

1. סיוע לתלמידים מחוננים שיש להם תשוקה וסקרנות עזה להעמיק בתחום עניין מעל ומעבר למצופה, ולממש את הפוטנציאל הטמון בהם.
2. מתן אפשרות לתלמידים מחוננים לבחון לעומק כיוונים שונים לקראת בחירת קריירה עתידית.

---

[5] Conley, J. (2003). Science education programs for middle school and high school students sponsored by the Howard Hughes Medical Institute. In P. Czermely & L. Lederman (Eds.), *Science education: Talent recruitment and public understanding* (pp. 129-137). Amsterdam: IOS Press.

[6] Connolly, P., Szczesniak, E., & Nayak, L. (2003). Mentor, Merlin, muse: Inspiring poets and scientists. The Illinois Mathematics and Science Academy Program. In P. Czermely & L. Lederman (Eds.), *Science education: Talent recruitment and public understanding* (pp. 138-146). Amsterdam: IOS Press

[7] Shmookler, S. R. (2003). Howard Hughes Medical Institute sponsored student and teacher internships at the National Institutes of Health in Bethesda, Maryland, USA. In P. Czermely & L. Lederman (Eds.). *Science education: Talent recruitment and public understanding* (pp. 169-177). Amsterdam: IOS Press

[8] Armour, M. (1987). *Women into science, engineering and technology. Strategies for change at the University of Alberta*. Contributions to the Third Girls Science and Technology (GASAT) conference, Ann Arbor, Michigan.

[9] Sloat, B. F., & Deloughry, C. M. (1985). *Summer internships in the science for high school women*. Ann Arbor, University of Michigan, Center for the Education of Women.

מהלך התכנית

שלב ראשון: יצירת הצמדים מנחה-עמית – תלמיד (נובמבר 2014-ינואר 2015)

המטלה העיקרית בשלב זה הייתה לאתר תלמידים לתכנית ולצוותם למנחים-עמיתים המתאימים ביותר, על בסיס תחומי עניין ונתוני התאמה אישיים.

הקריטריונים שהנחו את מכון סאלד באיתור המועמדים לתכנית הותוו על ידי ועדת ההיגוי של התכנית בשנת 2009, לקראת פתיחת המחזור הראשון של התכנית. בראש הוועדה עומד מנהל האגף לתלמידים מחוננים ומצטיינים במשרד החינוך, מר מנחם נדלר. הוועדה כוללת נציגים ממוסדות להשכלה גבוהה כמו פרופסור דניאל זייפמן, נשיא מכון וייצמן, פרופסור ורדה שושן-ברמץ, מנהלת המכון הלאומי לביו-טכנולוגיה באוניברסיטת בן גוריון, ומפקד תכנית תלפיות בצה"ל. ועדת ההיגוי גיבשה את הקריטריונים לבחירת התלמידים המשתתפים בתכנית ואישרה את התהליך שהוצע לאיתורם ולטיפוחם וכן את תהליך ההערכה המעצבת. תהליכים אלה יפורטו בהמשך.

הקריטריונים לבחירת התלמידים

- **תשוקה להעמיק בתחום עניין:** סקרנות, ייזום פעילויות והעמקה בתחום עניין בצורה יוצאת דופן.
- **יצירתיות:** גישה לסוגיות, לתופעות, ולבעיות שונות מכיוונים בלתי צפויים ומזוויות הסתכלות רבות, חדשניות ומפתיעות, והצעת מספר דרכים לבחון תופעות ולפתור בעיות ולא היצמדות לדרך אחת. העלאת רעיונות מקוריים ובלתי שגרתיים, תוך קישורם למציאות. מציאת יחסים חדשים בין קטעי ידע וניסיון מוכרים. נכונות לנסות דברים לא בטוחים ולקחת סיכונים, לעמוד על דעות ולהגן עליהן, גם כאשר הן אינן מקובלות על דעת הרוב.
- **שאילת שאלות:** שאילת שאלות מסדר חשיבה גבוה העוזרות להעמיק את ההבנה בנושאי התעניינות שונים. מיקוד השאלות בסוגיות ודילמות מורכבות הדורשות הבהרה, חשיבה והעמקה.
- **חשיבה ביקורתית:** הטלת ספק בפרדיגמות קיימות, בדיקת כל הנתונים טרם הסקת מסקנות, הבחנה בין עמדות סובייקטיביות לבין עובדות, זיהוי מידע רלוונטי, הבחנה בין עיקר לטפל, הבחנה בין תוצאות ומסקנות.
- **אינטגרציה של ידע חדש:** שימוש בידע בהקשרים שונים המביא ליצירת ידע חדש.
- **שאיפה לאתגרים:** התייחסות לקשיים ותסכולים כאל אתגרים.
- **התמדה:** חתירה לקראת מטרות ויעדים בדבקות והשלמת פעולות בנושאי עניין שונים.
- **רגישות להיבטים מוסריים וחברתיים:** הפגנת מעורבות חברתית בנושאים שונים, גילוי רגישות להשלכות של מעשים על הזולת, התייחסות להיבטים חברתיים ומוסריים כחלק מההתנהלות היומיומית ומהווייית החיים.

תהליך מיון המועמדים לתכנית

1. **שלב א'** – **מיון מועמדים** לתכנית על פי שאלון אישי והמלצות מחנכים ואנשי צוות חינוכי.

2. **שלב ב'** – ראיונות למועמדים שנערכו על ידי צוות מכון סאלד, במטרה להתחקות אחר היבטים אישיותיים, כגון התמדה ונחישות להתמודד עם אתגרים. היבטים המשפיעים באופן מכריע על הישגיהם של תלמידים בלימודים אקדמיים גבוהים, שנמצאו בסקירת ספרות עדכנית[10] שנערכה על ידי קרן קרנגי בארה"ב – Carnegie Foundation for the Advancement of Teaching.

צוות התכנית כלל את המנהלת, הרכזת והיועצת החינוכית. ההתמקדות בראיונות הייתה בנושא המוטיבציה של המועמדים להצטרף לתכנית, נכונותם לשנות סדרי עדיפויות במטרה להקדיש זמן ומאמץ ללמוד באופן עצמאי ולהתמיד בעבודת חקר, וזאת תוך התמודדות עם אתגרים ברמה אקדמית גבוהה מאד.

3. **שיחות עם מנחים-מומחים**, מהמאגר שנבנה על ידי מכון סאלד, על מנת לאתר מנחים בעלי תחומי עניין הקרובים ביותר למועמדים לתכנית, ואיתור מנחים נוספים בהתאמה לתחומי העניין של המועמדים.

4. **שלב ג'** – **ריאיון המועמדים אצל מומחה מתחום התוכן יחד עם נציגי צוות התכנית.** לפני הריאיון קיבל המועמד חומר קריאה בתחום התעניינותו, ובמהלך הריאיון התנהל דיון על התובנות ועל השאלות שעלו מתוך החומר, לצד שאלות על היבטים קוגניטיביים ואישיותיים אחרים.

בתום שלב זה אותרו 15 צמדים של מנחים-עמיתים ותלמידים. חמישית (3) מהתלמידים הגיעו מהפריפריה החברתית או הגיאוגרפית. בלוח הבא מוצגים אפיוני התלמידים מבחינת מגדר ותחומי חקר.

לוח 1: אפיוני תלמידי המחזור הרביעי בתחומי המגדר ותחומי החקר (n=15)

תחומי חקר מגדר	מדעים מדויקים ומדעי החיים	מדעי החברה והרוח	אמנות, מוסיקה וקולנוע
בנים	5	4	1
בנות	3	2	
סה"כ	**8**	**6**	**1**

מהלוח עולה ששליש (5 מתוך 15) מהתלמידים במחזור הרביעי הן בנות. קצת יותר ממחציתם (8 תלמידים, המהווים כ-53%) בחרו בתחום חקר ממדעי החיים או מהמדעים המדויקים. שישה תלמידים בחרו בתחום חקר ממדעי החברה והרוח ואילו תלמיד אחד בחר בתחום חקר באמנות.

בנוסף, הורחב מאגר המנחים-עמיתים במכון סאלד, ששימש את התכנית עד עתה, וימשיך לשמש את התכנית בשנים הבאות. כעת כולל מאגר המנחים-עמיתים כ-100 מומחים בתחומי תוכן שונים.

[10] Headen, S. & McKay, S. (2015). *Motivation matters. How new research can help teachers boost student engagement.* Stanford, CA.: Carnegie Foundation for the Advancement of Teaching.

הפעלת התכנית – 12 חודשים (פברואר 2015-ינואר 2016)

הצמדים, מנחה-עמית ותלמיד, החלו לעבוד במסגרת התכנית במשך שנה – החל מפברואר 2015. הצמדים נפגשו לפחות אחת לשבועיים למשך חמש שעות, ועבדו יחד על עבודת חקר בתחומי התעניינותם המשותפים, בהתאם לבחירתם.

במהלך שנת הלימודים התקיימו ארבעה כנסים – כנס הפתיחה נערך במכון ויצמן בהשתתפות התלמידים, ההורים והמנחים. בכנס הוצג הרקע לתכנית והוצגו עקרונותיה, התקיימה סדנה למשתתפי התכנית שבה נערך ה"חוזה" בין המנחים-העמיתים לבין התלמידים וכן תיאום ציפיות, ובנוסף התקיימה סדנה לתיאום ציפיות עם הורי התלמידים.

במהלך שנת התכנית נערכו שני כנסים לתלמידים. בכנס הראשון התנסו התלמידים בסדנה שעסקה במיומנויות של איתור מידע ובפיתוח מיומנויות חשיבה ביקורתית וכן דנו בדרכי התמודדות עם אתגרים בעבודות החקר שלהם, כגון קביעת סדרי עדיפויות וניהול יעיל של זמן. בכנס השני דנו התלמידים בדרכים לסיכום עבודותיהם, ולהצגתן בפוסטרים בעזרת נציגים של בוגרי התכנית מהמחזורים הקודמים. אחד הבוגרים הציג בפניהם את התהליך שהוא עבר במהלך התכנית, כיצד התמודד עם האתגרים שעמדו בפניו ומהן התובנות שגיבש בעקבות ההתנסות. בנוסף, שמעו התלמידים הרצאה על מיזם לפיתוח חללית שתגיע לירח המתבסס על שיתוף פעולה של מתנדבים מתחומי ההיי-טק ושל אנשים המתעניינים בתחום.

במרץ 2016 התקיים מושב הסיום של המחזור במסגרת כנס תכנית מנחים-עמיתים. בכנס זה הציגו כל התלמידים את עבודותיהם בפוסטרים ונציגי התלמידים והמנחים-העמיתים סיפרו על התנסויותיהם בתכנית ועל תוצרי עבודות החקר שביצעו.

חלק ב: הערכת התכנית

בהתאם להמלצתה של ועדת ההיגוי, לוותה התכנית בהערכה מעצבת כדי לבחון את התקדמותה לקראת הגשמת מטרותיה ויעדיה. מכון סאלד ליווה ברציפות את תהליך העבודה של הצמדים, על מנת להבטיח שהקשר פועל היטב, הן בהיבט המקצועי הן בהיבט האישי. הליווי נערך באמצעות שיחות טלפון אישיות עם התלמידים, וכן באמצעות שיחות אישיות עם המנחים-עמיתים שנערכו על ידי רכזת התכנית, בהתאם לצורך. כמו כן, לרשות התלמידים, ההורים והמנחים-העמיתים עמדה יועצת חינוכית ותיקה המתמחה בעבודה עם תלמידים מחוננים ועם מוריהם, והיא עבדה עמם באופן פרטני, בהתאם לנסיבות שהתעוררו בשטח. התלמידים והמנחים-העמיתים מילאו גם שאלוני משוב תקופתיים, ובעקבות המידע שעלה מהם נערכו שינויים בתהליך העבודה בתכנית במהלך השנה.

השגת מטרת התכנית ויעדיה

כאמור, **מטרת התכנית היא לטפח מנהיגות עתידית בישראל בתחומי תוכן שונים.** פרטנו את המטרה לשני יעדים מדידים לאחר שנת ההתנסות של התלמידים והמנחים-העמיתים בתכנית. ברצוננו להתייחס עתה לעדויות שנאספו במהלך השנה באשר להשגת כל אחד מן היעדים.

באשר **ליעד הראשון של התכנית – מתן סיוע לתלמידים מחוננים בעלי תשוקה וסקרנות עזה להעמיק בתחום עניין מעל ומעבר למצופה ולממש את הפוטנציאל הטמון בהם** – התייחסנו לכמה היבטים: ההתמדה של התלמידים, תוצרי עבודתם ותרומת התכנית לטיפוח הסקרנות והידע ולרכישת כלים ללימוד עצמי.

התמדת התלמידים

14 מתוך 15 (93%) התלמידים שהתחילו במחזור זה בתכנית אכן התמידו בה במהלך שנת הלימודים. תלמיד אחד שלא התמיד בתכנית נשר בעיקר עקב נסיבות בריאותיות.

תוצרים

כל התלמידים שהתמידו בתכנית הגיעו לתוצר כמו עבודת חקר או יצירה בתחומי האמנות עם תום שנת לימודים אחת. פירוט תוצרי התלמידים מוצג בחלק השלישי של סיכום זה. כל התוצרים היו באיכות גבוהה, לפי חוות דעתם של המנחים המומחים בתחום. מרביתם (9 מתוך 14) הגיעו להישגים יוצאי דופן לפי אמות מידה מקצועיות. בלוח הבא מוצגים נתונים לגבי אופני ההישגים יוצאי הדופן וכן דוגמאות להישגים אלו.

לוח 2: הישגים יוצאי דופן של תלמידי המחזור הרביעי *(n=9)

אופי ההישג	מספר התלמידים	דוגמאות להישג
למידה מתקדמת	3	• תלמיד אחד לומד לתואר ראשון במדעי המחשב באוניברסיטה הפתוחה • תלמיד אחד לומד לתואר ראשון משולב במתימטיקה ופיסיקה באוניברסיטת בר אילן • תלמיד אחד משתתף בשיעורים במחלקה לתקשורת חזותית בבצלאל ובמחלקה לקולנוע באוניברסיטת תל אביב
המשך עבודה של תלמיד עם מנחה-עמית	5	• חמישה תלמידים מתכננים להמשיך ולפתח את עבודתם יחד עם המנחים-עמיתים
הצגת העבודה בכנסים מקצועיים	3	• תלמידה אחת מתכננת להציג את עבודתה בכנס בביולוגיה • תלמיד אחד מתכנן להציג את עבודתו בכנס של אילי"ש – האגודה הישראלית לבלשנות שימושית • תלמיד אחד מתכנן להציג את עבודתו בפסטיבלים לאנימציה
פרסום בכתבי עת מקצועיים	2	• שני תלמידים מתכננים לפרסם את עבודתם יחד עם המנחים- העמיתים בכתבי עת מקצועיים
השתתפות בתחרויות	2	• שני תלמידים מתכננים להגיש את עבודותיהם לתחרויות
השתתפות במחנה מחקר	1	• תלמיד אחד משתתף במחנה מחקר של מדענים צעירים
פיתוח היבטים יישומיים	1	• תלמיד אחד מפתח סרט אנימציה שיוצג במסגרות שונות

***מספר תלמידים הגיעו להישגים יוצאי דופן בכמה אופנים ולכן מספרם גבוה יותר ממספר התלמידים הכולל**

תרומת התכנית לתלמידים – על פי דיווחיהם

אשר **ליעד הראשון של התכנית** – **מיצוי הפוטנציאל של תלמידים מחוננים בתחומי התעניינותם באמצעות עבודה אינדיבידואלית צמודה עם מודלים לחיקוי (מנחים-עמיתים)** –92% מהתלמידים ציינו בסוף השנה שהתכנית **תרמה לידע** שלהם בתחום החקר שבו עסקו במידה רבה או רבה מאוד (ממוצע של 4.3 בסולם מ-1 עד 5). בשאלות פתוחות ציינו מרביתם שהעמיקו את "הידע בנושא העבודה", "ובשיטות העבודה", כפי שדיווח אחד התלמידים:

> מעבר לידע הרב שרכשתי בתחום המחקר, ובשיטות מחקר ועבודה, רכשתי גם ידע כללי על מהות מחקר אוניברסיטאי והיבטיו השונים, ועל חייהם של אנשים המשתמשים בכלים מקצועיים בכדי לבסס השערות משנות תפיסה.

86% מהתלמידים ציינו שהתכנית תרמה במידה רבה או רבה מאוד **לטיפוח סקרנותם** (ממוצע של 4.5 בסולם מ-1 עד 5), ולדבריהם:

הייתה לי האפשרות באמת למצוא בדיוק את מה שמסקרן אותי ולחקור אותו; חידוד הידע וכלי הלמידה אפשרו לי לנווט את הסקרנות ולרתום אותי לתהליך לימוד ממוקד יותר; נפתחה לי מעין דלת לתחום העניין הזה וככל שהתעמקתי בנושא יותר, הסקרנות שלי לגביו הלכה וגברה, והרצון לענות על שאלות שהיו לי בתחום הלך וגבר; התכנית אמנם ענתה על שאלות מסוימות, אך הגבירה את הסקרנות שלי – לכל שאלה אינספור שאלות אחרות, וכל תחום עניין יש עוד המון דברים שאפשר לגלות ולדעת; ראיתי שתמיד יש לאן להעמיק ושיש מספר דרכים להבין ולענות על כל שאלה ונהניתי מאוד.

באופן ספציפי, 86% מהתלמידים דיווחו שהתכנית אפשרה להם **לרכוש כלים ללימוד עצמי** במידה רבה או רבה מאוד (ממוצע של 4.5 בסולם בין 1 ל-5), וחלקם ציינו:

למדתי למצוא את מנועי החיפוש הנכונים ומציאת מאגרי החומרים המקצועיים שדרושים לי. כמו כן, למדתי לברור בכוחות עצמי בין נתונים רלוונטיים ולא רלוונטיים למחקר. למדתי למזג מידע מקצועי בתוך פסקאות שאני כותב בעצמי בכדי להגיע עם רקע מוצק יותר לכל השערה מקצועית, ולטעמי, החשוב ביותר – למדתי איך לצטט נכון ולציין ביבליוגרפיה; למדתי בעיקר את החומר בצורת הוכחות, לא למדתי הרבה מהחומר דרך האינטרנט. במהלך התכנית נתקלתי בבעיות שונות אשר למדתי כיצד להתמודד איתן ולחשוב בצורה שונה על מנת לפותרן; בתחום ההיסטוריה עיקר העבודה מתבצעת באופן עצמאי, על כן הלימוד בתכנית היה באופן טבעי גם מטא-לימוד על הלמידה העצמית.

תלמידים אחרים התמקדו יותר **בהיבטים הרגשיים** הקשורים ללמידה עצמית:

למדתי בעיקר להיות סבלנית בלימוד העצמי שלי; קיבלתי יותר ביטחון עצמי בנוגע לאנגלית שלי, ועכשיו יש לי פרספקטיבה רחבה הרבה יותר בנוגע למונח "יש באינטרנט הכול...".

מכאן, שהרכיבים החיוניים למיצוי הפוטנציאל של תלמידים מחוננים בתחומי התעניינותם באמצעות עבודה אינדיבידואלית צמודה עם מנחים-עמיתים – אכן קיימים בתכנית.

אשר **ליעד השני של התכנית** – **מתן אפשרות לתלמידים מחוננים לבחון לעומק כיוונים שונים לקראת בחירה של קריירה עתידית** – הרי שכל התלמידים אכן השתתפו בדיונים שנערכו במהלך הכנסים בסוגיות של סגנון העבודה הנדרש בתחום התוכן שאותו חקרו.

93% מהתלמידים דיווחו שהתכנית סייעה להם להכיר במידה רבה או רבה מאוד את **סגנון העבודה** הנדרש בתחום התוכן בו עסקו (ממוצע של 4.5 בסולם מ-1 עד 5). בשאלות הפתוחות ציינו זאת התלמידים שערכו מחקרים במסגרת אקדמית:

התכנית עזרה לי להכיר את המסגרת האוניברסיטאית ולהבין מה זה מחקר בתחום אותו בחרתי; התכנית עזרה לי להכיר את סגנון העבודה המחקרית והתאורטית של התחום; היא לימדה אותי איך נעשה מחקר כזה, איך כותבים נכון, איך מעבדים מידע ואיך נסמכים על ידע קודם; עברתי דרך ארוכה בהבנת הדרישות בכל שלב במחקר, ואני חושב שכיום אני מבין יותר טוב את סגנון העבודה בתחום, במידה וארצה לעסוק בכך בעתיד; המחקר האינטרנטי והספרי היווה נקודת מבט שונה על מחקרים בכלל ומחקרים אקדמיים בפרט, בעיקר כשהייתה לי גישה אל עבודות קודמות של המנחה שלי שנתנו לי פרספקטיבה שונה איך זה אמור להיראות ובאיזה היקף.

אחד התלמידים אף ציין תובנה שהגיע אליה בעקבות היכרות עם סגנון העבודה: "עם הבנת סגנון העבודה השונה הצלחתי גם להבין מה אני בעצמי אוהב לעשות".

71% מהתלמידים ציינו שהתכנית תרמה **למחשבות על קריירה עתידית** במידה רבה או רבה מאוד (ממוצע של 4.1 בסולם מ-1 עד 5). לדברי אחד מהתלמידים:

התכנית הביאה אותי לחשוב על מה עתיד לבוא מבחינת מסלול מקצועי וכן מבחינת הענף הקולנועי... עכשיו אני מבין שאני הייתי שמח לעבוד בכל עבודה שמאפשרת לי לספר סיפור טוב – בין אם ליצור סרטים או לבנות קולנוע, להיות כתב או לכתוב ספר. העניין הוא, שכעת יש לי את הידע באחד מהתחומים המדהימים האלה – ידע שאני רק מחכה ליישם מחוץ לתכנית עצמה.

חלק מהתלמידים ציינו:

בזכות התכנית אני חושב יותר על כיוון של קריירה אקדמית; התכנית הציגה לי עוד פרטים על מה אצטרך לעשות במידה ואבחר בכזאת עבודה.

לחלק מהתלמידים התכנית חידדה את הכיוון שבו היו רוצים להתפתח בתחום עיסוקם:

במהלך התכנית למדתי כי אני מעדיף את תחום מדעי המחשב המעשיים על התאורטיים ובכך כיוונה אותי מאוד כלפי מה שאני ארצה לעשות בתור קריירה עתידית; התכנית הרחיקה אותי ממחקר תיאורטי, אם כי בהחלט חיזקה את הרצון שלי לעבוד בתחום באופן כלשהו יותר מעשי (בתעשייה, במימוש וכו').

תלמידה בתכנית סיכמה את תרומת התכנית לקריירה העתידית שלה:

אני חושבת שהמסקנות שלי מהתכנית והשאלות ששאלתי ילוו אותי תמיד, בכל דבר שבו אעסוק. הן נראות לי מאוד רלוונטיות ומהותיות לתחומים רבים. כרגע אני לא יודעת אם אעסוק בהן באופן ישיר בקריירה העתידית שלי, אך ללא ספק אעסוק בהן באופן עקיף גם בעתיד.

עם סיום שנת הלימודים של המחזור הרביעי, ניתן אפוא לסכם שהיעד השני של התכנית – אכן הושג.

סיכום – השגת מטרת התכנית ויעדיה

בהתאם לעדויות שהוצגו לעיל, הרי ששני יעדי התכנית – מיצוי הפוטנציאל של תלמידים מחוננים בתחומי התעניינותם באמצעות עבודה אינדיבידואלית צמודה עם מודלים לחיקוי (מנחים-עמיתים), ומתן אפשרות לתלמידים מחוננים לבחון לעומק כיוונים שונים לקראת בחירת קריירה עתידית – הושגו במחזור הרביעי של התכנית.

לפיכך, ניתן לסכם ולומר כי התכנית תורמת באופן משמעותי ליצירת הקרקע והתנאים בקרב תלמידים מחוננים לטיפוח מנהיגות עתידית בישראל בתחומי תוכן שונים.

הישגים יוצאי דופן בקרב 64 בוגרי תכנית מנחים-עמיתים במחזורים א-ד

להלן טבלה המסכמת את ההישגים יוצאי הדופן של בוגרי כל מחזורי התכנית עם דוגמאות מפורטות.

לוח 3: הישגים יוצאי דופן של תלמידים במחזורים א-ד של התכנית *(N=30)

אופי ההישג	מספר התלמידים	דוגמאות להישג
למידה מתקדמת	8	• שני תלמידים לומדים קורסים ברמת תואר שני בפיסיקה ובכימיה במכון ויצמן • שלושה תלמידים לומדים פיסיקה בתכנית תלפיות. אחד מהם גם למד בתכנית בינתחומית באוניברסיטת תל אביב • תלמיד אחד לומד לתואר ראשון במדעי המחשב באוניברסיטה הפתוחה • תלמיד אחד לומד לתואר ראשון משולב במתימטיקה ופיסיקה באוניברסיטת בר אילן • תלמיד אחד משתתף בשיעורים במחלקה לתקשורת חזותית בבצלאל ובמחלקה לקולנוע באוניברסיטת תל אביב
המשך עבודה של תלמיד עם מנחה-עמית	11	• חמישה תלמידים מתכננים להמשיך ולפתח את עבודתם יחד עם המנחים-עמיתים • שישה תלמידים המשיכו לפתח את מחקרם יחד עם המנחים עמיתים
הצגת העבודה בכנסים מקצועיים	10	• עבודה בביולוגיה מתוכננת להיות מוצגת בכנס בביולוגיה • עבודה בבלשנות מתוכננת להיות מוצגת בכנס של אילי"ש – האגודה הישראלית לבלשנות שימושית ועבודה נוספת בבלשנות כבר הוצגה בכנס זה • מחקר בפסיכולוגיה • סרט אנימציה שנוצר במסגרת התכנית עומד להיות מוצג בפסטיבלים לאנימציה • עבודה בפסיכולוגיה הוצגה בכנס של האגודה הישראלית לפסיכומטריקה וכן בכנס בינלאומי באנגליה • שתי עבודות בינתחומיות על האינטראקציה בין האדם למכונית הוצגו בכנסים בינלאומיים בארה"ב • עבודה במדעי החיים הוצגה בסמינר באוניברסיטת תל אביב ובכנס לאומי ליזמות
פרסום בכתבי עת מקצועיים	9	• שני מחקרים על האינטראקציה ביו האדם למכונה פורסמו בכתבי עת בחו"ל • שני מחקרים בבלשנות פרסמו בכתבי עת בארץ • מחקר במתימטיקה פורסם בכתב עת בחו"ל

אופי ההישג	מספר התלמידים	דוגמאות להישג
השתתפות בתחרויות		• מחקר במדעי החיים פורסם בכתב עת בחו״ל ושתי עבודות במדעים עומדות להתפרסם בכתבי עת מקצועיים • מחקר בפסיכולוגיה פורסם בספר של כנס באנגליה
	8	• ארבעה תלמידים זכו במדליות באולימפיאדות במדעים בכימיה, פיסיקה ומדעי המחשב • תלמיד אחד זכה בפרס בתחרות מדענים ויזמים צעירים על עבודתו במדעי החיים וייצג את ישראל בארה״ב בתחרות של INTEL • תלמיד אחד זכה בפרס ראשון על מחקרו בנושא השואה מטעם מכון משואה ללימודי השואה • שני תלמידים מתכננים להגיש את עבודותיהם לתחרויות
פיתוח היבטים יישומיים	10	• תלמיד אחד פיתח תוכנה המנתחת נתונים רפואיים המאפשרים לרופאים לנבא את הסיכון לחלות בסוכרת ובמחלות לב. התוכנה נמצאת בשימוש באחד מבתי החולים המרכזיים בארץ • תלמיד אחד חקר דפוסים מתמטיים בעבודות מוזאיקה כחלק מפיתוח מערכות תקשורת במכוניות ומטוסים עתידיים • תלמיד אחד פיתח אלגוריתם מתמטי לאינטראקציה בין אדם למכונה במכונית עתידית שהוגש כפטנט בארה״ב • עבודותיהן של שתי תלמידות באמנות ובקומיקס חברתי הוצגו בגלריות לאמנות • אחת התלמידות השלימה סרט דוקומנטרי על בת מצוות • תלמיד אחד השלים סרט אנימציה שיוצג בפסטיבלים שונים • יצירותיהם המוסיקליות של שני תלמידים נוגנו בקונצרטים • עיבוד לשירים לתזמורת ג׳אז (BIG BAND) הפך להיות חלק מהרפרטואר של תזמורת הג׳אז של חיפה (BIG BAND)

***מספר תלמידים הגיעו להישגים יוצאי דופן בכמה אופנים ולכן מספרם גבוה יותר ממספר התלמידים הכולל**

כפי שמסתמן בטבלה, הרי שבארבעת מחזורי התכנית, חלק נכבד מהתלמידים הגיעו להישגים יוצאי דופן – 11 תלמידים המשיכו בעבודת המחקר עם המנחים-עמיתים; 10 תלמידים פיתחו עבודות יישומיות בתחומי המדעים או יצרו יצירות בתחומי האמנויות במהלך התכנית שזכו להכרה מקצועית; 10 התלמידים הציגו את המחקרים שערכו במהלך התכנית בכנסים מקצועיים בארץ ובחו״ל ו-9 אף פרסמו את מחקריהם בכתבי עת מקצועיים בארץ ובחו״ל.

חלק ג: תקצירי עבודות התלמידים

בחלק זה נציג את פֵּרות עבודתם המאומצת של התלמידים במהלך השתתפותם בתכנית.

בכל תקציר יוצגו נושא העבודה, שאלת החקר בה עסקו, שיטת החקר, ממצאי החקר וכן רעיונות לעתיד.
חלק מהתקצירים נכתבו באנגלית לצורך פרסום בכתבי עת מקצועיים.

התקצירים מוינו על פי תחומי הדעת הבאים:

- מדעים מדויקים ומדעי החיים
- מדעי החברה ומדעי הרוח
- מוזיקה, אמנות וקולנוע

סדר התקצירים של החניכים בכל תחומי הדעת:

מדעים מדויקים ומדעי החיים
נור אלהודא אבו ערישה
אור אלון
שירה בן דור
עידן דור
רועי יעקובסון
יובל מרבאום
לירן פרלמוטר-שושני
חן שוקרון

מדעי החברה ומדעי הרוח
אגם קדם לוי
עליזה קמישן
ענבל קרסו
עומר שחר
אופק שפירא

אמנות, מוזיקה וקולנוע
גיא אינהורן

מדעים מדויקים
ומדעי החיים

Specific responses of inflammatory Macrophages to IFN-β

תלמידה: נור אלהודא אבו ערישה, פרדיס

מנחה-עמית: ד"ר עמירם אריאל, הפקולטה למדעי הטבע, אוניברסיטת חיפה

The Department of Human Biology, Faculty of Natural Sciences University of Haifa



Background - The existence of Immunity

Our bodies are prodigious biological machines that work perseveringly in order to ensure their survival. Immune system cells protect the host from a wide variety of pathogens that aim to compromise our health. This protective response starts with Inflammation; a complex tissue response that involves immune and tissue cells, blood vessels, and molecular mediators that communicate between these cells (as describe in fig.1).

The purpose of inflammation is to eliminate the initial cause of tissue injury, and once resolved to clear out necrotic cells and tissues damaged by the original insult and the inflammatory process itself, and to initiate tissue repair that will restore the original structure and function of the infected tissueto maintain homeostatic structure.

However, if it does not resolve properly it can cause severe outcomes, such as autoimmune diseases, obesity, and cancer.

The immune system consists of two reactions that are temporally separated: the early innate (natural) immunity, and the late adaptive immunity.

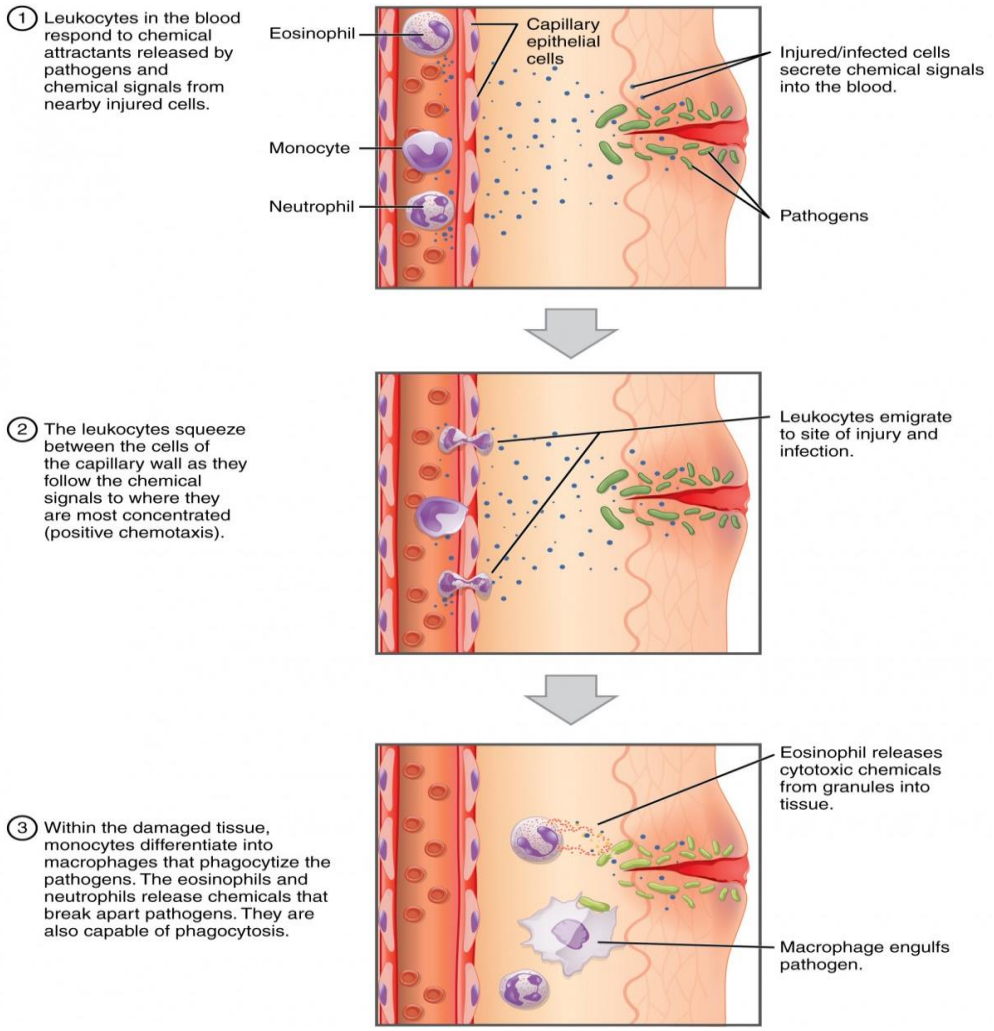


Fig. 1

Innate immunity provides immediate, less specific defense against infection. It is found in all classes of plants, fungi, insects, animals and primitive multicellular organisms. Innate immune responses are the first line of defense against infectious diseases and limit their deleterious consequences. Innate immunity is present in neonates upon birth, doesn't have to be acquired through exposure to an invader, and thus provides an immediate response that controls invading pathogens. The innate response, unlike the adaptive one, has no memory of previous encounters, doesn't remember specific foreign antigens, and doesn't provide any ongoing protection against future infections.

There are diverse white blood cells involved in inflammation. We have addressed the role of macrophages (MØ) in the resolution of inflammation. **Macrophages** differentiate from white blood cells called monocytes produced by stem cells in the fetal liver or the adult bone marrow (fig. 2). Monocytes differentiate to MØs when they move from the bloodstream to tissues when infection occurs, or during embryonic development in healthy subjects.

Therefore, MØs can reside in various tissues for long times and play important roles in the clearance of dead cells while waiting for pathogens to invade the host. Alternatively, during inflammatory episodes, monocytes infiltrate the inflamed tissue and swiftly differentiate to MØs that are essential players in all phases of acute inflammation and its resolution. Monocytes enlarge greatly and produce granules within themselves when becoming MØs. The macrophage contains enzymes that help digest and process the pathogen. The process whereby an immune cell captures and ingests a microorganism is called phagocytosis (fig. 3); the cells that perform it are called phagocytes. MØs are attracted to the pathogen by a process called "Chemotaxis", and recognize it using specific receptors found on the phagocyte membrane. The MØ distinguishes the pathogen from other cells, and then engulfs it. Small peptides generated during ingestion are bound to a molecule called MHC (Major histocompatibility complex) and exported to the cell membrane. T cells that recognize this exported peptide (antigen) will develop an adaptive response to the pathogen.

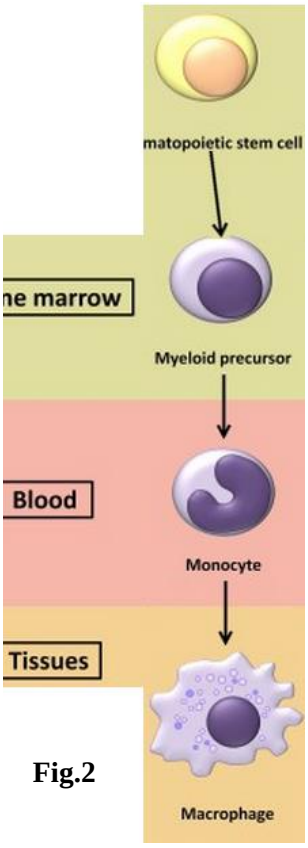


Fig.2

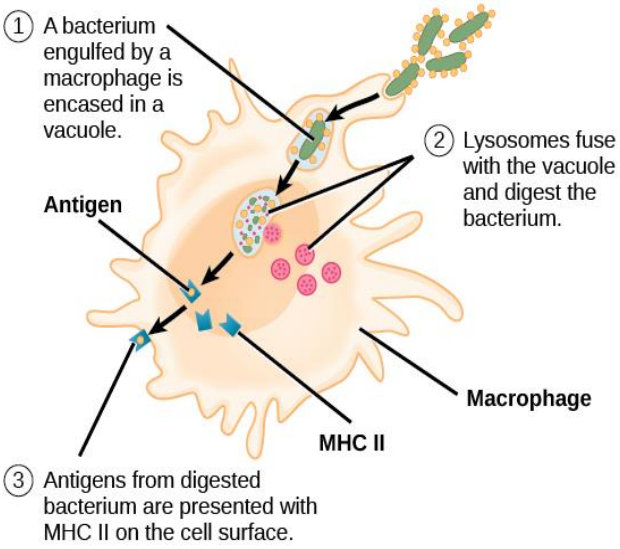


Fig.3

Monocytes and macrophages play important roles in inflammation and its resolution by performing various functions, including the secretion of bioactive mediators called cytokines to the surrounding tissue. **Cytokines** are small soluble proteins or glycoproteins that act through binding to specific receptors and transmission of intracellular signals. These signals regulate and stimulate immune responses by modulating gene expression and biological function of various immune cells. Hence, cytokines, such as Interferons, act as intercellular mediators.

Interferons (IFNs) - are a family of small proteins with similar amino acid sequences, that are expressed by MØs, lymphatic T cells, and other immune and tissue resident cells. IFNs stimulate the expression of anti-viral proteins by host cells that inhibit the pathogen multiplying inside of the infected cells. Moreover, the infected cell can protect neighboring cells against a potential infection by the pathogen by releasing IFNs that limit infection of new cells. In response to IFNs cells produce large amounts of an enzyme known as protein kinase R. This enzyme phosphorylates a protein known as elF-2 (Eukaryotic Initiation Factor 2) in which interacts with elF2-B and together they reduce protein synthesis within the cell in

response to new viral infections. Another cellular enzyme is also induced by IFN. The enzyme named RNAse-L degrades RNA within the infected cells to further eradicate protein synthesis of both viral and infected host cells. In addition, IFNs promote both innate and adaptive immunity by inducing the production of hundreds of different proteins – that have roles in combating viruses and viral spread. Some of these proteins kill virus-infected cells by promoting programmed cell death (apoptosis). Therefore, IFN activity is also linked to protective roles against certain cancers.

IFNs induce the expression of **inducible nitric oxide synthase (iNOS)** (Fig. 4) in macrophages during inflammation. iNOS is a cytoplasmic enzyme that produces large quantities of NO, a reactive anti-bacterial chemical, upon stimulation. Recent studies from our laboratory have indicated IFN-β, a member of the IFN family, is specifically produced by macrophages during the resolution of inflammation. Treatment of inflammatory macrophages with IFN-β promotes the expression of a monocyte receptor called Ly-6C, therefore suggesting IFN-β reverses the differentiation of these macrophages turning them to "rejuvenated macrophages".

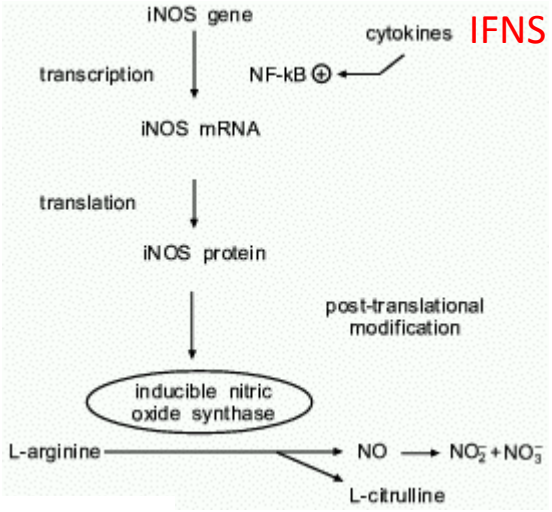


Fig.4

The current study aimed at determining which responses that take place in inflammatory macrophages following exposure to IFN-β are unique to these macrophages in comparison to tissue resident macrophages from the peritoneum, spleen, and bone marrow.

Research question

How do inflammatory macrophages respond to IFN-β in comparison with resident macrophages?

Hypothesis

Inflammatory macrophages (MØs) respond differently to IFN-β in comparison to resident macrophages from different tissues.

Aims

1) Identify proteins that are exclusively expressed in inflammatory macrophages in response to IFN-β.
2) Examine whether the expression of iNOS in inflammatory MØs is induced by IFN-β.
3) Determine whether inflammatory macrophages exclusively express Ly-6C following exposure to IFN-β.

Methodology

Animals:

Male wild type C57BL/6 mice (7-8 weeks old), maintained under special pathogen – free conditions in the animal facility (University of Haifa).

Murine peritonitis:

WT mice injected intra-peritoneal (I.P.) with freshly prepared zymosan A (1mg/25 body weight).

Isolation of mouse macrophage:

48hrs. post zymosan A injection, the mice were euthanized by CO2 , their peritoneal cavity were lavaged with 5ml of cold PBS , and the peritoneal cells and bone marrow cells and spleen cells were collected by centrifugation, and macrophages were isolated by using EasySep PE selection magnetic beads directed F4/80 following the manufacturer's instructions (StemCell Technologies)

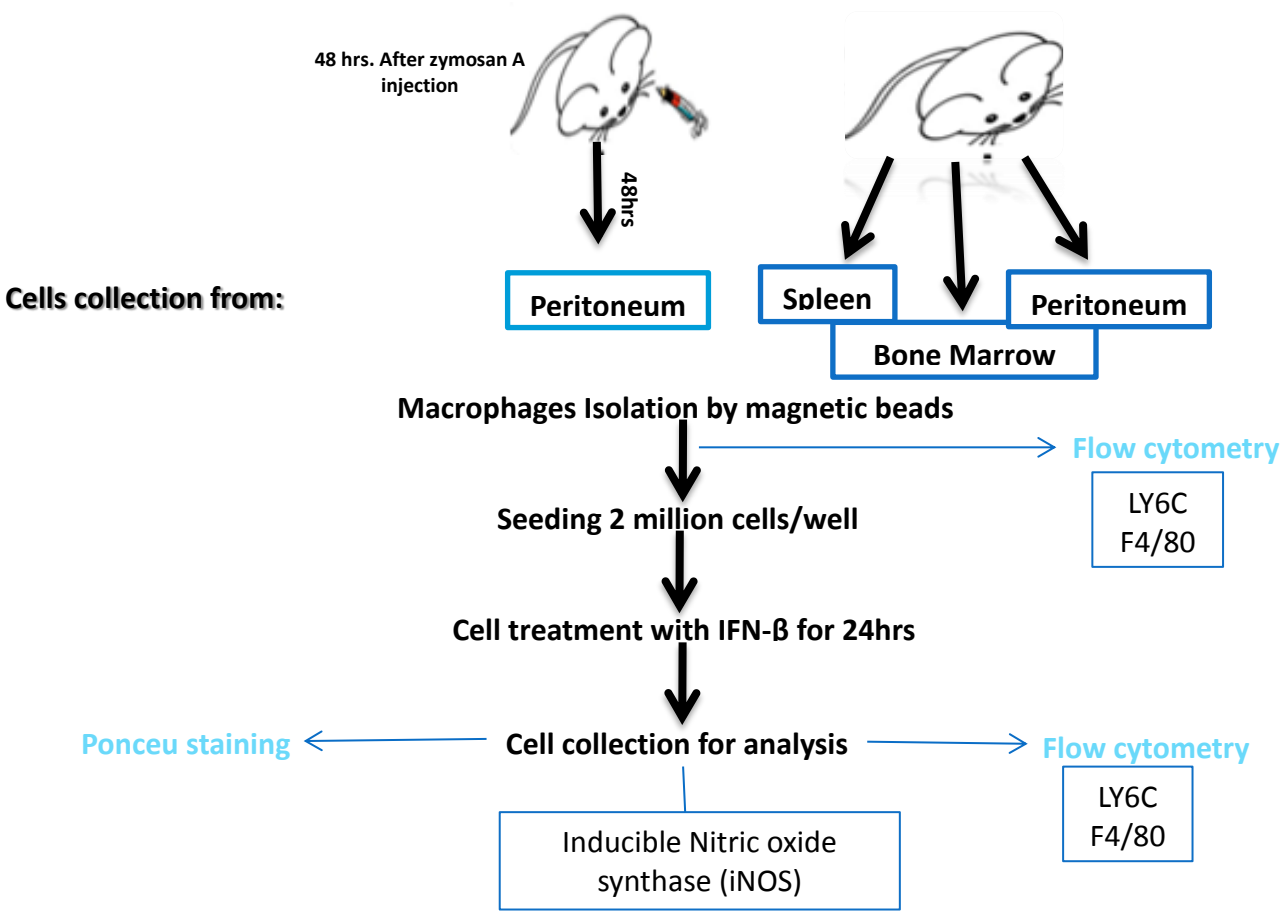
FACS analysis:

Surface expression of LY6C in macrophages were carried out as follows: Exudates blocked with FcR blocker (anti – CD16/CD32) mAb (0.5x10^6 cells), and co-stained with PE-conjugated anti mouse F4/80 (0.5x10^6 cells) and pacific blue-A-conjugated anti mouse ly6c (0.5mg/0.5x10^6 cells) for 20 min at 4 ◦C. Then cells were washed with FACS Buffer (1% BSA in PBS).

Western blot analysis:

Isolated macrophages were lysed in whole-cell extract buffer and placed on ice for 1 hrs. (vortex of samples will be carried out every 10 min. then the samples will be centrifuged at 15000 rpm for 1 min. at 4 ◦C. the supernatants containing total protein were collected, added with sample buffer and separated by SDS-PAGE (8-10%), followed by transfer to a nitrocellulose membrane. The membrane was stained with ponceau (non specified staining for protein, Then the membranes were blocked with 5% (w/v) non-fat dried skimmed milk powder in PBS supplemented with 0.05% Tween-20 (PBS-T) for 1 hour at room temperature. Next, the membranes were probed with antibodies against iNOS at 4°C overnight. Next, the membrane was washed 15min x3 with PBS-T incubated with the appropriate HRP-conjugated secondary antibody, for 1 hour at R.T. and washed 15min x3 with PBS-T. Western Bright ECL (Advansta) was added to the membrane for 30-60 seconds and analyzed using ImageQuant LAS-4000.

Experimental procedure



Results

1. **macrophages from different tissue have different morphology**

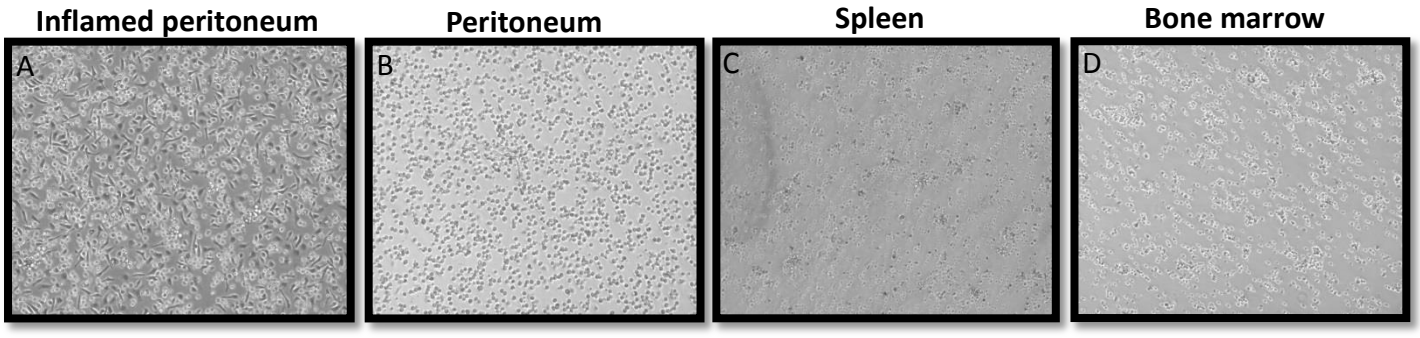


Figure 1: Light microscopy of macrophages after culturing. A. Macrophages from peritoneum 48 hrs. after injection with zymosan A**. B.** macrophages from peritoneum. **C.** macrophages from spleen. **D.** macrophages from bone marrow**.** Images are reprehensive from (n=3).

2. Different proteins are exclusively upregulated in inflammatory macrophages in compression to residents upon response to IFN-β

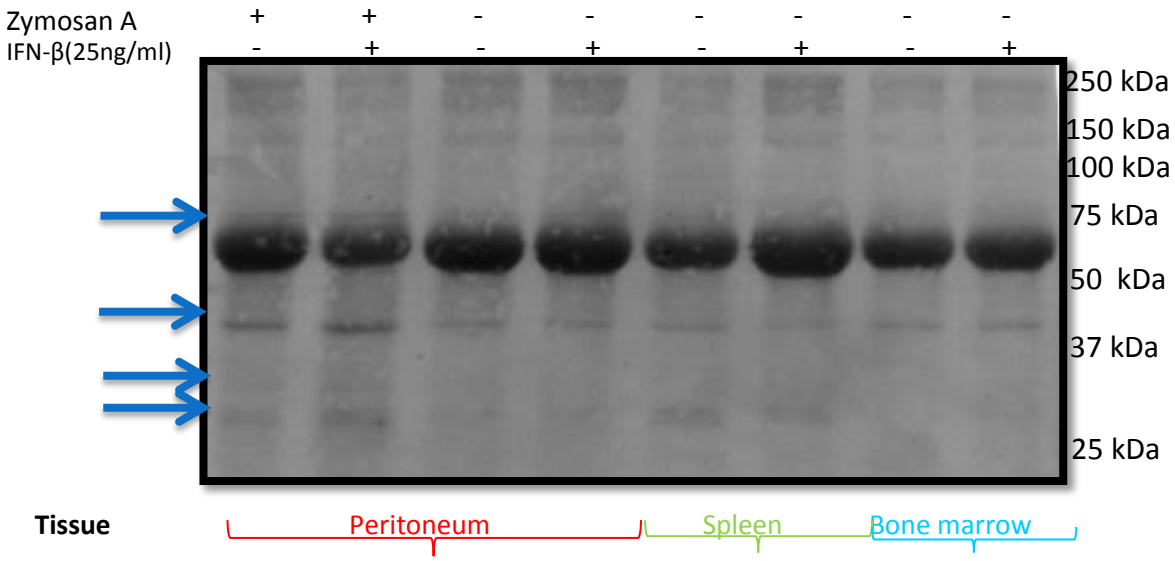


Figure 2: Unknown protein expression. Macrophages from different tissues were isolated using magnetic beads and treated with IFN-β, after 24 hrs. Macrophages were collected and lysed using specific lysis buffer (WCE). Then their protein content was separated by using SDS-PAG gel (8%) and the protein was transferred to a nitrocellulose membrane and staining by ponceau staining unspecific protein staining (n=3).

3. IFN-β induces the expression of iNOS in inflammatory macrophages.

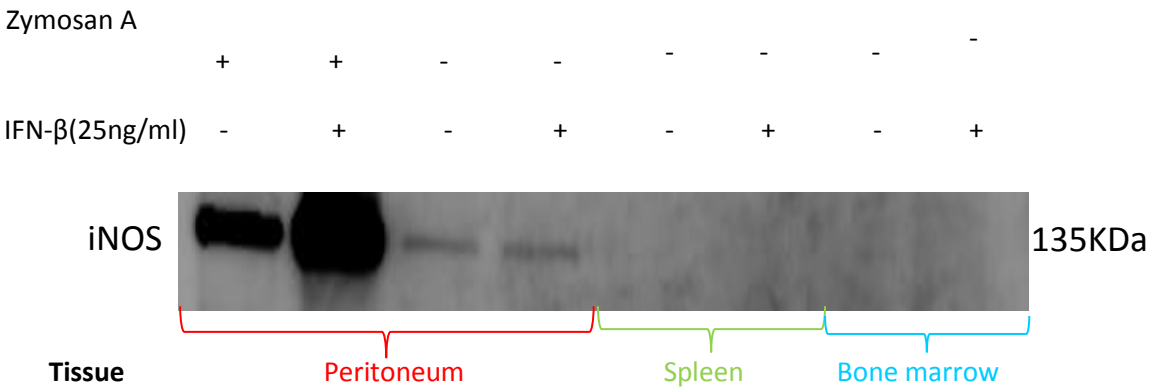


Figure 3: IFN-β increases the expression of iNOS in inflammatory Mφ. Samples from fig.2 were run by gel electrophoresis, transferred to a membrane and evaluated using WB for the expression of iNOS (n=3).

4. Macrophages from different tissues differently express Ly6C and F4/80

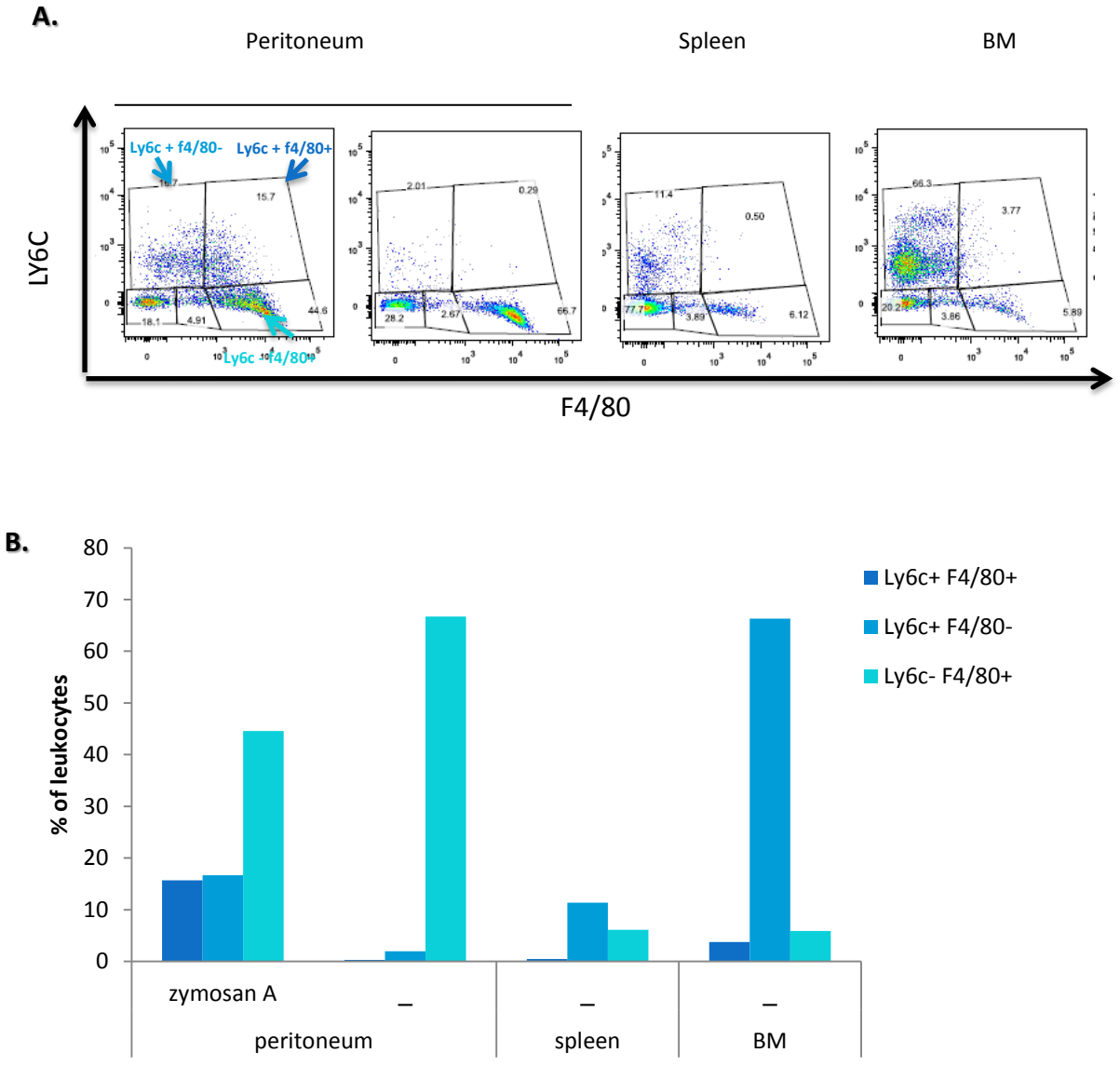


Figure 4: different tissues contain different monocyte and macrophages populations. A. Macrophages from different tissues staining with florescent antibodies against F4/80 and Ly6c and the expression of Ly6c and F4/80 were analyzed by flow cytometry. Results are representative Dot Plots (A) and their quantitation. **B**. The following marker combination indicate different monocyte / macrophages subset: Ly6c + F4/80+ (rejuvenated), Ly6c - F4/80+ (mature macrophages) and Ly6c + F4/80- (monocytes/ young macrophages) (n=2).

5. Inflammatory macrophages exclusively express Ly6C following exposure to IFN-β

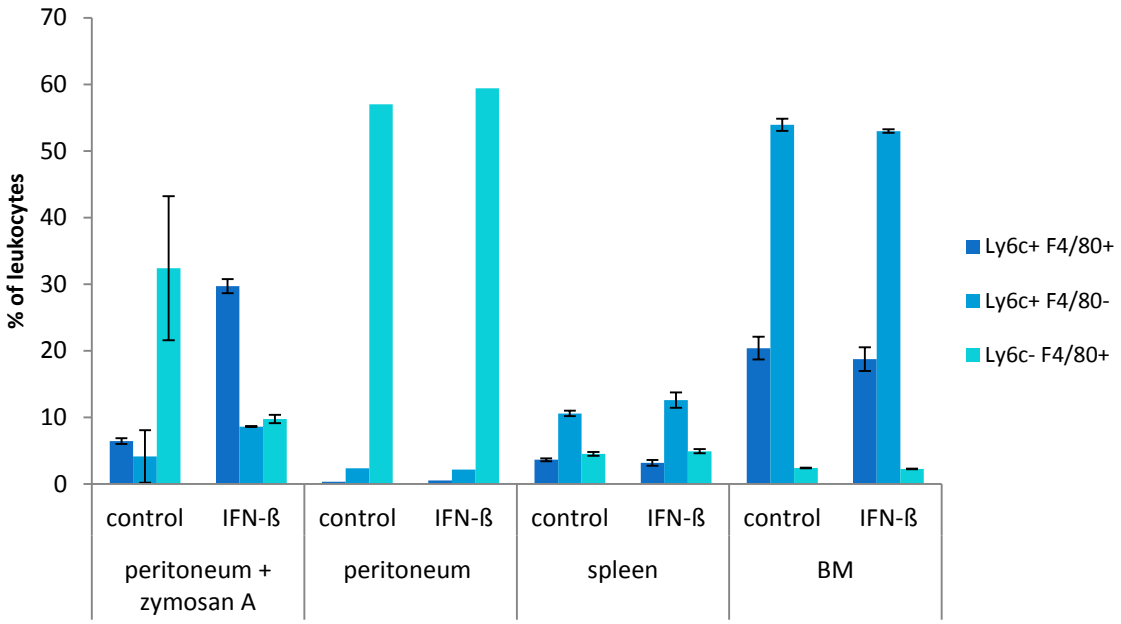


Figure 5: IFN-β increase the expression of Ly6c exclusively in inflammatory Mφ. Macrophages from different tissue were treated with IFN-β then stained with florescence antibody for F4/80 and Ly6c, and the expression of Ly6c and F4/80 were analyzed by flow cytometry. The graph shows the percentage of different population of macrophages (n=2).

Conclusions

1) IFN-β exclusively stimulates the expression of different proteins, including iNOS, in inflammatory macrophages.
2) Macrophages from different tissues have different expression patterns of the membrane receptors Ly6c and F4/80 which reflect unique developmental states of the monocytes / Mϕ lineage.
3) IFN-β specifically promote the expression of Ly6c (monocyte marker) in inflammatory macrophages, suggesting that IFN-β mediates the differentiation of these macrophages and turns them to "rejuvenated macrophages".

Future thoughts

Macrophages have essential roles in inflammation and its resolution. The exposure of the inflammatory macrophages to IFN-β induces the macrophages to express unknown proteins. We plan to discover the sequences of these proteins /peptides and their biological functionand to examine them as a treatment for different pathologies. This may be one of the ways which help saving lives by using natural resources, the human body molecules.

Bibliography

1. Ariel A (2013) Hanging in the balance: endogenous anti-inflammatory mechanisms in tissue repair and fibrosis. Journal of pathology**.**
2. Ariel A. Serhan.C (2012) New lives given by cell death: macrophage differentiation following their encounter with apoptotic leukocytes during the resolution of inflammation. Frontiers in immunology.
3. Hume DA, Ross IL, Himes SR et al. The mononuclear phagocyte system revisited. J Leukoc Biol 2002; 72: 621–7.
4. Y Vodovotz, D Russell, Q W Xie, C Bogdan and C Nathan. Vesicle membrane association of nitric oxide synthase in primary mouse macrophages. The Journal of Immunology.

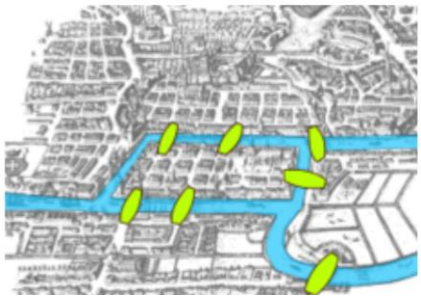
מודל משולב להיווצרות רשתות בטבע

תלמיד: אור אלון, חולון

מנחה-עמית: ד"ר ברוך ברזל, המחלקה למתמטיקה, אוניברסיטת בר אילן



הקדמה – הרקע למחקר

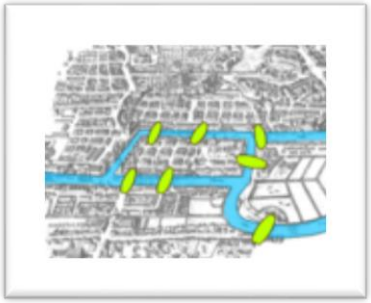


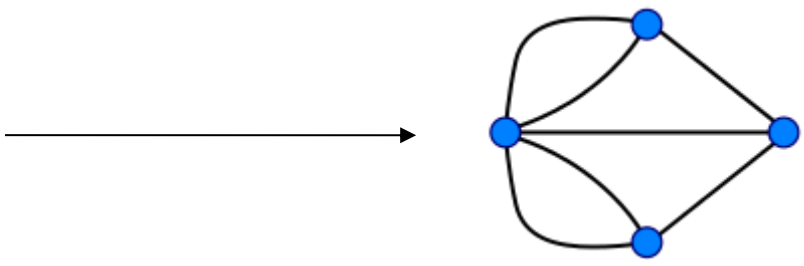
מפת קניגסברג – הגשרים מודגשים בצבע

העיר קניגסברג שבפרוסיה המזרחית הייתה מחולקת לארבעה חלקים על ידי הנהר פרגוליה, ושבעה גשרים חיברו בין ארבעת חלקי העיר. בין תושבי העיר התפתחה מסורת לפיה לא ניתן להלך בעיר ולחצות את כל שבעת הגשרים מבלי לעבור על גשר אחד לפחות יותר מפעם אחת. תושבי העיר ניסו להוכיח או להפריך השערה זו, אך ללא הצלחה.

המתמטיקאי לאונרד אוילר פתר את הבעיה ב-1735 כשהראה שאכן מסלול שכזה אינו אפשרי. אוילר הציג את הפתרון בפני האקדמיה של סנט פטרבורג, במה שנחשב למאמר הראשון בתורת הגרפים ולנקודת ציון בהיסטוריה של הטופולוגיה.

החידוש הקונספטואלי של אוילר היה בהתבוננות על גשרים של קניגסברג כעל גרף – כאוסף של צמתים אבסטרקטיים המחוברים ביניהם באמצעות קישורים או רשתות. התוצאה – גרף שמייצג את העיר שהצמתים שלו הם חלקות אדמה והקישורים שלו מייצגים גשרים.





הפשטה זו אפשרה לאוילר להוכיח שכדי שיתקיים מסלול העובר דרך כל הקשתות פעם אחת בלבד צריך, שמלבד צומת ההתחלה והסיום של המסלול, כל הצמתים יהיו מחוברים למספר זוגי של קשתות. אך בבעיית הגשרים של קניגסברג לכל הצמתים יש מספר אי-זוגי של קשתות מחוברות ולכן לא קיים מסלול שכזה.

ר ש ת ו ת

במשך מאות שנים עסק המדע בפירוק הטבע – נחקרו האטומים כדי להבין את היקום, נחקרו מולקולות כדי להבין את החומר, נחקרו גנים כדי להבין את ההתנהגויות של בעלי החיים ונחקרו נביאים ואומנים כדי להבין מהיכן נובעים אופנות ודתות.

כיום, לאחר שנחקרו התנהגויות של חלקיקים רבים, אנחנו רחוקים מרחק שנות אור מהבנת הטבע בשלמותו. הפרדיגמה (תבנית מחשבה) של מדע הרשתות היא שעלינו להתמקד לא רק במה שכל חלקיק עושה או באופן שבו הוא מתנהג, אלא באינטראקציה שבין החלקיקים ובאופן שבו הם משפיעים אחד על השני. כדי לפתור בעיה זו ניסו לייצג כל חבורה כזו של חלקיקים כגרף, כאשר כל חלקיק הוא צומת וכל שני חלקיקים שמושפעים אחד מהשני – מקושרים.

מגוון רחב מאוד של רשתות קיים בטבע, בין אם זה הנוירונים במוח ששולחים אחד לשני אותות חשמליים, ובין אם זה חלבונים בגוף האדם שעושים ריאקציה כימית ביניהם, או אפילו חברים בפייסבוק ששולחים אחד לשני סרטונים של חתול שמנגן בפסנתר.

באמצעות מדע הרשתות אנו יכולים לחקור את כל הרשתות האלה ולגלות איך אינפורמציה עוברת ומעובדת במוח, איך עובדים הגנים בגוף האדם, איך רעיונות יכולים להתפשט דרך הרשתות החברתיות הווירטואליות, איך מחלות יכולות לעבור ברשת החברתית הממשית, וכיצד ניתן לעצב רשת כך שרעיונות ומידע יעברו בה ביעילות מרבית (או לא יעברו במקרה של מחלות). מיפוי שיטתי של רשתות אלו, כפי שנעשה בעשור האחרון, חשף קשרים מפתיעים בין מערכות שונות בתכלית – גילינו שרבות מהרשתות הללו דומות בבסיסן ושניתן לתאר את הרשת החברתית, את האינטרנט, את המוח ואת מבנה הבקרה הגנטית בשפה אוניברסלית אחידה. גילויים אלו הולידו מדע חדש – מדע הרשתות.

עולם קטן

בשנת 1967 נערך מחקר על ידי סטנלי מילגרם, פרופסור בהרווארד, שמטרתו למפות את "המרחק החברתי" בין זוגות אנשים אקראיים בארצות הברית. הרעיון היה למדוד את אורכה של שרשרת הקשרים – חבר המכיר חבר – הדרושה כדי לקשר בין שני זרים. אם כן, כמה מכרים דרושים כדי למצוא קשר בין שני אנשים שנבחרו באקראי?

כדי לבדוק זאת ביצע מילגרם את הניסוי הבא: הוא בחר שני אנשי יעד – אחד מהעיר שרון במסצ'וסטס והשני מבוסטון. בשלב הבא הוא שלח חבילות לתושבים אקראיים בויציטה קנזס ובאומהה נברסקה, וביקש מהם להשתתף במחקר. החבילות כללו תקציר של המחקר, מידע על אנשי היעד, גלויות וסדרת הוראות. אם האדם שקיבל את הגלויה הכיר את איש היעד באופן אישי, היה עליו לשלוח לו את החבילה ישירות, ואם לא – היה עליו לשלוח את החבילה לאדם שיש לו עמו היכרות אישית ושלדעתו הוא יוכל לקרב את החבילה לאיש היעד. הדעה המקורית הייתה שעשויים להידרש מאות אנשים כדי להעביר את החבילות, ושיש לניסוי סיכויי הצלחה נמוכים, כי מספיק אדם אחד שלא ישתף פעולה כדי לשבור את

השרשרת. רבה הייתה הפתעתו של מילגרם כאשר חבילה אחת הגיעה ליעדה תוך ימים אחדים, כשהיא עברה דרך שני אנשי קשר בלבד. בסופו של דבר הגיעו 42 מהחבילות ליעדיהן. באמצעות גלויות המעקב ידע מילגרם דרך כמה ידיים עברה כל חבילה, וכך הוא מצא שהמספר החציוני (אותו מספר ערכים מעליו ומתחתיו) של המתווכים שנדרשו כדי להעביר את החבילות ליעדיהן היה 5.5 בלבד, וזאת עבור אוכלוסייה של קרוב לשלוש מאות מיליון בני אדם. כלומר, המרחק האופייני בין כל שני אנשים – זרים שנבחרו באקראי – קטן בהרבה ממה שניתן היה לצפות בהתחשב בגודל האוכלוסייה.

כיום ידוע כי תכונת העולם קטן משותפת כמעט לכל הרשתות, והיא אינה ייחודית לרשת החברתית, להפך – מרבית הרשתות מקיימות אותה. הסוד טמון בגידול המעריכי של הרשתות – שהרי אם לכל אדם יש עשרה חברים, הרי שיש לו מאה חברים מדרגה שניה (10^2), אלף מדרגה שלישית וכך הלאה. בקצב גידול כזה דרושים כשבעה או כשמונה קשרי חברות על מנת לכסות את כל אוכלוסיית העולם שגודלה שבעה מיליארד – כלומר כ-10^8.

מודל ארדוש-רניי Erdős–Rényi

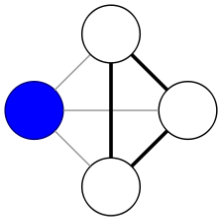
כאשר החלו לחקור את הרשתות הן נראו סבוכות כל כך שרשת אחת נראתה שונה מרעותה, עד כדי כך שמציאת מודל המתאר את המערכות השונות מהווה אתגר שלא ניתן להתגבר עליו. ארדוש ורניי לקחו על עצמם את האתגר, וכדי לפשט את הבעיה הם יצרו מודל בו כל זוג חלקיקים מתחבר באקראי בהסתברות קבועה. למרות שהמודל פשטני לתיאור הרשתות בטבע, ארדוש ורניי גילו שהוא מצליח לתאר את התופעה המציאותית של העולם הקטן. הם הראו שכאשר לכל צומת יש בממוצע לפחות קישור אחד, אז כמעט בוודאות הרשת תהיה קשירה. כלומר, לכל צומת יש מסלול המקשר בינו לבין כל צומת אחר. מעבר לכך, הם גילו שאם נניח שלצמתים יש k קישורים בממוצע (דהיינו דרגה k), אז יהיו k^2 צמתים הנמצאים במרחק שני צעדים ובערך k^d נמצאים במרחק של d צעדים. לכן אם k גדול, אזי גם בערכים נמוכים של d אפשר להגיע למספר גבוה מאוד של צמתים. זה המקור לכך שהמרחק הממוצע בין שני צמתים ברשתות קצר מאוד.

אם כן, מודל ארדוש-רניי, למרות פשטותו, מנבא את תכונת העולם הקטן, המתקיימות כמעט בכל הרשתות בטבע.

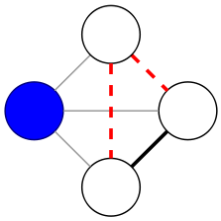
clustering

עוד תכונה בסיסית למרבית הרשתות היא clustering – הנטייה להתגבש לצבירים קטנים שבהם "כולם מכירים את כולם". מבחינה גיאומטרית תופעה זו מתבטאת בנטייה של הרשת לייצר משולשים, שבהם השכנים של השכנים של צומת הם גם שכנים ישירים של אותו צומת. תכונה זה נעוצה בעובדה שרשתות אינם אקראיות, יש סיבה שחלקיק אחד נקשר לחלקיק אחר. לדוגמה, אם מייקל ודניאל משחקים טניס ביחד ביום חמישי בערב במגרש מסוים, כנראה ששניהם מכירים את מיכל שגם היא משחקת טניס בימי חמישי במגרש המסוים הנ"ל.

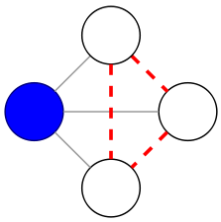
לנוירון שאחראי על מערכת החוש (ראייה, טעם וכו') יש סיכוי גדול יותר להיות מחובר לנוירון אחר באותה מערכת מאשר לנוירון במערכת שונה לחלוטין.



c = 1



c = 1/3



c = 0

כדי לאפיין את ה-clustering מודדים עבור כל צומת ברשת את כמות השכנים שלו שהם גם שכנים האחד של השני – דהיינו מודדים את מספר המשולשים סביב כל צומת. ערך ה-clustering הלוקלי שווה למספר המשולשים סביב צומת ביחס למספר המשולשים הפוטנציאלי אם כל השכנים של הצומת היו מחוברים אחד לשני. לדוגמה, במערכת הראשונה בתמונה אנו רואים כי ערך ה-clustering של החלקיק הכחול הוא אחד מפני שכל השכנים שלו מחוברים אחד לשני. במערכת השנייה החלקיק יוצר משולש אחד אבל אם כל השכנים שלו היו מחוברים אחד לשני הוא היה חלק משלושה משולשים ולכן הערך הוא שליש. במערכת האחרונה רואים שאף אחד מהשכנים של החלקיק הכחול לא מחוברים, כלומר הוא אינו חלק מאף משולש, ולפיכך ערך ה-clustering שלו הוא אפס.



הרשת החברתית של Facebook,כל נקודה לבנה מייצגת חשבון Facebook וכל קשת מייצגת קשר חברתי. ניתן לראות כי ברשת יש צבירים של מדינות ויבשות שמחוברים אחד לשני ביחסית מעט קשרים.

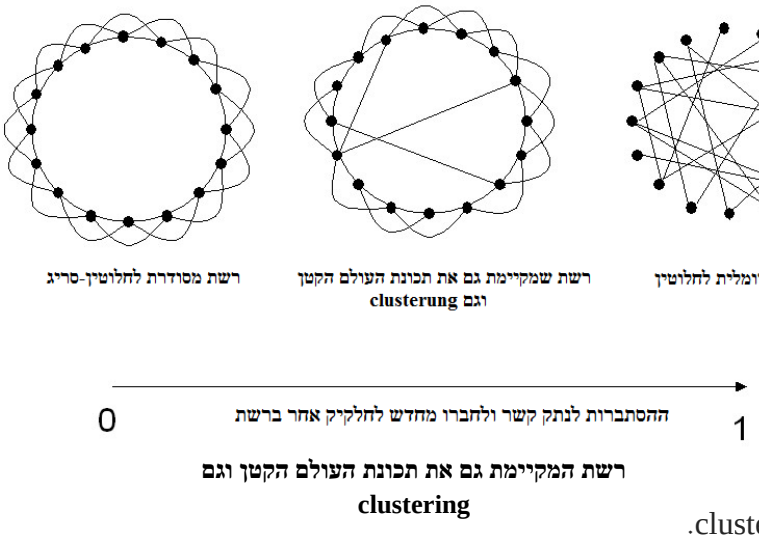
במודל ארדוש רניי תכונת ה-clustering אינה קיימת, שהרי במודל שלהם אנשים מתחברים אחד לשני באקראיות ולכן אין שום סיבה ליצירת צבירים. עקב כך יש צורך במציאת מודל אחר שמקיים גם את תכונת העולם הקטן וגם את תכונת ה-clustering.

מודל וואטס וסטרוגאטס

בעולם החברתי האקראי של ארדוש-רניי, הסיכויים ששני חבריי הקרובים מכירים זה את זה שווים לסיכויים שחברו הטוב של סנדלר באוסטרליה הוא צ'יף של שבט אפריקני. אלא שלא כך נראית החברה שלנו – ברוב המקרים שני חברים טובים מכירים זה את חבריו של זה. ככל שהקשרים בין שני אנשים הם חזקים יותר, כך גדלה החפיפה בין מעגלי החברים שלהם.

כדי להסביר את הימצאותם של הצבירים במרבית הרשתות הקיימות במציאות (תכונת ה-clustering) הציעו וואטס וסטרוגאטס, חלופה למודל הרשתות האקראיות של ארדוש ורניי. המודל דימה את האנשים ככאלה החיים על מעגל שכל אחד מהם מכיר את שכניו הקרובים. לכל אדם (או צומת) יש בדיוק ארבעה שכנים המחוברים זה לזה בשלושה קישורים. הבעיה היא שבמבנה זה עולמנו הקטן נעלם – מאחר ומי שקרוב אליי הם רק השכנים הקרובים שלי ואלה שסמוכים אליהם, כדי להגיע למישהו הנמצא בצד השני של המעגל איאלץ ללכת לאורך המעגל וללחוץ אינסוף ידיים לאורך הדרך. כדי לפתור בעיה זו חזרו וואטס וסטרוגאטס לאקראיות וקבעו את הכלל שלכל קשר במעגל בין חלקיק לשכנו, יש הסתברות מסוימת להתנתק מהשכן ולייצר קשר חדש עם חלקיק אקראי לחלוטין. כאשר ההסתברות להיקשרות מחדש היא

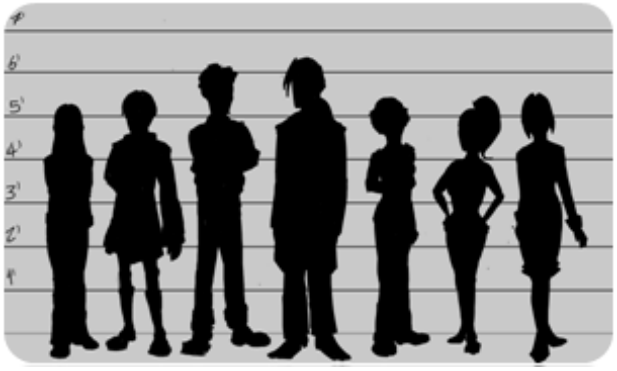
אפס, אנו נשארים במצב של שריג, מאחר ששום קשר לא מתנתק ומתחבר מחדש. כאשר ההסתברות היא אחד, כל הקשרים מתנתקים וחוזרים לעולם האקראי, הקטן וחסר הצבירים של ארדוש ורניי. אבל כאשר ההסתברות נמצאת בין שני ערכי הקיצון האלו, כך שרק חלק מהקשרים מתנתק וחלק לא, נוצר מצב שבו הרשת מספיק אקראית כדי שתכונת העולם הקטן תהיה קיימת ובו בזמן המבנה המסודר של המעגל נשמר ועמו תכונת ה-clustering.



רשת המקיימת גם את תכונת העולם הקטן וגם clustering

אם כן, מודל וואטס וסטרוגאטס מסביר את הדו-קיום של העולם הקטן וה-clustering, ובכך מעניק לנו תמונה יותר ריאליסטית של רשתות בטבע. אלא שההפתעה הגדולה חיכתה מעבר לפינה...

רשת חסרת סקאלה



התפלגות גבהי האנשים הנורמלית.

בשנת 1999, ראשית ימי ה-World Wide Web(WWW) החוקר אלברט לאסלו ברבאשי ושותפיו החלו במיפוי של רשת הקישורים האינטרנטית. הם מדדו את מספר הקישורים – דרגה – של כל אתר ואתר וחישבו את התפלגות הדרגות, דהיינו ההסתברות $P(k)$ שלאתר מסויים יש בדיוק k קישורים. החוקרים ציפו ש-$P(k)$ תתנהג כמו התפלגות חסומה (bounded distribution) בהתאם לניבוי המתמטי של רשת אקראית. מה רבה הייתה הפתעתם כשגילו שהיו הרבה מאוד צמתים עם דרגה נמוכה וביניהם צמתים בודדים עם מספר עצום של קישורים. מחקר מעמיק יותר גילה שהעקומה מתנהגת לפי חוק חזקה. דבר זה מפתיע מאוד מפני שמרבית ההתפלגויות מתנהגות לפי עקומת פעמון – התפלגות שדומה להתפלגות בעלת מקסימום. לדוגמה, אם ניקח את התפלגות הגבהים נגלה שאנשים שגובהם מעל 1.9 מטר ומתחת ל-1.5 מטר נדירים מאוד. חוקי החזקה שונים מאוד מעקומת הפעמון. ראשית, להתפלגות חזקתית אין מקסימום ויש הרבה מאורעות קטנים לצד מעט אירועים גדולים.



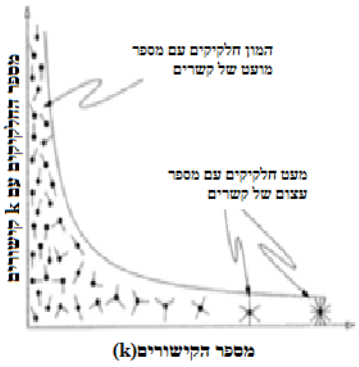
התפלגות גבהי האנשים. אם היא הייתה לפי חוקי חזקה, הרבה מאוד אנשים נמוכים ומעט אנשים בעלי גובה עצום.

אם התפלגות הגבהים הייתה מתנהגת לפי חוקי חזקה, היינו מקבלים שיש הרבה מאוד אנשים עם גובה נמוך, אבל אף אחד לא יופתע אם מדי פעם הוא יפגוש אדם בגובה של 30 מטר. למעשה בין שמונה מיליארד אנשים יהיה לפחות אדם אחד עם גובה של יותר משני קילומטר וחצי. מסתבר שכאשר בדקו רשתות אחרות, מלבד ה-web, גילו שגם הם מתנהגות לפי אותו חוק חזקה.

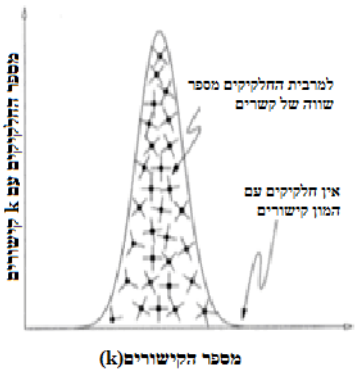
לדוגמה, לאתר שלי (שבניתי במסגרת שיעור מחשבים בבית הספר) יהיו במקרה הטוב שלושה קישורים. לעומת זאת, לענקי האינטרנט כמו Google ו-Facebook יש מיליונים על גבי מיליונים של קישורים. אתרים אלו הם אנלוגיים לאותם בני אדם נדירים שגובהם שני קילומטרים.

התפלגות החזקה היא תכונה בסיסית של מרבית הרשתות בטבע, וממחישה עד כמה רשתות אלו לא "דמוקרטיות" – כוללות מספר קטן של היפר מקושרים הנמצאים בדו-קיום עם רוב מכריע של צמתים קטנים.

התפלגות לפי חוקי חזקה



התפלגות נורמלית(לפי עקומת פעמון)

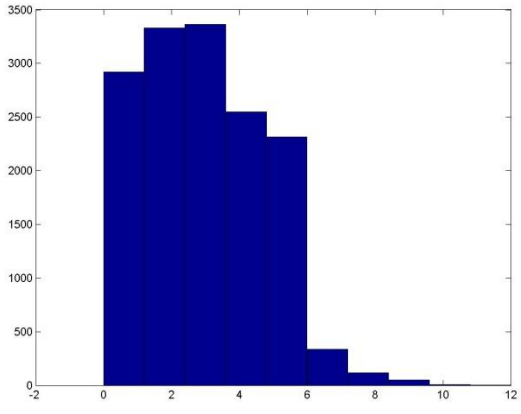


מודל ברבאשי אלברט

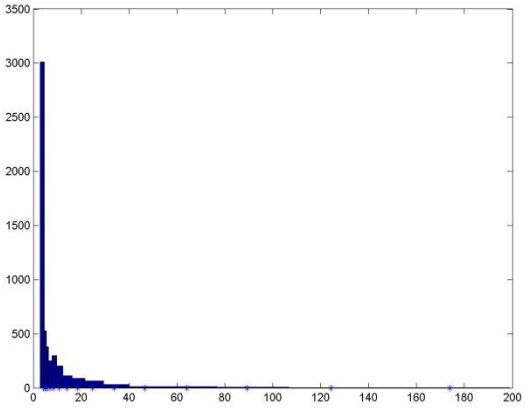
במאמר שיצא ב-1999, אלברט-לסלו ברבאשי ורקה אלברט הציעו מודל הכולל שני חוקים:

- **צמיחה** – הרשת מתחילה מכמה צמתים בודדים שמקושרים אחד לשני, וכל פעם מוסיפים צומת נוסף לרשת היוצר מספר מסוים של קשרים עם הצמתים שכבר קיימים. עיקרון זה הופך את המודל לשונה משני המודלים הקודמים שבהם הרשת התחילה עם מספר צמתים מסוים ואילו פה מספר הצמתים מתפתח בזמן.
- **התקשרות מועדפת** – ההסתברות של צומת חדש לבחור להתחבר לצומת מסוים פרופורציונית למספר הקישורים שיש לצומת הנבחר. כלומר, אם לצומת אחד יש פי שניים יותר קישורים מאשר לצומת אחר, ההסתברות שהוא יתחבר לצומת המקושר גדולה פי שניים מההסתברות שהוא יתחבר לצומת השני.

החוקים הללו גרמו להעדפה ניכרת של הצמתים הוותיקים כי הם היו ברשת מלכתחילה והם יכולים להשתתף בבחירות רבות יותר של קישורים חדשים משאר הצמתים. בנוסף, כל קישור שנוצר לאותו צומת ותיק, מגביר את הסיכוי שצמתים עתידיים יתקשרו אליו. אם כן, במודל זה המקושרים נעשים מקושרים יותר, כך שכעבור זמן נוצר מיעוט של צמתים בעלי קישורים רבים ורוב בעל מספר נמוך של קישורים.

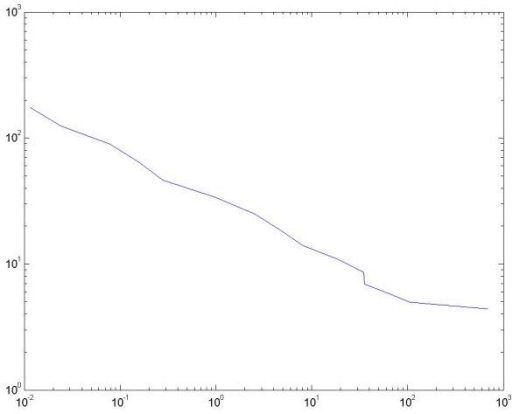


התפלגות הדרגות של רשת לפי מודל בארבשי אלברט



התפלגות הדרגות של רשת לפי ממודל ארדוש רניי

במילים אחרות – המודל הזה מנבא את תכונת חוסר הסקאלה. בגלל שיש חלקיקים שמחוברים למספר גדול של חלקיקים אחרים ברשת זה מקטין בהרבה את המרחק הממוצע של הרשת וכך גורם להיווצרות תכונת העולם הקטן. עם זאת, מודל זה לא יוצר את תכונת ה-clustering לכן גם הוא אינו מושלם לתיאור הרשתות בטבע.



המודל המוצע/מטרות העבודה

המודלים הקיימים אינם תומכים בכל שלוש התכונות המאפיינות רשתות בטבע. ארדוש-רניי מנבאים את תופעת העולם הקטן אך לא את ה-clustering ולא את חוסר הסקאלה; וואטס-סטרוגאטס מנבאים את ה-clustering אך לא את חוסר הסקאלה וברבאשי-אלברט מצליחים לתפוס את חוסר הסקאלה אך במחיר ויתור על ה-clustering. לפיכך, מטרתנו היא לפתח מודל אשר מקיים את כל התכונות ומאפשר לשחזר את המבנים הנצפים בעקביות ברשתות בטבע.

שיטת המחקר

התפלגות הדרגות בסקאלה לוגריתמית של רשת לפי מודל בראבשי אלברט

כדי להבין את הבעייתיות שלנו נסתכל על המודלים הקיימים. קל לראות שהמודל המדויק ביותר הוא מודל בראבשי אלברט בגלל תכונת הצמיחה שלו שמייצגת אלמנט מציאותי, שהרי רשתות לא נוצרות יש מאין אלא מתפתחות בהדרגה. השאלה היא – כיצד לשנות את המודל כך שישחזר גם את תכונת ה-clustering.

כדי להגיע למודל הרצוי נחזור לטבע ונשאל את עצמנו מה גורם לנוירונים במוח, לחלבון בגוף האדם ולאנשים ברשת החברתית להתגבש לצבירים קטנים בו כולם קשורים, מגיבים ומכירים אחד את השני? מה גורם למייקל ולדניאל המשחקים ביחד טניס בימי שישי להכיר את מיכל שגם היא משחקת טניס באותו מגרש?

ובכן, התשובה היא כמעט ברורה מאליה – שניהם משחקים טניס בימי שישי. אפשר לגרור דבר זה לגבי כל סוגי הרשתות – לנוירונים שאחראים על אותה מערכת במוח יש סיכוי יותר גדול להיות מקושרים אחד לשני מאשר לנוירון במערכת שונה לגמרי, בדיוק באותה צורה שלשני אנשים שלמדו באותו בית ספר יהיה יותר סיכוי להכיר אחד את השני מאשר אדם שחי במדינה שונה. כך גם כשחלבון מקיים ריאקציה כימית עם חלבון אחר, ישנה סבירות גבוהה לכך שהוא גם מקיים ריאקציה כימית עם חלבונים שכנים, החולקים דמיון כימי או ביולוגי. לבסוף, ניתן לראות זאת גם באינטרנט בו לאתר המעריצים של הארי פוטר יש סיכוי הרבה יותר גדול להתחבר עם אתר המעריצים של מלחמת הכוכבים מאשר לאתר של קבוצת הכדורגל של הפועל רמת גן.

אם כן, לכל צומת יש מספר מסוים של מאפיינים. לדוגמה, אם החלקיק הוא בן אדם אז מאפייניו הם באיזה מדינה הוא חי, איזה סדרות טלוויזיה הוא אוהב, מה העבודה שלו וכו', וככל שיש יותר מאפיינים משותפים בין שני חלקיקים כך גדלה ההסתברות שהם יצרו קשר. ניתן לאפיין את הנטייה הזאת להיקשר לצמתים דומים לנו על ידי כך שנחשוב על כל צומת כעל מערכת רב ממדית של "תכונות", כגון מקום מגורים, תחומי עניין (בני אדם), תכונות כימיות (חלבונים) או פעילות נוירולוגית (נוירונים). את התכונות

נייצג על ידי וקטור בינרי של אחדות ואפסים, לייצוג קיומה או אי-קיומה של תכונה כלשהי. כך למשל, צומת כלשהו i מיוצג על ידי $\overrightarrow{v_i} = (1,0)$ – דהיינו "לא אוהב כדורגל" (0), אך כן "מתעניין ברשתות" (1), וצומת j על ידי $\overrightarrow{v_j} = (1,1)$ – דהיינו אוהב גם כדורגל וגם רשתות. כל תכונה נוספת שנרצה לכלול תוסיף עוד איבר לווקטור, כלומר תעלה את הממד של הצמתים. הרעיון הוא שצמתים דומים נוטים להיקשר, כך שההסתברות לקשר עולה ככל שלזוג הצמתים יותר תכונות משותפות. לדוגמה, הקישור בין (1,1) ל-(1,1) הוא הכי סביר, בין (1,1) ל-(1,0) או (0,1) פחות סביר, ובין (1,1) ל-(0,0) הכי פחות סביר. לפיכך נגדיר את הדמיון בין שני צמתים כ- $S_{ij} = \frac{\overrightarrow{v_i} \cdot \overrightarrow{v_j}}{\sqrt{v_i^2 v_j^2}}$ המקיים $S_{ij} = 1$ כאשר לשני צמתים תכונות זהות ($\overrightarrow{v_i} = \overrightarrow{v_j}$), ו-$S_{ij} = 0$ כאשר לצמתים אין אף תכונה משותפת ($\overrightarrow{v_i} \perp \overrightarrow{v_j}$).

את המודל נבנה על פי החוקים הבאים:

- **צמיחה** – הרשת מתחילה משלושה צמתים שמקושרים אחד לשני, ובכל צעד מוסיפים צומת לרשת והוא יוצר שלושה קשרים עם שלושה צמתים שכבר קיימים ברשת.
- **התקשרות מועדפת על בסיס דמיון** – במודל זה ההסתברות שחלקיק חדש שמתחבר לרשת יבחר להתחבר לחלקיק שכבר קיים ברשת פרופורציונית לשני דברים:
  1. למספר הקישורים שיש לחלקיק הקיים, כמו במודל ברבאשי-אלברט (k).
  2. למידת הדמיון בין שני הצמתים בחזקת הפרמטר האי-שלילי β. דהיינו S_{ij}^{β}.

אם כן ההסתברות של צומת חדש j להתחבר לצומת i הקיים היא: $P_j(i) = \frac{S_{ij}^{\beta} \times k_i}{\sum_{n=1}^{N} S_{nj}^{\beta} \times k_n}$

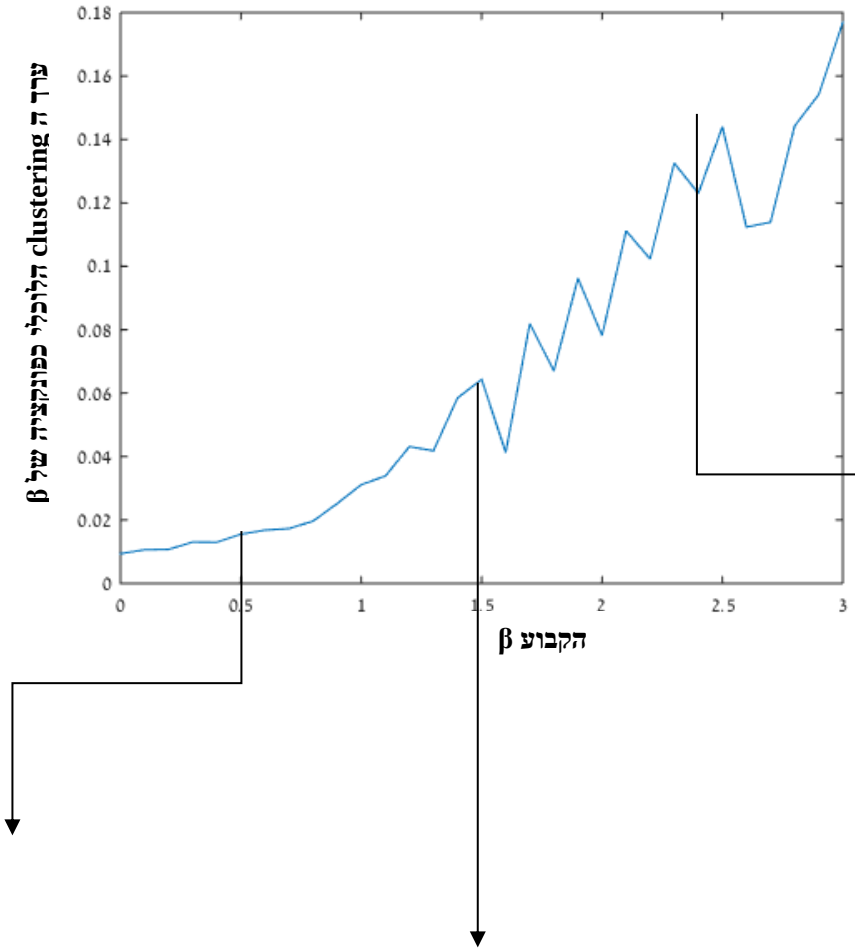
כאשר N מספר הצמתים שכבר יש ברשת ברגע ההוספה. הקבוע β מאפשר לנו לשלוט במה שנכנה "החמימות של הרשת": כאשר β קטן אז השפעת הדמיון S_{ij} קטנה גם היא (כש β=0 הוא בכלל לא משפיע וחזרנו למודל ברבאשי אלברט). זה אומר שחלקיק יוכל להתחבר לחלקיקים שהם לא כל כך דומים לו – נכנה מצב זה כרשת "חמה".

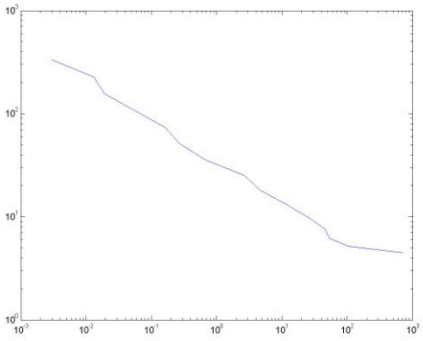
כאשר β גדול אז לדמיון של שני חלקיקים יש משקל גדול בהסתברות ליצירת קשר בניהם, וכך חלקיקים יתחברו בעיקר לחלקיקים שדומים להם – נכנה מצב זה כרשת "קרה".

כעת נניח שלחלקיק i יש שני חלקיקים הדומים לו מאוד – j ו-k. סיכוי גבוה שיווצר קישור בין i לשני חלקיקים אלו. אולם, ברגע שלדמיון יש תפקיד ביצירת קשרים, ישנה הסתברות גבוהה לקישור גם בין j ל-k. אכן, כיוון ששני האחרונים דומים ל-i, סביר שהם גם דומים האחד לשני. אם כך נקבל רשת בעלת נטייה לייצר משולשים, כלומר שתיווצר לנו תכונת ה-clustering המבוקשת. ככל שהרשת "קרה" יותר(β גדול יותר) כך תכונת ה-clustering תופיע באופן יותר חזק ומודגש ברשת.

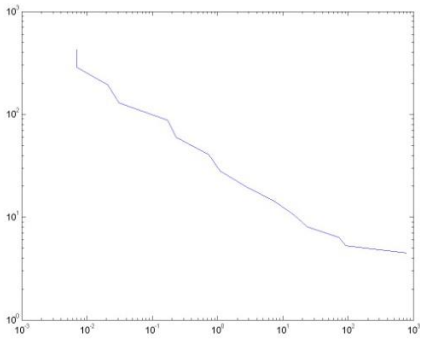
ממצאים

בדיקה חישובית של המודל תוכיח שאכן השערתנו מתקיימת. כפי שניבאנו ניתן לראות כי ככל שערכו של β עולה, כך גדל ערך ה-clustering. עבור β=3 נקבל clustering של 0.18 הגדול פי 20 מערך ה-clustering המתקבל ממודל ברבאשי-אלברט הקלסי (שהרי הוא הערך בנקודה β=0).

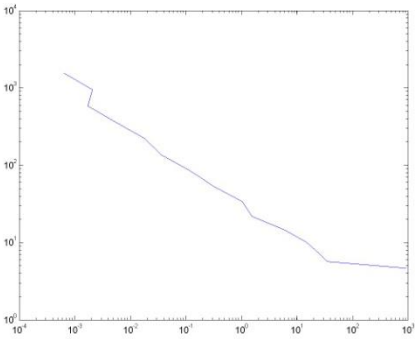




התפלגות הדרגות כאשר β=0.5



התפלגות הדרגות כאשר β=1.5



התפלגות הדרגות כאשר β=2.5

עבור כל רשת שייצרנו חישבנו גם את התפלגות הדרגות, ואכן מצאנו שהמודל שלנו מייצגת רשתות חסרות סקאלה עם התפלגות חזקתית כנדרש (אפשר לראות זאת בשלושת ערכי ה-β הנבחרים בגרף). נוכל גם לחשב את המרחק הממוצע של כל האיברים אחד מהשני ונקבל שלכל β הרשת קשירה (כלומר מכל צומת אפשר להגיע לכל צומת אחר באמצעות הקישורים בלבד) ושהמרחק הממוצע בין צומת לצומת אחר ברשת הוא 3.4889 צעדים כאשר הגדול ביותר הוא 6. והרי, כפי שדרשנו המודל מייצג רשתות שהן clustered, חסרות סקאלה ובעלות מבנה של עולם קטן.

מסקנות

הסתכלנו על המודלים הקיימים ובדקנו אם הם מקיימים את התכונות הבסיסיות של הרשת:

	עולם קטן	Clustering	חוסר סקאלה
מודל וואטס וסטרוגאטס	✓	✗	✗
מודל וואטס וסטרוגאטס	✓	✓	✗
מודל בראבשי אלברט	✓	✗	✓

ניסינו והצלחנו לפתח מודל מוגדר היטב שמקיים את כל שלושת התכונות:

המודל המוצע	✓	✓

ביבליוגרפיה

- Erdős, P.; Rényi, A. (1959). "On Random Graphs. I". *Publicationes Mathematicae* : 290–297.
- Watts, D. J.; Strogatz, S. H. (1998). "Collective dynamics of 'small-world' networks" . *Nature* **393** (6684): 440–442
- Albert, Réka; Barabási, Albert-László (2002). "Statistical mechanics of complex networks" . *Reviews of Modern Physics* **74**: 47–97.
- arabási, Albert-László; Albert, Réka (October 1999). "Emergence of scaling in random networks" . *Science* **286** (5439): 509–51.
- Baruch Barzel and Barabási, Albert-László , "Universality in Network Dynamics", *Nature Physics* 9, 673-681 (2013)

סדר ועיוותים במישור הגיאומטרי ושימושים בתצוגת נהג

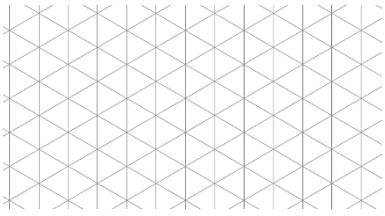
תלמידה: שירה בן דור, ירושלים

מנחה-עמית: ד"ר אסף דגני, General Motors, הרצליה

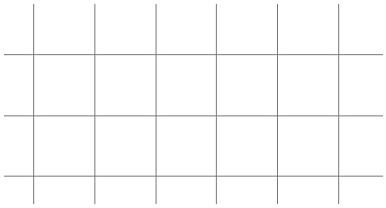


הרקע למחקר

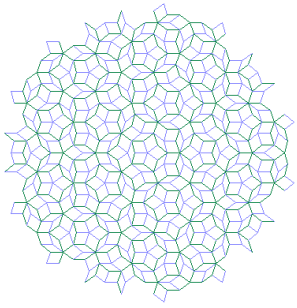
ריצוף גיאומטרי של המישור הוא כיסויו באריחים שונים, באופן שבו אין שני אריחים שעולים זה על זה ואין נקודה במישור שאינה מכוסה על ידי אריח. דוגמאות לריצוף פשוט של המישור הן ריצוף משולשים משוכללים וריצוף ריבועים (איורים 1 א' ו-1 ב'). ישנם סוגים שונים של ריצופים – יש כאלה המשתמשים בצורה אחת של אריח, וחוזרים על השימוש בה מבלי לסובב אותה או לשקפה אלא רק באמצעות הזזתה, כמו בדוגמאות הנזכרות לעיל; יש ריצופים שמשתמשים אך ורק ב**מצולעים משוכללים**, כלומר מצולעים שכל זוויותיהם שוות וגם כל צלעותיהם שוות, וישנם כאלה שלא; יש ריצופים שמערבים מספר רב של צורות, החוזרות על התבנית בה הן מונחות שוב ושוב, ויש כאלה שאין בהם מחזוריות כגון ריצוף פנרוז (איור 1 ג').



איור 1 א': ריצוף של המישור במשולשים משוכללים



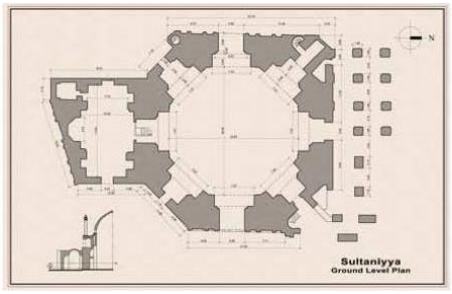
איור 1 ב': ריצוף של המישור בריבועים



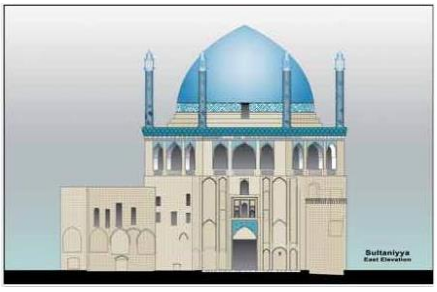
איור 1 ג': ריצוף פנרוז

העיר סולטנייה, נקודת הפתיחה של מחקרנו זה, הייתה עיר הבירה של האימפריה המונגולית האלחאנית באיראן במאה ה-14. העיר הוכרזה כבירה על ידי השליט אילג'ייטי (Öljeitü), שנולד למשפחה מונגולית והוטבל לנצרות בשם ניקולייה. כשגדל היה לבודהיסט ולאחר מכן הפך למוסלמי סוני ולבסוף – מוסלמי שיעי. בהמשך נראה כיצד מוטיבים דתיים אלו באים לידי ביטוי במבנה הקבורה שלו.

השריד העיקרי מתקופת שלטונו, הוא מבנה הקבורה (מאוזוליאום) שקרוי על שמו בסולטנייה (Mausoleum of Öljeitü in Sultaniyya, Iran). למבנה הקבורה כיפה דו שכבתית מרשימה, והיא הכיפה העתיקה ביותר מסוג זה ששרידיה נשמרו. במבנה יש פסיפסים וציורי קיר מרהיבים. לפי הכתובת שעל מבנה הקבורה, הקישוט החיצוני הסתיים בסביבות שנת 1310 לספירה. מבנה הקבורה בסולטנייה בנוי בצורת מתומן, כנראה משום שהמונגולים נהגו לבנות את בנייניהם כשהם פונים דרומה, אך המוסלמים בנו את הבניינים לכיוון מכה הקדושה, כלומר לכיוון דרום-מזרח, ומבנה מתומן יכול לפנות לשני הכיוונים האלה (איור 2 א').



איור 2 א': צורתו המתומנת של המאוזוליאום. לקוח מ: Blair, S. *Text and Image in Medieval Persian Art.* *P. 115*



איור 2 ב': הקיר המזרחי של המאוזוליאום. לקוח מ: Blair, S. *Text and Image in Medieval Persian Art.* *P. 115*



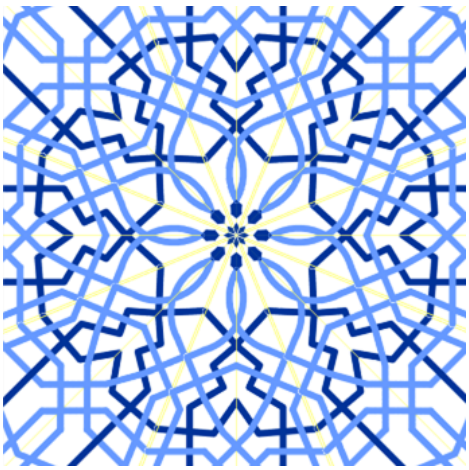
איור 2 ג': הפסיפס שמופיע על השער המזרחי במאוזוליאום. באדום (תוספת שלי) חיבור מחומש. לקוח מ: Michaud, R., Michaud S., & Barry, M. *Design and Color in Islamic Architecture: Eight Centuries of the Tile-Maker's Art*. P.129

בשער המזרחי של המבנה (איור 2 ב') יש פסיפס ובו מרקם גיאומטרי מעניין, אותו ניתחנו בעבודה זו (איור 2 ג'). הפסיפס לא חמק מפגעי הזמן, ובין השאר רעידת אדמה שהשאירה בו סדק גדול. לא ברור האם נעשה שחזור של הפסיפס או שהפסיפס שנמצא שם כיום הוא הפסיפס המקורי.
בפסיפס בסולטניה שבו נעסוק יש קישוטים אסלמיים המתאפיינים בצורות גיאומטריות ו"חבלים". היחסים בין הרבדים השונים בפסיפס אופייניים למנדלות בודהיסטיות, ומן הבודהיזם שאב האסלאם השיעי עקרונות מיסטיים כגון השתקפותם של מרחבי נפש במרקם.

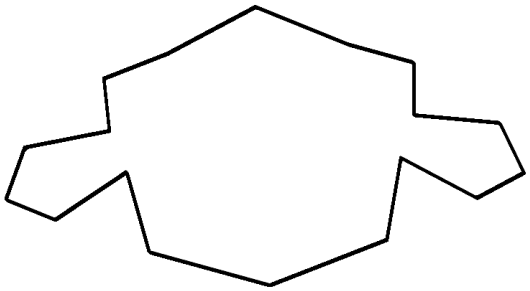
שיטת המחקר

המחקר לא התנהל בשיטה המדעית הטיפוסית שבה מעלים השערה ובודקים אותה. שיטת המחקר הייתה אופורטוניסטית – פעלנו באופן שבו לא ראינו מטרה ברורה לנגד עינינו, אלא על בסיס אינטואיציה וממצאים שעלו במהלך העבודה, ומהם התקדמנו הלאה. אמנם ידענו שנשתמש בממצאים בצורה כלשהי כדי לפתח מודל לתצוגות ברכב ושיטת מחשבה מיוחדת, אך לא ידענו כיצד.

מהלך המחקר



איור 3 א': מתומן מושכלל בסיסי

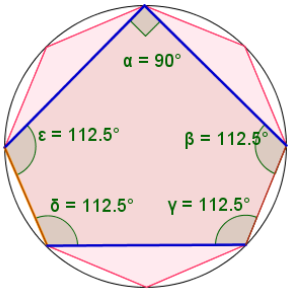


איור 3 ב': "צב" בריצוף הכחול

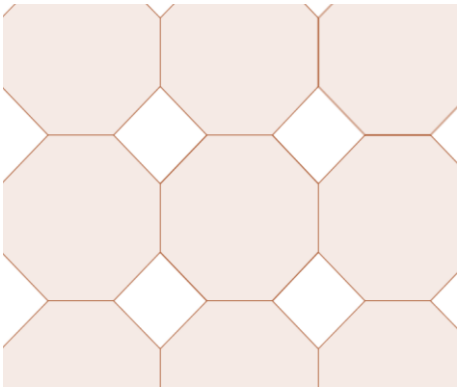
למחקר שני חלקים – ניתוח גיאומטרי והכנה לשימושים ברכב.

ניתוח גיאומטרי ושחזור הפסיפס

האתגר שעמד בפנינו הוא הבנת המרקם ומרכיביו. הנתון היחידי שהיה ברשותנו הוא תצלום מצומצם של הפסיפס (איור 2 ג') וגם תצלום באיכות ירודה של השער. בדקנו שימוש בהיוריסטיקות שונות לבניית סט של אפשרויות לריצוף.



איור 4 ב': מחומש ישר זווית

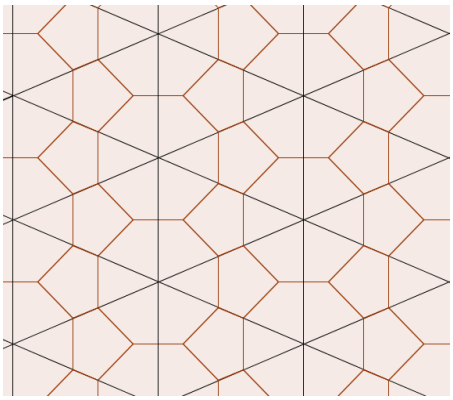


איור 4 א': ריצוף של המישור במתומנים משוכללים וריבועים

השלב הראשון בניתוח שלנו היה זיהוי היחידה הבסיסית בריצוף. יחידת המתומן תיקרא מעתה **מתומן בסיס** (איור 3 א') ויש בה שמונה חלקים משולשיים (שווי-שוקיים), ובכל אחד יש ציר סימטריה. את הריצוף מרכיבים קווים בשני צבעים – כחול ותכלת. החלק בצבע התכלת יקרא "**ריצוף חבלים**". לקווים שמרכיבים אותו אופי מתפתל – הם מתלפפים סביב חבריהם וממשיכים אל המישור, ואף לא מוגבלים לפניות בזוויות. החלק בצבע הכחול יקרא "**ריצוף צבים**", וכל צב הוא צורה בעלת "גוף" ושתי "רגליים" (איור 3 ב').

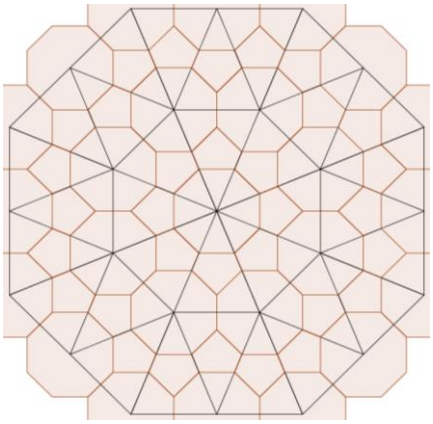
הצבים מחוברים כטבעות – הם מושחלים זה בזה, וכך נעשה החיבור ביניהם, ובניגוד לחבלים – הם מצולעים מובהקים. הן ריצוף החבלים והן ריצוף הצבים עומדים בפני עצמם כאירוח בסיסי, ולכן בהמשך ניתן יהיה להתבונן בכל אחד מהם בנפרד (Degani, Asherov & Lu, 2012).

נמשיך למבט כללי לשם ריצוף המישור – את המישור עלינו לרצף בעזרת מתומנים בסיסיים. לצורך כך נזדקק לצורה אחת נוספת לפחות (משום שהמתומנים המשוכללים לבדם לא יוכלו לרצף את המישור). אם נחליט להשתמש במרובע בתור הצורה הנוספת, ריבוע פשוט עם אורך צלע זהה לזה של המתומן יצור לנו ריצוף מלא של המישור (איור 4 א'), אולם כששמנו לב למחומש הקטן שרואים בעיטור השער המקורי (תמונה 2 ג'), בחרנו להשתמש במחומש בתור הצורה הנוספת. בחיפוש אחר המחומש הפשוט ביותר, כלומר כזה שזוויותיו קלות לבניה באמצעות סרגל ומחוגה, מצאנו את המחומש שאחת מזוויותיו ישרה, וכל שאר זוויותיו שוות זו לזו (112.5°) כך נוצר מחומש שניתן לציירו באמצעות מתומן. למחומש זה יש שלוש צלעות באורך הצלע של המתומן, ושתי צלעות קטנות יותר ושוות באורכן (איור 4 ב').

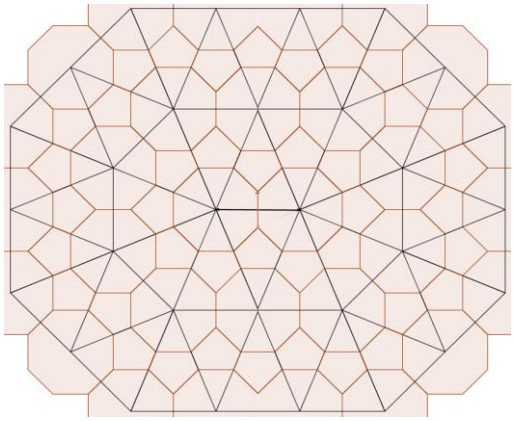


איור 4 ג': ריצוף של המישור במתומנים משוכללים ומחומשי ישרי-זווית עם סימטריית הזזה

בריצופים המשותפים של המחומש והמתומן המשוכלל יש בכל קודקוד מפגש של שלושה קודקודי צורות – שני מתומנים וזווית ישרה של המחומש, או שני מחומשים ומתומן, משיקולי זוויות. ניתן לסדר את המחומשים והמתומנים בדרכים שונות (איורים 4 ג', ד', ה'), בכל אחת מהדרכים יש מספר מתומנים במרכז, וסביבם שכבת מחומשים ושכבת מתומנים לסירוגין. בחרנו דרך שבה יש מתומן אחד שנמצא במרכז, וסביבו שכבות מתומנים, משום שזו הדרך האסתטית ביותר לדעתנו (איור 4 ד').



איור 4 ד': ריצוף של המישור במתומנים משוכללים ומחומשי ישרי-זווית עם ארבע סימטריות שיקופיות

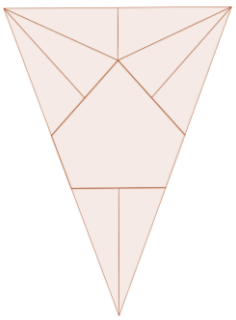


איור 4 ה': ריצוף של המישור במתומנים משוכללים ומחומשי ישרי-זווית עם שתי סימטריות שיקופיות

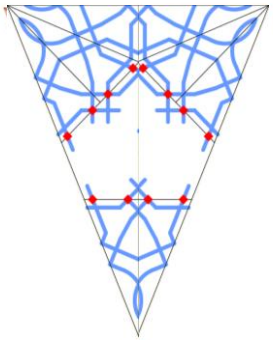
בעזרת "משולשי בסיס" (איור 5 א') ניתן ליצור כל ריצוף שמערב את המתומן המשוכלל והמחומש, בגלל שהמשולש כולל מחומש שלם ואת כל חלקי המתומנים שהוא מתחבר אליהם. בפסיפס המקורי רואים חלק מחיבור בין שני מתומנים, שהוא בצורת מחומש (באדום באיור 2 ג'). שמונת המשולשים הקטנים ב"משולש הבסיס" זהים זה לזה (שמונת המשולש באיור 5 א'), כך שנוצרת תמונה כמעט שלמה של הריצוף

המלא, מלבד חיבורי החבלים בתוך חצי המחומש (באיור 5 ב׳ רואים את החלק הריק בתוך המחומש ישר הזווית).

כדי למצוא כיצד מתחברים החבלים זה לזה, נתבונן בקצותיהם הנוגעים בחצי המחומש (מסומנים באדום). כמו כן נשים לב שכאשר יש ארבעה זוגות חבלים מקבילים, הם מתחברים כך שבמרכז החיבור נוצר ריבוע, וכך גם כאשר חמישה זוגות חבלים מקבילים נפגשים, ניתן לראות כי בריצוף הנתון הם מתחברים כך שבמרכז החיבור נוצר מחומש (באדום באיור 2 ג׳). אם כן, נפעל כך שבמחומש ישר הזווית שלנו החבלים יתחברו בצורת מחומש. בעזרת המעגלים המסומנים באיור, והישר הסגול ששימש כישר סימטריה עבור חלק מהחבלים, ניתן היה ליצור את החיבורים בין החבלים (איור 6 א׳). החיבורים בין החבלים הם חד משמעיים – בהנחה שהמעגלים אכן קיימים.

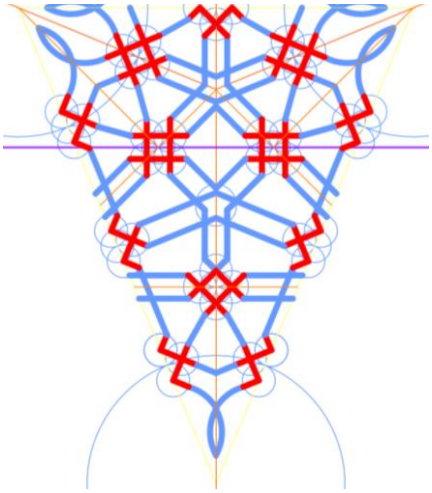


איור 5 א׳: משולש בסיס

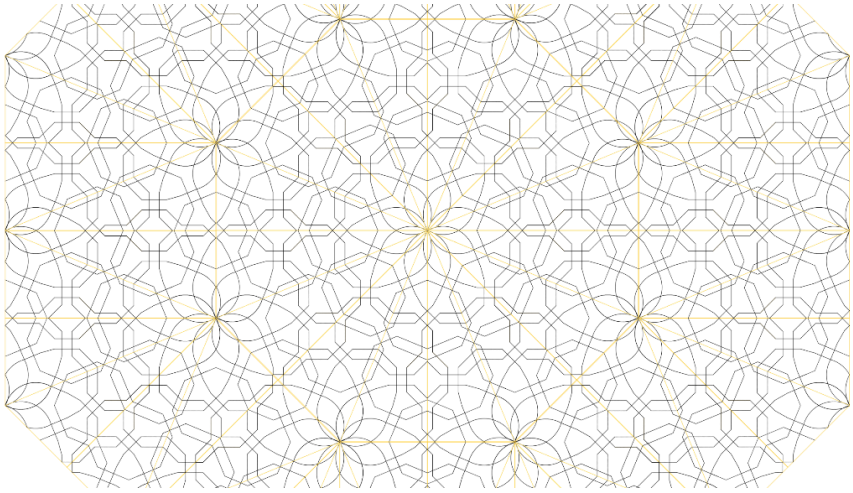


איור 5 ב׳: משולש בסיס ובתוכו החיבורים שידועים לנו

את הריצוף שנוצר על ידי סידור משולשי הבסיס (כמו שסודרו באיור 4 ד׳) ניתן לראות באיור 6 ב׳.

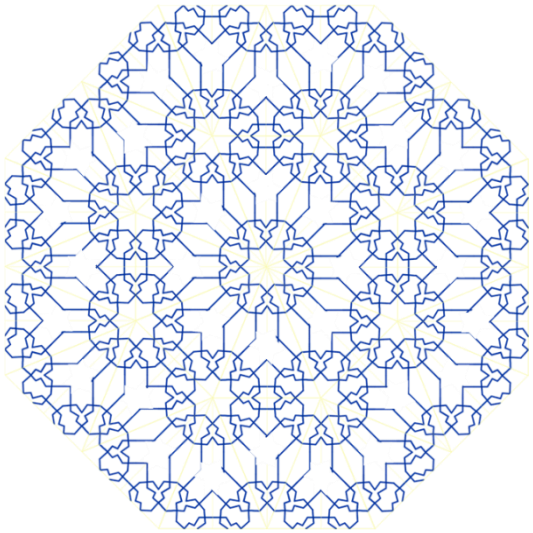


איור 6 א׳: משולש בסיס עם החבלים בצבע תכלת, נפגשים בצורת ריבועים (באדום) ושני מחומשים עם ציר סימטריה חלקית (בסגול)

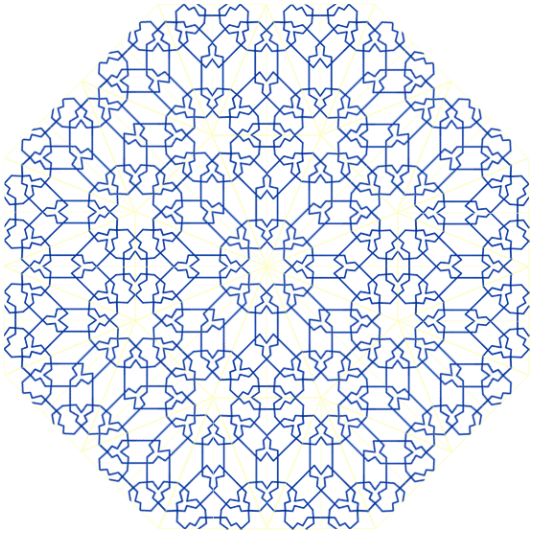


איור 6 ב׳: ריצוף חבלים של המישור בעזרת משולשי יחידה

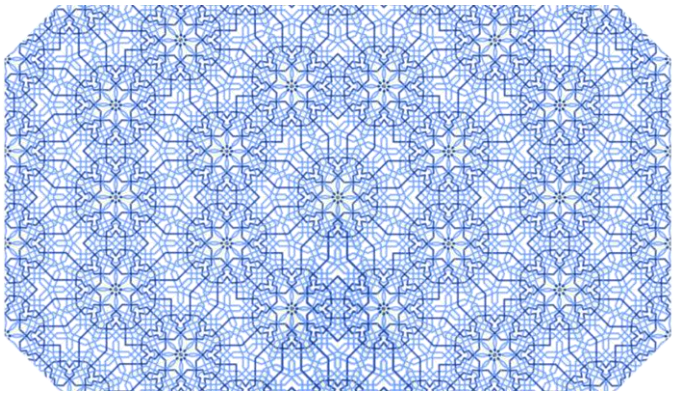
באשר לריצוף הצבים, קיימות שתי אפשרויות סבירות – האחת היא שהצבים נפגשים בשלישיות בעזרת קווים ישרים. את ריצוף הצבים המרווח שנוצר ניתן לראות באיור 7 א׳, ואת הריצוף הכולל ניתן לראות באיור 8 א׳; האפשרות השנייה היא שהצבים נפגשים בעזרת אלמנטים דמויי צבים כפי שניתן לראות בריצוף הצבים הצפוף באיור 7 ב׳, ואת הריצוף הכולל המתקבל ניתן לראות באיור 8 ב׳.



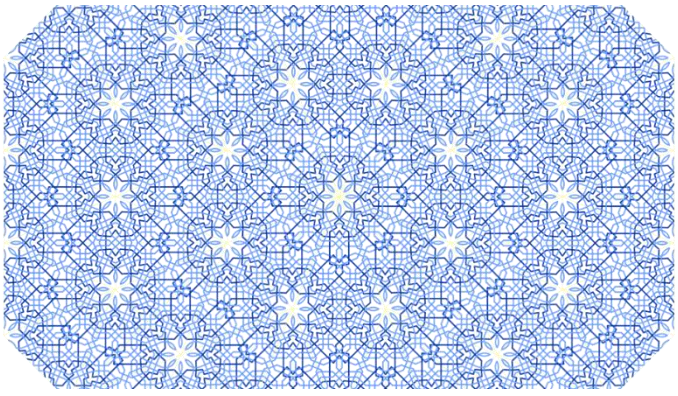
איור 7 א': ריצוף צבים מרווח של המישור בעזרת משולשי יחידה



איור 7 ב': ריצוף צבים צפוף של המישור בעזרת משולשי יחידה



איור 8 א': ריצוף חבלים וצבים של המישור בעזרת משולשי יחידה, כאשר הצבים מתחברים באופן מרווח



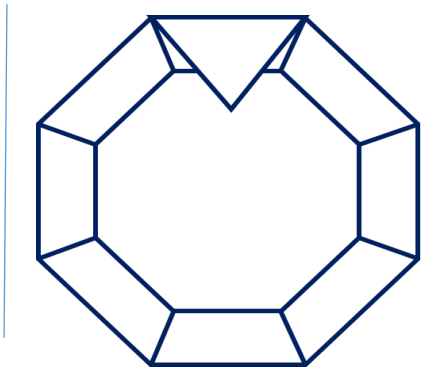
איור 8 ב': ריצוף חבלים וצבים של המישור בעזרת משולשי יחידה, כאשר הצבים מתחברים באופן צפוף

פיתוח תצוגות ברכב

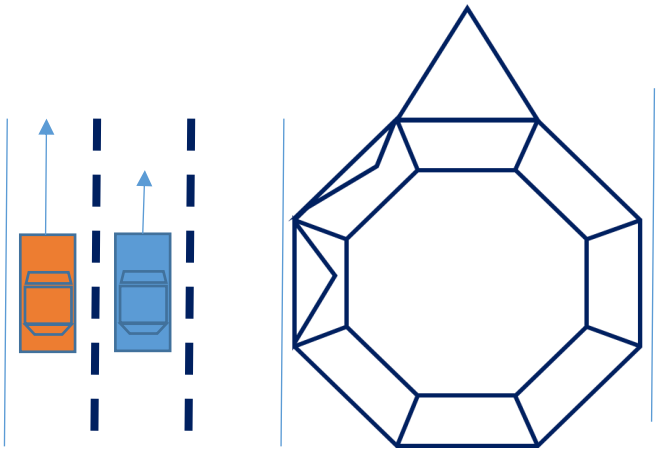
נעבור במעבר חד מהמאה ה-14 למאה ה-21 (פרק זמן של כ-700 שנה). במהלך העבודה חשנו כיצד עיוותים בריצוף גורמים לתחושות רגשיות של אי נוחות, פגיעות וחדירות למרחב האישי. חשבנו שניתן לרתום תופעה זו לצורך הבנה ותצוגה של מצב הכביש עבור הנהג. הנהג ברכב מתבונן על התמונה בכביש ומפענח אילו רכבים מהווים בעיה עבורו, אילו רכבים חודרים למרחבו האישי, והיכן מצויות בעיות פוטנציאליות בכביש וזאת על ידי שימוש ביכולת הרגשית שלו או שלה להבין סיכונים ולחוש פגיעות. תמונה מלאה זו של המצב בכביש, המשלבת את המישור הפיזי (מיקומי רכבים שונים, נתיבים וכו') והמישור הרגשי (מרווחי ביטחון וכו'), היא זו שאנחנו מנסים להסביר ולהעביר באמצעות התצוגה. חשבנו על התייחסות לרכב כיחידה בסיסית בריצוף.

בסקיצות הראשוניות בחרנו במתומן המשוכלל כיחידה בסיסית שתייצג את הרכב, ושמונה מחומשים ישרי זווית מכל צדדיו. יתרונו של המתומן בכך שהוא מספק חלוקה פשטנית של העולם לצפון-דרום-מזרח-מערב, ולצפון-מזרח וכיו״ב, והתחלנו לבחון את האפשרות שאופן הסתכלות מסוג זה אינטואיטיבי יותר לבני האדם. בשל היכרותנו עם המחומשים ישרי הזווית שמרצפים את המישור יחד עם המתומנים המשוכללים, בחרנו להשתמש גם בהם. הבחנו שעיוותים במחומשים ישרי הזווית מעוררים תחושות שונות והחלטנו לפתח את המודל וליצור מודל הוליסטי שיציג לנהג בצורה אבסטרקטית ופשטנית את המצב בכביש, תוך שימוש באמצעים רגשיים (Chernoff, 1972).

להלן מספר דוגמאות שימוש (use cases) למצבים בכביש שניתן לתארן באמצעות המבנה הגיאומטרי שהצענו. באיורים 9 א׳ ו-9 ב׳ ניתן לראות שרטוטים ראשוניים עבור שתי דוגמאות שימוש. עסקנו בשאלה כיצד ליצור מודל שמצד אחד הוא פשטני ופשוט להבנה, ומצד שני מסוגל לכסות את כל המקרים האפשריים בכביש (coverage), תוך העברת כל המידע החיוני לנהג.

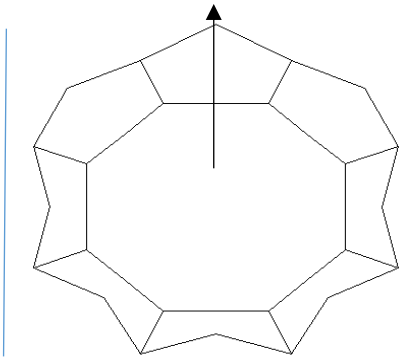


איור 9 א׳: השרטוט הגיאומטרי ששרטטי עבור רכב נוסע בנתיב האמצעי בכביש תלת נתיבי ולפניו רכב איטי, במרחק קצר מדי.

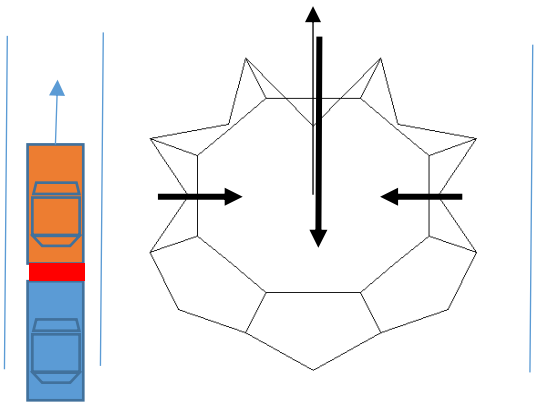


איור 9 ב׳: השרטוט הגיאומטרי ששרטטי עבור רכב נוסע בנתיב האמצעי בכביש תלת נתיבי ובנתיב השמאלי יש רכב מהיר ואגרסיבי.

בהמשך הוחלט שכל גורם בכביש יתורגם לנקודה בעלת כוח מושך או כוח דוחה – תנועתה של נקודה אקטיבית במודל, כלומר אחד מקודקודיהם העליונים של המחומשים, פרופורציונלית לשורש של שיקול הכוחות הפועלים עליה, בדומה לכוחות גרביטציה הפועלים בין גופים. מתכנית המחשב כבר הופקו השרטוטים הגיאומטריים המתאימים לדוגמאות שימוש (use cases) שונות. באיורים 10 א׳ ו-10 ב׳ ניתן לראות את שרטוטי התצוגה הראשוניים כפי שהתקבלו מתכנית המחשב, המשתמשות במודל פיזיקלי (כוח כבידה) לתיאור ״כוחות״ מרכבים מסביב.



איור 10 א': השרטוט הגיאומטרי מתוכנית המחשב כאשר הרכב נוסע בכביש פנוי. החצים מייצגים כוחות



איור 10 ב': השרטוט הגיאומטרי מתוכנית המחשב כאשר הרכב נוסע בכביש חד-נתיבי ולפניו רכב איטי. החצים מייצגים כוחות

מסקנות ומחשבות לעתיד

המסקנות והשאלות שעלו מהעבודה הן רבות ומגוונות בתחומיהן. בתחום הגיאומטרי והאלגוריתמי, יהיה מעניין למצוא אלגוריתם פורמלי (או פורמלי למחצה) שישלים חלקי מרקם פגום או חסר לכדי מרקם שלם, ויציע את כל האפשרויות ההגיוניות למישור. על ידי שימוש באלגוריתם כזה אפשר יהיה להעביר מידע על מרקם תוך שימוש ביחידה מצומצמת, אפילו יחידה שקטנה מהיחידה שיכולה לרצף את המישור. גישה אפשרית לפתרון הבעיה היא על ידי מציאת החלק המינימלי שבעזרת שיקופים, סיבובים והזזות שירצף את המישור כולו. כיוון שהחלק המינימלי נמצא במקומות שונים בחלק הריצוף ניתן להצליב מידע ולקבל מסקנות חד משמעיות. קיימות מספר היוריסטיקות שניתן להפעילן על חלקי ריצופים – היוריסטיקה אחת היא חיפוש צורות שחוזרות על עצמן ומילוי הפערים על ידי צורות שמתאימות לידוע, תוך צמצום מספר הצורות – שימוש בצורה אחת מלבד המתומן, במחומש ישר זווית (מספר מינימלי של צורות); היוריסטיקה נוספת היא שימוש בזוויות נוחות לבנייה.

בנוסף, יהיה מעניין למצוא שיטת הוכחה שתראה כי סט האפשרויות שמצא אלגוריתם שחזור כלשהו הוא סט מלא של כל האפשרויות להשלמת הריצוף או המרקם.

בתחום הרכב, ובאופן רחב יותר בתחום תצוגות של מערכות מודרניות, לריצופים גיאומטריים פוטנציאל רב הן בתצוגה הפונה לנהג והן כדרך ייצוג פרקטי של מערכות הכביש. שימוש בצורות פשוטות, המסמלות רכבים, מפשט את המצב ומאפשר יצירה של מודל תיאורטי. יתרון נוסף הוא שהמוח האנושי מסוגל לקלוט באופן מצוין עיוותים בצורות. אפשרות נוספת שיש לבחון היא הצגת הריצוף באופן היפרבולי, כך שהצורות ילכו ויקטנו ככל שנתקרב לשולי הצג, ועצמים רחוקים יותר יהוו חלק פחות משמעותי מהתמונה אך עדיין יזכו לייצוג.

כיוון נוסף שאפשר לפנות אליו במחקרים הבאים, הוא יכולת העברת האמוציות של תבניות גיאומטריות. ללא ספק יש למוח האנושי יכולת חזקה לשאוב מידע מתבנית גיאומטרית שהוא לא מסוגל לקלוט כשמוצגת לו היחידה הבסיסית בלבד. הפוטנציאל בהבנת הרגש שמעביר המרקם הגיאומטרי הוא רב. ניתן לרתום את השפעתה הרגשית של התבנית בפרסום ובעיצוב, ובפרט עיצוב חוויות משתמש ודחיפת אינפורמציה (Push) למפעיל.

האופן שבו ניתן לשאוב השראה ולהשתמש בעקרונות מקישוטי מבנה מהמאה ה-14 בשביל לבנות מודל לתצוגה ברכבים במאה ב-21 מעלה בי תהיות. אם בקישוט קיר ניתן לעשות שימוש בשביל תצוגה ברכב, יתכן שיש מקורות עתיקים נוספים שיעניקו השראה למפתחים ולמעצבים בצורה עמוקה הרבה יותר.

ביבליוגרפיה

Barshi, I., Degani, A., Iverson, D. & ,Lu, P.J. (2012). Using medieval architecture as inspiration for display design: Parameter interrelationships and organizational structure .*Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* ,vol. 56, pp. 1799-1803.

Blair, S. (2013). *Text and Image in Medieval Persian Art*. George Square, Edinburgh: Edinburgh University Press Ltd. p. 112-127.

Chernoff, H. (1973). The use of faces to represent points in k-dimensional space graphically. *Journal of the American Statistical Association*, *68*(342), 361-368.

Degani, A., Asherov, R. & Lu, P. J. (2012). *Tiles and patterns of a field: From byzantine churches to user interface design*. Proceedings of the 2012 Bridges (Art and Mathematics) Conference. Baltimore, MD July 22-25.

Lu, P. J & .Steinhardt, P. J. (2007) .Decagonal and Quasi-Crystalline Tilings in Medieval Islamic Architecture .*Science 315* ,p. 1106.

Michaud, R., Michaud S., & Barry, M. (1996). *Design and Color in Islamic Architecture: Eight Centuries of the Tile-Maker's Art*. New York: Vendome. p. 124-125.

Necipoglu, G. (1995). *The Topkapi Scroll – Geometry and Ornament in Islamic Architecture*. The Getty Center for the History of Art.

Shmueli, Y., Degani, A., Zelman, A., Asherov, R., Zande, D., Weiss, J & ,.Bernard, A. (2013). Toward a formal approach for information integration: Evaluation of an automotive instrument cluster .*Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society* .San Diego, CA: Human Factors Society .

בעיית המומחים בתורת המשחקים

תלמיד: עידן דור, הוד השרון

מנחה-עמית: פרופ' רוברט קראוטגמר, הפקולטה למתמטיקה ולמדעי המחשב

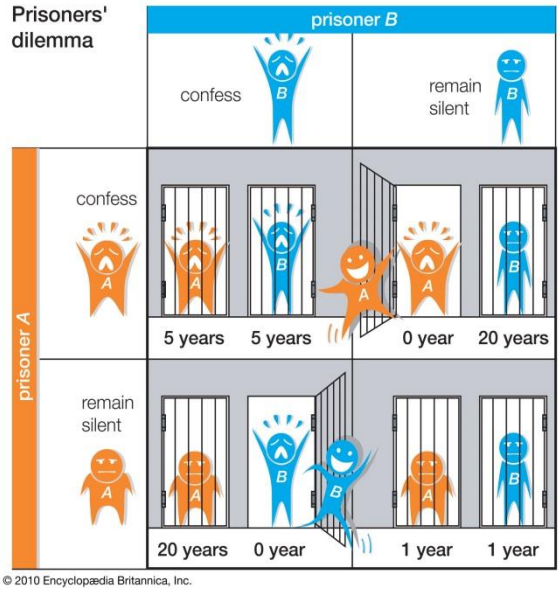
מכון ויצמן למדע, רחובות



מבוא

תורת המשחקים היא תחום של המתמטיקה והכלכלה המנתח מצבים של עימות או שיתוף פעולה בין מקבלי החלטות בעלי רצונות שונים. הניתוח נעשה בעזרת פישוט בעיות מסובכות למשחקים פשוטים יותר וניתוח של משחקים אלו.

דילמת האסיר



אחד המשחקים המוכרים ביותר מתורת המשחקים ידוע בשם **דילמת האסיר** – שני פושעים נתפסים על ידי המשטרה, אך כמות הראיות שיש למשטרה אינו מספיק כדי ששניהם ירצו שנים רבות בכלא. השוטרים, שיודעים זאת, מכניסים את שני האסירים לחדרים נפרדים ומציעים לכל אחד מהם להלשין על האחר בתמורה להפחתת האשמות נגדו. לכל אסיר שתי אופציות בלבד – להלשין על חברו או לנסות לשתף פעולה עם חברו בכך ששניהם ישמרו על שתיקתם. חשוב לציין כי אף אחד מהם אינו יודע מה עומד לעשות האחר ואינו יכול לשנות את עדותו.

בדילמה זו נהוג לתת מספרים לגבי כמות השנים שישב כל אסיר בכלא בכל אחד מארבעת המצבים האפשריים, כדי להקל על חישוב אסטרטגיות וכדי שיהיה יותר קל להבנתם. נניח כי:

- אם שני האסירים אינם מלשינים – כל אחד מהם ישב שנה בכלא;
- אם שני האסירים מלשינים אחד על השני – כל אחד מהם ישב חמש שנים בכלא;
- אם אחד מלשין והשני לא – זה שהלשין יצא לחופשי והאחר ישב עשר שנים בכלא.

האסירים בדילמת האסיר		אסיר ב	
		משתף פעולה	מלשין
אסיר א	משתף פעולה	שנה אחת שנה אחת	עשר שנים משוחרר לחופשי
	מלשין	משוחרר לחופשי עשר שנים	חמש שנים חמש שנים

כפי שניתן לראות, המצב שבו שני הצדדים משתפים פעולה עדיף על המצב שבו הם מלשינים אחד על השני – שיתוף הפעולה טוב לשניהם. לעומת זאת, במצב שבו רק אחד מלשין אז האחר במצב רע מאוד מכיוון שהוא יבלה עשר שנים בכלא, בניגוד למלשין שהרוויח בכך שיצא לחופשי.

ממסקנות אלו ניתן להבין את הדילמה שבסיסה שיתוף פעולה או הלשנה של שני האסירים בעלי אינטרסים שונים – כל אחד מהם רוצה את הדבר הטוב בשבילו. בנוסף לכך, לאחר הסתכלות נוספת על הדילמה ניתן לראות שכאשר אסיר מחליט להלשין הוא אינו גורם רע לעצמו. אם האחר מלשין – שניהם ישבו חמש שנים בכלא במקום שהוא ישב עשר שנים, ואם האחר אינו מלשין, מצליח האסיר להימנע מלהיות שנה בכלא. ניתן להסיק מכך כי לכל שחקן האסטרטגיה הטובה עבורו היא שתמיד עליו להלשין על חברו לפשע.

מסקנה זאת היא מעניינת כי ברור שאם שני האסירים יחליטו מראש לשתף פעולה – שניהם יכולים להיות בכלא שנה אחת בלבד. מכיוון שהאינטרסים של כל אסיר כוללים רק את עצמו, אז המהלך המשתלם הוא להלשין, למרות שיכול להיות שאם שניהם ילשינו אז שניהם יהיו חמש שנים בכלא במקום שנה אחת אילו היו משתפים פעולה.

וריאציית משחקים חוזרים ואסטרטגיות במצב זה

בתורת המשחקים יש סוג של משחקים שבו האינטראקציה בין השחקנים אינה מסתיימת לאחר סיבוב אחד של המשחק, אלא יכולה לחזור שוב ושוב, פעם אחר פעם, ובכל פעם ניתנת לשחקנים האופציה להחליט מה הם רוצים לעשות בסיבוב הזה.

ההבדל בין משחק חד פעמי למשחק חוזר משפיע על האסטרטגיה הטובה ביותר, ואדגים זאת על דילמת האסיר. במשחק חוזר של דילמת האסיר הסיטואציה התאורטית היא שאחרי שהפושעים יוצאים מהכלא הם חוזרים לעולם הפשע ונתפסים שוב. בהגדרה זו של הדילמה, אם אסיר א תמיד משתף פעולה ואסיר ב מלשין עליו לפעמים, יכול להיות שמשתלם לאסיר א לא להלשין, כי גם אם לפעמים אסיר א יושב עשר שנים בכלא, במרבית המקרים הוא יושב רק שנה אחת, ומצב זה משתלם יותר עבורו מאשר ששני האסירים תמיד ילשינו אחד על השני ושניהם ישבו חמש שנים בכלא בכל סיבוב של המשחק.

מכאן ניתן להסיק כי, באופן כללי, במשחק חוזר האסטרטגיה האופטימלית יכולה להיות שונה וכוללת גם את היחס בין כמות המקרים הרעים (כאשר מלשינים על האסיר) לבין המקרים שבהם התוצאה היא מאוד טובה לאותו אסיר (שניהם משתפים פעולה).



דוגמה נוספת למשחק חוזר היא **קבלת החלטות ביחס למזג האוויר**. בימי החורף עלינו להחליט האם לקחת מטריה בבוקר או לא. זהו מצב של משחק חוזר, והפעם השחקנים הם האדם והטבע. חשוב לציין שבמצב זה מזג האוויר הוא שחקן אדיש והחלטותיו של האדם אינן משפיעות האם ירד גשם באותו יום או לא. כלומר, אם האדם ייקח מטריה לא תהיה לזה השפעה על מזג האוויר באותו יום או בעתיד.

		האדם	
		בעיית מזג האוויר	
		לא לקחת מטריה	לקחת מטריה
מזג האוויר	יום בהיר	שום דבר	אילוץ להסתובב עם מטריה
	יום גשום	רטיבות	שום דבר

ברור אם כן, שאם האדם חוזה את מזג האוויר הוא במצב רווחי, שכן הוא אינו עושה עבודה מיותרת ובכל זאת לא נרטב. לעומת זאת, אם האדם איננו מצליח לחזות את מזג האוויר – הוא עושה עבודה מיותרת או נרטב בגשם.

נניח שכדי להחליט האם לקחת מטריה או לא, משתמש האדם בכמה אתרי תחזית מזג האוויר, שחלקם ממליצים לקחת מטריה וחלקם ממליצים לא לקחתה. על האדם לגלות עד כמה כל חזאי מהימן בתחזיתו, ולהסיק לאיזה מן החזאים עליו להקשיב אם ברצונו להישאר יבש. בעיה זו נקראת – **בעיית המומחים** – על השחקן להחליט באיזו אסטרטגיה להשתמש מבין אלו המוצעות לו על ידי קבוצת מומחים.

בבעיית המומחים צריך להחליט למי מהם יש להקשיב. ניתן לחשב לכל מומחה מהו ערך דעתו, שכמובן משתנה בהתאם להצעותיו. בעזרת שינוי ערכים אלו באופן אקספוננציאלי ניתן להגיע במהרה למצב שבו ערכי המומחים שטעו פעמים רבות הם מאוד נמוכים, ולהפך עבור המומחים שצדקו פעמים רבות. שיטה

זאת מאפשרת לאדם להחליט לאיזה מומחה כדאי להקשיב, ובכך להביא למינימום את מספר הפעמים שבהם הוא אינו מנחש נכון מה יהיה מזג האוויר באותו יום.

דירוג התוצאות בתורת המשחקים

בתורת המשחקים השאלה לרוב היא – מהי האסטרטגיה הטובה למשחק נתון. לדוגמה, בדילמת האסיר, במשחק בודד, אם המטרה היא להקטין את מספר השנים שבהם אדם יושב בכלא, אזי האסטרטגיה הטובה ביותר היא להלשין.

שיטה שמשתמשים בה רבות למציאת השחקנים הטובים ביותר במשחקים, היא **שיטת הטורניר** (ידועה גם בשם שיטת נוק-אאוט). בשיטה זו כל קבוצה משחקת נגד קבוצה אחרת ואז מחצית הקבוצות – אלה שניצחו – עוברות לשלב הבא ומשם ממשיכים עד לגמר, שבו מוכתר המנצח כאלוף הטורניר. בעזרת הטורניר במשחקים רבים, לדוגמה כדורסל וטניס, ניתן להכריע מיהו השחקן הטוב ביותר.

לטורנירים יש בעיות רבות ובמצבים רבים תינתן תוצאה שאיננה בהכרח נכונה. אדגים זאת בעזרת טורניר של משחק חוזר של דילמת האסיר בין ארבעה שחקנים:

1. האסטרטגיה של שחקן א היא תמיד להלשין על חברו במטרה להקטין את מספר השנים שיהיה בכלא;
2. האסטרטגיה של שחקן ב היא תמיד לשתף פעולה כדי שאם שני הצדדים ישתפו פעולה, שניהם ישבו בכלא מספר קטן של שנים;
3. האסטרטגיה של שחקן ג היא תמיד להתנהג כלפי חברו כפי שאויבו התנהג אליו בסיבוב הקודם – אם בסיבוב הקודם של המשחק הלשינו עליו אז בפעם הבאה הוא ילשין על חברו. שחקן ג יתחיל בניסיון לשיתוף פעולה עם חברו;
4. שחקן ד יתנהג כמו שחקן ג אלא שהוא יבחר את מעשיו בהתאם למה שעשה חברו בשלושת הסיבובים האחרונים – אם חברו הלשין עליו יותר מאשר ששיתף פעולה עמו, שחקן ד ילשין עליו ולהפך.

בטורניר שבו משתתפים ארבעת השחקנים האלו קיימת בעיה – הוא איננו יכול לטפל במצבים של תיקו. כאשר שחקנים ב ו-ג משחקים אחד נגד השני, לא משנה מספר הסיבובים של דילמת האסיר שנעשה – שניהם ישתפו פעולה ולכן ילכו לכלא לתקופת זמן זהה. במצב כזה הטורניר איננו עובד כי הוא אינו יכול לקבוע מי מהשחקנים יעבור לשלב הבא. כדי לפתור בעיה זאת בתחרויות אמתיות משתמשים בשיטה של הארכת המשחק עד שיהיה מנצח. פתרון זה לא יעזור במקרה שלנו כי הם תמיד ימשיכו לשתף פעולה.

כדי לפתור את בעיית התיקו נתבונן בשתי שיטות נוספות לדירוג אסטרטגיות – הראשונה, שיטה הדומה לשיטת הטורניר אך כאשר יש תיקו שני השחקנים נשארים בתחרות. **שיטת הליגה** היא שיטה שבה כולם משחקים נגד כולם, והמנצחים הם אלה עם מספר השנים הנמוך ביותר בכלא. בשתי שיטות אלה הקבוצה/ות שנשארו הן הקבוצות הטובות ביותר, ולכן יכולות להיות אסטרטגיות שטובות באותה מידה.

אם נשתמש בשיטות אלו על ארבעת השחקנים, כך שכל משחק אורך 100 סיבובים, תתקבלנה התוצאות הבאות:

מספר השנים שהשחקן יושב בכלא	שחקן א	שחקן ב	שחקן ג	שחקן ד
שחקן א	/	0 שנים	495 שנים	485 שנים
שחקן ב	1000 שנים	/	100 שנים	100 שנים
שחקן ג	505 שנים	100 שנים	/	100 שנים
שחקן ד	515 שנים	100 שנים	100 שנים	/

מהתוצאות ניתן להסיק כמה מסקנות – כאשר שחקן א נמצא במשחק הוא תמיד ינצח. מסקנה זאת הגיונית מכיוון שבכל סיבוב ברור כי שחקן א אינו יכול לשבת בכלא שנים רבות יותר מאשר חבריו לפשע. לפיכך, **שיטת הטורניר** תראה כי שחקן א הוא בעל האסטרטגיה הטובה ביותר. מצד שני, אם נשתמש **בשיטה הליגה** שלפיה צריך לסכם את מספר השנים שכל שחקן היה בכלא, ניתן לראות ששחקן א אינו המנצח אלא שחקן ג הוא זה שיושב בכלא מספר שנים מועט ביותר. הבדל זה נגרם בגלל ששחקן א מלשין הרבה על חבריו לפשע הוא מבלה הרבה שנים בכלא, אם הם גם מלשינים עליו לעומת שחקנים ב, ג ו-ד, שמצליחים לגרום לשיתוף פעולה ולכן למספר נמוך יותר של שנים בכלא. דוגמה זאת מדגישה כי שיטות שונות לדירוג אסטרטגיות יכתירו אסטרטגיות אחרות כטובות ביותר, כי יוחלט על פי פרמטרים שונים.

הבדל בין יריב אדיש ליריב מגיב ובעיית המומחים

ניתן לחשוב כי בעזרת בעיית המומחים אפשר למצוא אסטרטגיה אופטימלית לכל סוגי האויבים בתחרות של דילמת האסיר. מחשבה זאת איננה תמיד נכונה ואסביר מדוע.

את דילמת האסיר ניתן לחלק לשניים – בקטגוריה הראשונה השחקנים אדישים. לשחקנים אלו, כמו הטבע בבעיית מזג האוויר, לא אכפת מה עשו השחקנים האחרים בסיבובים קודמים ואינם תלויים בסיבובים שהיו. דוגמה נוספת לשחקן אדיש היא שחקן א שתמיד מלשין על חברו ללא קשר למה שחברו עשה לפני כן.

לעומת השחקנים האדישים, יש שחקנים המגיבים לאויביהם – האסטרטגיות שלהם בנויות בדרך כלל על הבנת השחקן האחר, ניסיונות לשיתוף פעולה ואם לא – הגבה בהתאם. דוגמה לשחקן מסוג זה הוא שחקן ד אשר מגיב לפי שלושת הסיבובים האחרונים שאויבו עשה.

כאשר השחקנים הם אדישים, לשחקן המבוסס על בעיית המומחים אין בעיה להגיע לאסטרטגיה טובה ולעיתים אף אופטימלית. אדגים זאת בעזרת סימולציה לשחקנים שהחלטתם היא רנדומלית לחלוטין ושחקן שמשתמש בשחקנים האחרים כמומחים. כלומר, שחקן א יחליט מה לעשות לפי מה ששחקנים ב-ד ימליצו לו לעשות על פי האסטרטגיה שלהם. אקבע כי ירצו 100 סיבובים של דילמת האסיר בכל פעם.

מספר השנים שהשחקן יושב בכלא	שחקן א שחקן הנעזר בבעיית המומחים	שחקן ב 50% סיכוי להלשנה	שחקן ג 30% סיכוי להלשנה	שחקן ד 90% סיכוי להלשנה
שחקן א	/	362 שנים	244 שנים	642 שנים
שחקן ב	502 שנים	/	267 שנים	685 שנים
שחקן ג	484 שנים	477 שנים	/	711 שנים
שחקן ד	342 שנים	315 שנים	201 שנים	/

סימולציה זאת מדרגת לפי שיטת הליגה את השחקנים בדרך זו:

1. שחקן ד.
2. שחקן א.
3. שחקן ב.
4. שחקן ג.

מהסימולציה ניתן להסיק כי למרות שהשחקן הנעזר בבעיית המומחים איננו הכי טוב בכל סיטואציה, הוא מצליח מאוד מול השחקנים האחרים. סימולציה זאת גם מדגישה שאם מבין המומחים אין מומחה בעל אסטרטגיה מתאימה אז השחקן המשתמש במומחים לא בהכרח יצליח.

כעת אדגים בעזרת סימולציה נוספת את הבעייתיות של שיטת המומחים נגד שחקנים מגיבים. בדוגמה הבאה, שחקן ב תמיד מלשין על חבריו ושחקנים ג ו-ד מתנהגים תמיד כפי שהתנהגו אליהם בסיבוב הקודם.

מספר השנים שהשחקן יושב בכלא	שחקן א שחקן הנעזר בבעיית המומחים	שחקן ב תמיד מלשין	שחקן ג מחזיר כפי שהתנהגו אליו	שחקן ד מחזיר כפי שהתנהגו אליו
שחקן א	/	505 שנים	491 שנים	491 שנים
שחקן ב	495 שנים	/	495 שנים	495 שנים
שחקן ג	501 שנים	505 שנים	/	100 שנים
שחקן ד	501 שנים	505 שנים	100 שנים	/

סימולציה זאת מדרגת את השחקנים לפי שיטת הליגה בדרך זו:

1. שחקנים ג ו-ד.
2. שחקן ב.
3. שחקן א.

כפי שניתן לראות, שחקנים ג ו-ד שיתפו פעולה ובכך הקטינו באופן משמעותי את מספר שנותיהם בכלא ביחס לשחקן א ושחקן המומחים. לעומתם, שחקנים א ו-ב לא הגיעו לשיתוף פעולה, וכמעט תמיד

מלשינים על חבריהם. הסיבה לכך ששחקן א איננו מצליח להגיע לשיתוף פעולה עם שחקנים ג ו-ד, למרות שהוא כביכול יכול להגיע למצב של אסטרטגיה אופטימלית, היא ששחקנים ג ו-ד מגיבים לפעולותיו של שחקן א. כאשר שחקן א מלשין על שחקנים ג ו-ד הוא גורם להם להלשין עליו בסיבוב הבא. מבחינת בעיית המומחים, כאשר מלשינים עליך הדבר הנכון ביותר לעשות הוא גם להלשין כדי לגרום להפסד מינימלי, ולכן שחקן א ממשיך להלשין על השחקנים האחרים ולא לשתף פעולה.

סימולציה זאת מדגישה את ההבדל בין בעיית מזג האוויר שבה הטבע הוא אדיש לבין דילמת האסיר שבה השחקן האחר אינו בהכרח אדיש. ההבדל הזה הוא קריטי מכיוון שהוא מונע פתרון לדילמת האסיר בעזרת בעיית המומחים כפי שניתן לעשות בבעיית מזג האוויר.

סיכום

תורת המשחקים היא תחום מרתק במתמטיקה המאפשר לפשט בעיות מסובכות לבעיות קלות יותר, ולנתח בעזרתם אסטרטגיות ובעיות רבות. בעזרת תחום זה ניתן לפתח אלגוריתמים לומדים רבים שמשנים את האסטרטגיה שלהם בהתאם לסיטואציה. יש דוגמאות רבות לבעיות קשות מאוד שנפתרו בעזרת מחשבים לומדים, לדוגמה, תוכנות לזיהוי פרצופים ותמונות. בעיית הבנת תמונות על ידי מחשב הייתה קשה מאוד ורק בשנים האחרונות, בעזרת לימודי מחשב, ניתן היה לפתור אותה ולהגיע בעזרת פתרון זה להישגים רבים כמו מכוניות הנוסעות לבד.

ביבליוגרפיה

Foundations of Machine Learning by Mehryar Mohri, Afshin Rostamizadeh and Ameet Talwalkar.

קשיחות במרחבי L1 והשערת קוזנר

תלמיד: רועי יעקובסון, ירושלים

מנחה-עמית: פרופ' ערן נבו, מכון אינשטיין למתמטיקה, האוניברסיטה העברית



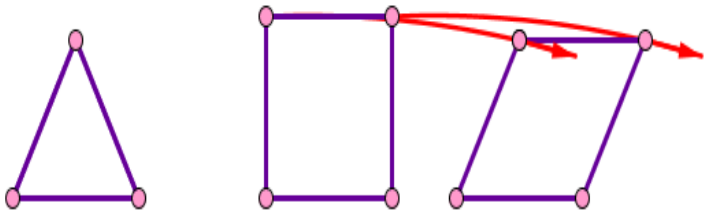
ת ק צ י ר

בעבודה זו חקרתי הכללה של המושג "קשיחות גרפים" למרחבים לא־אוקלידים ואת תכונות ההכללה. בחלק הראשון אדגים, באמצעים גאומטריים, שקשיחות היא תכונה של שיכון ולא של גרף מסוים, ואביא מספר דוגמאות לגרפים קשיחים ולא קשיחים. באמצעות ניסוח שקול בתור קריטריון דרגה של מטריצות אוכיח תנאים הכרחיים לקשיחות של שיכונים ואציג קריטריון פשוט לחישוב הקשיחות של כמעט כל השיכונים. בנוסף, אעלה מספר השערות בנוגע לקשיחות של שיכונים, של קוביות וקרוס־פוליטופים. במסגרת חלק זה אאפיין לראשונה את האיזומטריות של מרחבים אוקלידיים תחת מטריקת L1.

בחלקה השני של העבודה אשתמש בכלים שפיתחתי בחלקה הראשון על מנת לחקור את הבעיה הפתוחה שנקראת **השערת קוזנר**, שכיום נמצא לה פתרון רק עד ממד רביעי. אוכיח מה שעשוי לעזור להוכחת גרסה מעט יותר חזקה של ההשערה, ובאמצעותה אוכיח את ההשערה לממד 3.

ר ק ע

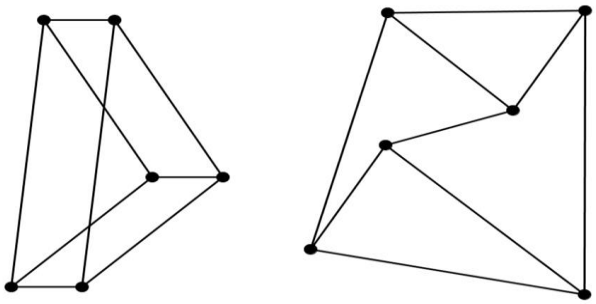
קשיחות של גרפים היא תחום במתמטיקה העוסק במבנים הבנויים ממוטות וצירים. בהינתן מבנה כזה, השאלה הבסיסית היא – האם הוא יהיה יציב תחת לחצים? כלומר, האם הוא קשיח (ואחרת – גמיש). פורמלית, שיכון של גרף שיוצר מבנה כזה הוא קשיח אם יש תזוזה של הקודקודים שמשמרת את המרחקים בין קודקודים שמחוברים בקשת ולא נובעת מאיזומטריה של המרחב כולו.



איור 1: שיכון קשיח (משולש) ושיכון לא קשיח (מרובע) והזזה שלו

לדוגמה, שיכון של הגרף C3 הוא קשיח במישור – תוצאה הנובעת ממשפט החפיפה למשולשים. לעומת זאת שיכון של הגרף C4 הוא לא קשיח – ריבוע למשל יכול 'לקרוס' למעוין, תוך שמירה על אורכי הצלעות (ראה איור 1). משפט בסיסי בתחום הוא שכמעט כל השיכונים של גרף הם קשיחים או גמישים, למעט קבוצה במידה 0. למשל, השיכון של הגרף באיור 2 הוא קשיח כמעט תמיד, למעט מקרים כמו זה שמודגם באיור, אך מידתם של קבוצת השיכונים הזאת היא 0.

קשיחות גרפים היא תחום חדש יחסית הנחקר מאז אמצע המאה ה-20. הושגו מספר תוצאות משמעותיות בתחום, אך רבות מהשאלות הבסיסיות בתחום נותרו פתוחות. למשל, לא ידוע אם קיים אלגוריתם דטרמיניסטי פולינומי לבחינת קשיחות של גרף בממד כלשהו.



איור 2: שיכון גנרי קשיח (מימין) ושיכון סינגולרי גמיש ב־L2

בהגדרה של המושג קשיחות נעשה שימוש באיזומטריות של המרחב. עם זאת, במתמטיקה ידועים מרחבים אחרים, שלהם תכונות שונות וגם איזומטריות שונות. למרחבי L1 מממד כלשהו, כפי שהוכחתי לראשונה (ככל הידוע לי) בעבודה שלי, יש חבורת איזומטריות של שיקופים בניצב לצירים ופרמוטציות שלהם (hyperoctahedral group) המורכבת עם חבורת האיזומטריות הרגילה של המרחב. בהתאם לכך, מחקר של קשיחות גרפים תחת מרחבים אחרים הניבה תוצאות שונות מאלו הידועות עבור המטריקה האוקלידית הרגילה.

ה מ ח ק ר

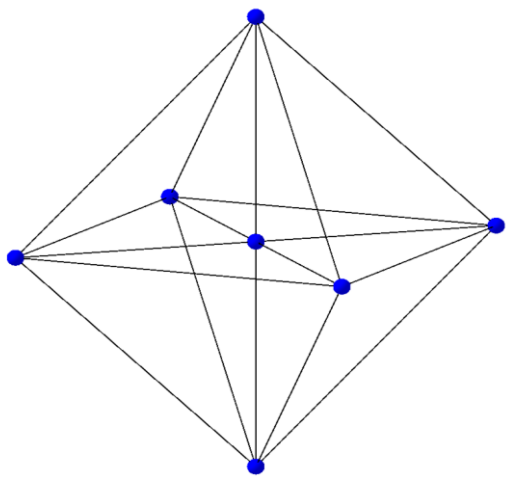
על מנת להכליל קשיחות למרחבים מטריים אחרים השתמשתי בהגדרה הסטנדרטית המשמשת לכך, אך תוך התייחסות לתנועות של מרחב לא אוקידי. במחקר הגדרתי קשיחות בדרך המכלילה קשיחות במרחבים אוקלידיים רגילים:

הגדרה: תנועה משמרת מרחקים של שיכון של גרף (V,E)במרחב מטרי M היא פונקציה $f:(V\times[0,1])\to M$. המשתנה השני הוא אנלוגי לפרמטר זמן. בנוסף, על הפונקציה להיות רציפה בזמן עבור כל קודקוד, ובכל רגע המרחק בין שתי תמונות של קודקודים שביניהם יש קשת צריך להיות קבוע.

הגדרה: תנועה איזומטרית של המרחב היא פונקציה רציפה $f:(M\times[0,1])\to M$, שמקיימת את המשוואה $d(f(p_1,t)-f(p_2,t))=d(p_1-p_2)$ לכל t ולכל זוג נקודות. כלומר, המרחק בין שתי נקודות נשמר בכל רגע של התנועה.

הגדרה: שיכון של גרף הוא קשיח אם, ורק אם, לכל תנועה משמרת מרחקים שלו f קיימת תנועה איזומטרית של המרחב g כך שמתקיים $f(V,t)=g(f(V,0),t)$ לכל V ו-t. כלומר, אם כל תנועה של השיכון "נובעת" מאיזומטריה מסוימת של המרחב, הוא קשיח.

על מנת לעשות שימוש בהגדרה זו, יש לחקור את האיזומטריות של מרחבי L1. את האפיון שלהם בצעתי בחלקה הראשון של העבודה, והראיתי שמלבד האיזומטריות הטריוויאליות (הזזות, החלפות ושיקופים של הצירים) לא תיתכנה איזומטריות נוספות של מרחבי L1, וזאת באמצעות הוכחה שיש רק שיכון אחד של גרף הכוכב $K_{2n,1}$ בממד n: קודקודים ומרכז של קרוס־פוליטופ. נובעת מכך המסקנה שכל איזומטריה תשמור על הצורה הזאת. בנוסף הוכחתי שמיקום נקודה נקבע על ידי מרחקה מקודקודי ספירה. שתי הטענות האלו מוכיחות את הטענה המרכזית.



איור 3: הקרוס־פוליטופ (בממד שלוש אוקטהדר) הוא הספרה במטריקת L1

במחקר בחנתי לעומק את המצבים בהם שיכון של גרף במרחב L1 הוא קשיח. ביצעתי אבחנה בין שיכונים סינגולריים לשיכונים רגולריים, כאשר הגדרתי שיכונים סינגולריים להיות אלו שבהם קיים שוויון בין שתי קואורדינטות באותו הממד של שתי נקודות שונות המחוברות בקשת. מובן כי מידת השיכונים האלו היא 0.

הוכחתי כי עבור שיכונים לא סינגולריים (כמעט כל השיכונים) ניתן לקבוע אם הם קשיחים או לא בזמן פולינומי על ידי חישוב של דרגת מטריצה המשויכת לגרף. עם זאת, עבור שיכונים לא סינגולריים, המצב הוא יותר מסובך, ולמרות שידוע אלגוריתם דטרמיניסטי, הוא לא רץ בזמן פולינומי.

כדי להשיג תוצאות אלו, המרתי את הדרישה שתנועה לא תהיה הזזה בלבד אלא עיוות של הצורה, לדרישה שקולה – כאשר מרכיבים את התנועה עם הזזה כך שממוצע הנקודות נשאר קבוע, עדיין זזות נקודות. למעשה, אם מסתכלים על מרחב כל השיכונים האפשריים של נקודות, הוא מרחב מכפלה של מרחב כל השיכונים שהם לא הזזה אחד של השני ושל מרחב ההזזות. לצורך העבודה, יצרתי את מרחב המנה של מרחב כל השיכונים חלקי מרחב ההזזות. יש אינסוף דרכים לעשות את זה, אך הדרך הפשוטה שבה השתמשתי, היא לדרוש שממוצע הנקודות יהיה וקטור קבוע כלשהו. דרישה זאת שקולה ל-n משוואות לינאריות בקואורדינטות הנקודות.

עבור כל שיכון, המשוואות שהוא מקיים הן משוואות ליניאריות עם ערכים מוחלטים. עבור שיכונים רגולריים, אפשר להפוך את הערכים המוחלטים בסביבה של השיכון למשוואות ליניאריות בלבד. כך המרתי את הבעיה לבעיית חישוב דרגת המשוואות האלו, בעיה שנפתרת בקלות באמצעות אלגברה ליניארית. ביחד עם המשוואות שאחראיות על שקלול התנועה, מתקבלת מטריצה. דרגת המטריצה הזאת היא שתקבע אם השיכון קשיח או לא.

עבור שיכונים סינגולריים, הבעיה יותר קשה, כי אי אפשר לעשות בסביבה שלהם רדוקציה מערכים מוחלטים למשוואה ליניארית. עם זאת אפשר על ידי חישוב מספר (גדול) של בעיות תכנון ליניארי להכריע בצורה דטרמיניסטית האם השיכון קשיח או לא. בתור דוגמה, את המשוואה $|x-y|=3$ אפשר לפתור על ידי חלוקה לשני המקרים, שכל אחד מהם הוא בעיית תכנון ליניארי:

1. $(x-y)=3, x-y>0$
2. $-(x-y)=3, x-y<0$

באופן דומה אפשר לפתור גם את השאלה הזאת.

בעבודה אראה כיצד ניתן לבצע אופטימיזציות מסוימות לאלגוריתם, אך עדיין הוא רץ בזמן מעריכי.

על ידי קריטריון פשוט הנובע מאילוצים של דרגת המטריצה מתקבל אי השוויון הבא שהוא הכרחי על מנת שהגרף יהיה קשיח:

$$E \geq (V-1)n$$

בגרף מקסימלי, מתקבל אי השוויון:

$$V \geq 2n$$

בניגוד למטריקה אוקלידית, מתקבל יש חסם תחתון על מספר הקדקודים הדרוש לכך שהגרף יהיה קשיח. זו תוצאה קצת מפתיעה, אך אפשר להסביר אותה בכך שכל תנועה יחסית בין שתי נקודות אומרת שהגרף לא קשיח כי אין תזוזות רציפות של המרחב חוץ מהזזה.

בחלקה השני של העבודה עסקתי בחקר השערת קוזנר. על פי השערה זו, מספר הנקודות המקסימלי שאפשר לשכן כך שכולן יהיו במרחקים שווים אחת מהשנייה בממד n הוא $2n$ תחת נורמת L1. זה חסם תחתון פשוט, כי קדקודים של ספרת היחידה יוצרים קבוצת נקודות כזאת. עד ממד 4 ידוע שזה גם השיכון היחיד שממקסם את מספר הנקודות. לא ידוע, מלבד חסם אסימפטוטי, אם מספר הנקודות המקסימלי המשוער הוא נכון ואם כן, האם קדקודים של ספרה הם תמיד הקבוצה האקסטרמלית היחידה.

זה שמספר הנקודות המקסימלי הוא $2n$ נובע מההשערה החזקה יותר שקודקודי ספרה הם השיכון היחיד המקסימלי, כיוון שבשיכון כזה אין איפה להוסיף עוד נקודה. התמקדתי בחקירה – האם קיימים שיכונים נוספים כאלה, וזאת בניסיון להוכיח את ההשערה. הצלחתי להוכיח שאם קיימים שיכונים נוספים, קיימים בהכרח גם שיכונים מסוג אחר – כאלה שיש להם לפחות שתי נקודות שלהן קואורדינטה משותפת והן אקסטרמה בציר של הקואורדינטה. הצלחתי גם להוכיח שלא יתכנו שיכונים כאלה בממד 3, ולכן הוכחתי גם את השערת קוזנר בממד 3 בדרך חדשה.

מחשבות לעתיד

נשארו מספר שאלות פתוחות במחקר שלא הצלחתי לפתור בצורה משביעת רצון. הבולטת בהן היא השאלה – האם אפשר להכריע אם שיכון סינגולרי הוא קשיח או לא בזמן פולינומי. השיכון הסינגולרי והמעניין מכולם הוא שיכון של קדקודים של הקרוס־פוליטופ, שאני משער שהוא קשיח בכל הממדים, ופתרון להשערה זאת יהיה צעד חשוב בדרך לפתרון מלא של השערת קוזנר.

הראיתי בעבודה גם שקילות מהבעיה של קשיחות לסוג אחר של בעיות, הנקראות משוואות ערך מוחלט (absolute value equations), שהן NP קשות, וברצוני לבדוק האם ניתן אולי בעזרת הכלים האלו לחקור את הבעיות בדרך זו.

ביבליוגרפיה

[1] Gerard Laman. On graphs and rigidity of plane skeletal structures". In: *Journal of Engineering mathematics* 4.4 (1970), pp. 331-340.

[2] Clinton Myers Petty. Equilateral sets in Minkowski spaces". In: *Proceedings of the American Mathematical Society* 29.2 (1971), pp. 369-374.

[3] Richard K Guy. An olla-podrida of open problems, often oddly posed". In: *American Mathematical Monthly* (1983), pp. 196-200.

[4] Jack E Graver, Brigitte Servatius, and Herman Servatius. *Combinatorial Rigidity*. Graduate Studies in Mathematics 2. American Mathematical Soc., 1993. isbn: 9780821838013.

[5] H-J Bandelt, Victor Chepoi, and Monique Laurent. Embedding into rectilinear spaces". In: *Discrete & Computational Geometry* 19.4 (1998), pp. 595-604.

[6] Jack Koolen, Monique Laurent, and Alexander Schrijver. Equilateral dimension of the rectilinear space". In: *Designs, Codes and Cryptography* 21.1-3 (2000), pp. 149-164.

[7] Noga Alon and Pavel Pudlak. Equilateral Sets in l p n". In: *Geometric & Functional Analysis* GAFA 13.3 (2003), pp. 467-482.

השפעת המצב ההתחלתי של מערכת תלת גופית של ננסים לבנים על התנגשותם – סופרנובות מסוג Ia

תלמיד: יובל מרבאום, רחובות

מנחה-עמית: ד"ר בועז כץ, הפקולטה לפיזיקה, מכון ויצמן למדע, רחובות



מ ב ו א

ביקום קיימת תופעה הנודעת בשם **סופרנובה** – פיצוץ רב עוצמה אשר בין היתר פולט כמות גדולה במיוחד של אנרגיה. עוצמת הפיצוץ היא כ 10^{44} ג'אול, ולשם השוואה – עוצמתה של פצצת האטום "איש שמן" שהוטלה על העיר נגאסקי במהלך מלחמת העולם השנייה, הייתה כ-10^{14} ג'אול, פי 10^{30} פחות. סופרנובות תרמו רבות לקיומנו, בעיקר בגלל הסיבה שבפיצוץ עצמו, וגם לפניו, נוצרים חומרים כבדים (הכוללים בין היתר ברזל, ניקל וכו'), והפיצוץ מפזר חומרים אלו ברחבי היקום.

ניתן לסווג את הסופרנובות למספר סוגים, אך השניים העיקריים קרויים type Ia ו-type II. הדעה הרווחת טוענת כי Type Ia הינו סוג של סופרנובות הנובעות מפיצוץ גרעיני בננסים לבנים (גופים אסטרונומיים המורכבים בעיקר מחמצן ומפחמן, והינם שאריות של כוכבים בעלי מסה הקטנה מכ-10 מסות שמש אשר סיימו את תהליך ההיתוך הגרעיני במרכזם), ו-type II הינו סוג של סופרנובות הנובעות מקריסה של כוכבים מסיביים (בעלי מסה הגדולה מכ-10 מסות שמש) תחת עצמם. יחד עם זאת, איננו יודעים בוודאות כיצד מתפוצצות הסופרנובות. ישנן מספר תיאוריות בנוגע לכל אחד מן הסוגים, אך איננו יודעים איזו נכונה או האם חסרים מרכיבים חיוניים לתיאוריות.

עבודה זו מתייחסת לסופרנובות מסוג Ia – קבוצה של סופרנובות הומוגניות (דומות אחת לשנייה במידה רבה), אשר יכולות לקרות בכל הגלקסיות, גם אלו אשר בהן לא מתקיימת יצירת כוכבים כבר זמן רב, ומהוות את הרוב מכלל הסופרנובות הנראות לנו. הן מאופיינות בכך שבמהלך הפיצוץ לא מעורב מימן, ובתהליך קיימת פליטה של כמות גדולה של סיליקון ואיזוטופ ניקל 56 (שדועך גרעינית לברזל). לסופרנובות מסוג זה שני שימושים עיקריים – ראשית, הם מהווים מקור עיקרי של ברזל ויסודות כבדים אחרים ביקום עקב יצירת יסודות אלו בפיצוץ; שנית, ניתן להשתמש בסופרנובות אלו על מנת למדוד מרחקים גדולים במיוחד, תוך חישוב המרחק מהן בעזרת פרמטרים הכוללים בין היתר את האור המתקבל על כדור הארץ, והאור המקורי המופק מהפיצוץ (ניתן לחשב זאת משום שסופרנובות אלו דומות במיוחד זו לזו).

קיימות כמה תיאוריות בנוגע לדרך שבה מתפוצצות סופרנובות מסוג Ia. בעבר הדעה הרווחת הייתה כי הננס הלבן סופח לעצמו מסה, וככל שהוא מתקרב אל גבול צ'נדראסקאר, הוא מתכווץ בגודלו, עד שנוצר הפיצוץ הגרעיני. תיאוריה חדשה טוענת כי סופרנובות אלו קורות עקב התנגשות של שני ננסים לבנים הנמצאים יחד עם גוף נוסף במערכת תלת גופית. אחת הטענות להפרכת התיאוריה הראשונה, הינה שלתיאוריה קשה להסביר מדוע הבהירות של הסופרנובות משתנה בין פיצוץ לפיצוץ. כלומר, אם המודל הראשון היה נכון, הסופרנובה הייתה מתרחשת בכל הפעמים בתנאים כמעט זהים, משום שהרכב הננס הלבן כמעט וזהה לחלוטין בכולם, ולפי התיאוריה, גם מסת הננס הלבן תהיה זהה בכל המקרים, לכן הפיצוץ אמור להיות זהה בכל המקרים, כלומר בהירות אחידה – דבר שלא מתרחש.

במערכות תלת גופיות, אשר בהן עוסק המחקר, קורות תופעות רבות. אחת מן התופעות נקראת The Kozai Mechanism – **מנגנון קוזאי**, על שם אחד האנשים שפיתח רעיון זה. הרעיון אומר כי במצב בו יש שני גופים הנעים במסלול אחד סביב השני, וסביבם נע במסלול גוף נוסף, בתנאים מסוימים האקצנטריות של המסלול הפנימי יכולה לגדול ולהתקרב לערך '1' ולגרום לעלייה בסיכויים להתנגשות שני הכוכבים המרכזיים.

בנוסף לסופרנובות מסוג Ia, קיימים מצבים רבים הנגרמים כתוצאה ממערכת תלת גופית. להלן דוגמאות למצבים אלו – ראשית, יכול להיווצר מצב של שני כוכבים הנעים במסלול אחד סביב השני במרחק קרוב במיוחד, כאשר הבעיה הינה כיצד מצב זה נוצר. אחת הסברות טוענת כי הכוכבים התקרבו כתוצאה מגוף שלישי, כאשר שלושתם היו במערכת תלת גופית. לדוגמה, הכוכב Algol, המורכב מהכוכבים Algol Beta Persei Aa1, ו-Algol Beta Persei Aa2 אשר נעים אחד סביב השני. שנית, יכול להיווצר מצב דומה, אך במקום שני כוכבים אשר נמצאים במרחק קרוב אחד לשני, כוכב ופלנטה הנעים במסלול במרחק קרוב במיוחד, ובדומה למצב הקודם, גם כאן ישנה סברה הטוענת כי הגופים התקרבו כתוצאה מכוכב שלישי ששינה את מסלולם וקירב אותם. לדוגמה, הפלנטה 51 Pegasi b שמסתובבת סביב הכוכב 51 Pegasi. זאת ועוד, ישנם תנאים פיזיקליים מסוימים שגורמים להיווצרותן של מערכות תלת גופיות של חורים שחורים.

עוד בנושא, הינה **תנועתם של כוכבי שביט** – מקורם של כוכבי השביט הינו בחגורת קוויפר ובעננת אורט, אשר מסביב למערכת השמש. אחת הטענות לגבי הדרך שבה השביט עוזב את מקורו ונכנס למסלול סביב השמש, הינה שיש גוף נוסף שעובר באותו אזור ומשפיע על השביט, ובכך יוצר מערכת תלת גופית המכילה את השמש, השביט והגוף הנוסף.

מצב נוסף, הינו **ירחים של פלנטות** – לחלק מן הפלנטות ישנם ירחים, גופים הנמצאים במסלול סביבם, כמו הירח שמקיף את כדור הארץ. הכוכב, הפלנטה והירח, מהווים מערכת תלת גופית. הפלנטה משפיעה על הירח ובכך הוא נמצא במסלול סביבה, אך בנוסף לכך, גם הכוכב משפיע על הירח, ומשפיע על תנועתו, וגורם לסטייה במסלול של הירח סביב הפלנטה. יתר על כן, כאשר שולחים לווויינים סביב כדור הארץ לדוגמה, הם נמצאים במערכת תלת גופית המכילה את הלווויין, את כדור הארץ, ואת השמש יחד עם הירח (ניתן להתייחס אל שניהם כאל גוף אחד משום שהם מספיק רחוקים ו/או לא מספיק מסיביים בכדי שהכוח שיפעילו על הלווויין יהיה קטן יחסית).

עבודה זו מתייחסת **לבעיות תלת גופיות**. למרות שהתחילו להתעסק בבעיות תלת גופיות מאז המאה ה-17, עד היום לא ניתן לחשב בצורה אנליטית את המסלול ותוצאות מערכת ניוטונית בעלת שלושה גופים, פרט למקרים ספציפיים. יחד עם זאת, כן ניתן לפתור בעיות תלת גופיות בצורה נומרית, כלומר דרך המחשב, בעזרת חישוב כל אחד מן הצעדים בתהליך – וזו תהיה שיטת העבודה במחקר.

מטרת המחקר

מחקר זה עוסק בסופרנובות מסוג Ia, וכפי שהוסבר, המודל שמוצע לגבי סופרנובות מסוג זה הינו מערכת תלת גופית המכילה שני ננסים לבנים וגוף נוסף סביבם, וכאשר שני הננסים הלבנים יתנגשו, תתרחש סופרנובה. הבעיה במודל הינה שהסיכויים ששני ננסים לבנים במערכת תלת גופית יתנגשו זמן קצר (סיבוב אחד של המערכת הפנימית), נמוכה במיוחד, בסדר גודל של אחד למיליון. לכן, בכדי שיהיה קיים סיכוי סביר שהם יתנגשו, על שני הננסים הלבנים להשלים לפחות מיליון סיבובים אחד סביב השני במערכת שלהם. לפיכך, נחוץ לנו שהמערכת תחזיק זמן רב מבלי שתתפרק, ובנוסף, שגם הכוכב החיצוני יישאר במערכת. עלינו למצוא מה יגרום למערכת להחזיק זמן רב.

דבר זה מוביל לשאלת המחקר – **מהו משך הזמן בו נשארות מערכות תלת גופיות ביחד כתלות בתנאי ההתחלה של המערכת.**

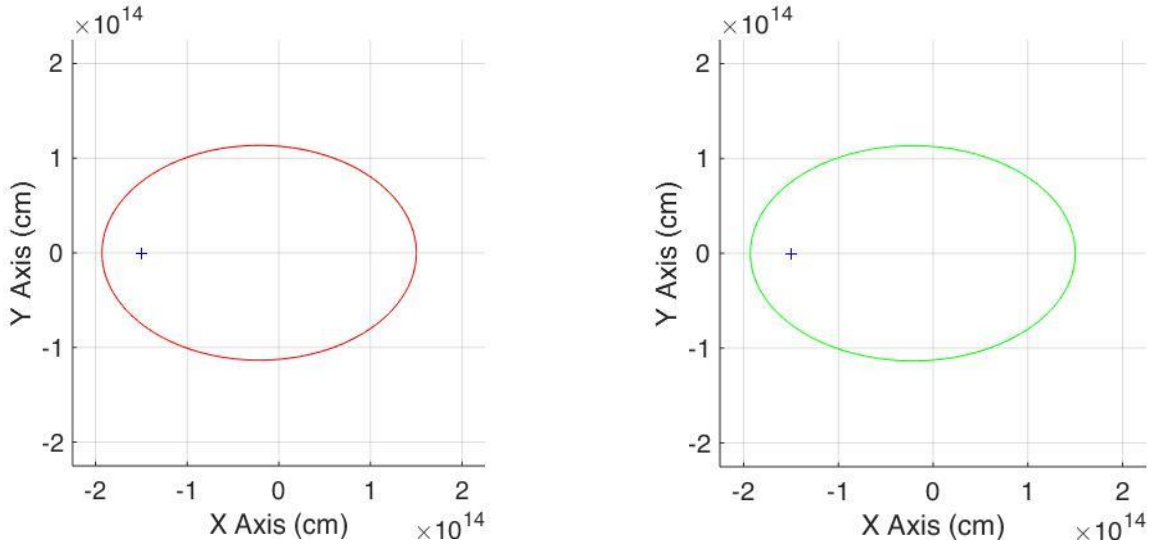
אופן המחקר ומהלכו

בכדי להתנסות וללמוד על מערכות ניוטוניות, נעשה שימוש בתכנת Matlab, על מנת ליצור סימולציות המדמות תנועה של שניים ושלושה גופים במרחב לפי חוקי קינמטיקה ועקרונות הגרביטציה. העיקרון הראשי לפיו פועלת המערכת, הינו מודל הגרביטציה של ניוטון: $F = \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2}$ לפיו כוח הכבידה שפועל מגוף 1 ומשפיע על גוף 2 תלוי בעיקר במרחק ביניהם, כך שככל שהמרחק קטן יותר, הכוח גדול יותר. הסימולציה מקבלת משתנים המכילים את המיקום ההתחלתי של הגופים במרחב, את מסת הגופים ואת מהירויותיהם ההתחלתיות.

בעזרת נתונים אלה מחשבת התכנה בצורה נומרית את תנועת הגופים, בהפרשי זמן של dt (כאשר מחשבים תנועה של גופים בצורה נומרית, מחשבים כל צעד של תנועה בהפרשי זמן קטנים במיוחד, על מנת לדמות את רצף הפעולה עצמו) הסימולציה שומרת, במשתנים קבועים, נתונים שהיא אוספת במהלך ההרצה על תנועת הגופים, לדוגמה, מיקומיהם במרחב, מהירויותיהם, גודל האנרגיה של המסלולים וכדומה, ולאחר מכן ניתן לנתח נתונים אלו בהתאם למטרת ההרצה, ללא צורך בהרצת התכנה מהתחלה.

לפני שניגשים לפתרון בעיות תלת גופיות, יש לפתור בעיות מורכבות פחות, המתעסקות בשני גופים, וזאת על מנת לבסס את הידע העיוני וללמוד על חוקי קפלר. אחד ההבדלים בין בעיה תלת גופית לדו גופית, הוא שניתן לפתור אנליטית בעיות דו גופיות, ולכן אפשר להתנסות בהבנת החומר על אודותיהן. בעיות דו גופיות מקיימות את חוקי קפלר, שהם שלושה חוקים אסטרונומיים, שנוסחו על ידי האסטרונום יוהנס קפלר, ומתארים תנועה מסלולית של מערכת דו גופית, ולכן הם נחוצים לבדיקת תקינות הסימולציה, וזאת בכך שנבדוק אם היא מקיימת את החוקים.

החוק הראשון טוען כי: "מסלולו של כל כוכב לכת סביב השמש הינו אליפסה שהשמש נמצאת באחד מהמוקדים שלה". כלומר, כאשר ישנה תנועה במסלול של כוכב לכת סביב השמש שלו, תנועתו תהיה בצורת אליפסה.

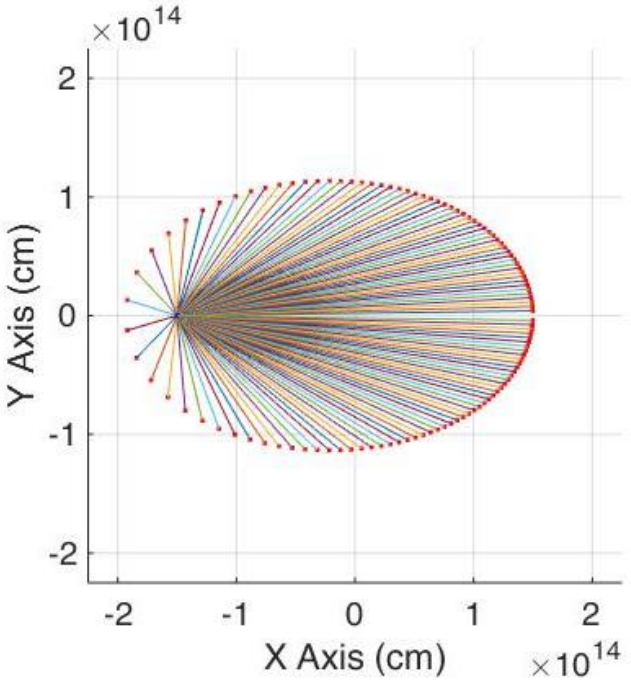


גרפים 1 ו-2 (מימין לשמאל) – החוק הראשון של קפלר

בשני הגרפים הנקודה הכחולה הינה המסה הגדולה שסביבה סובבת המסה הקטנה. המסה הקטנה מתחילה את מסלולה בנקודה הימנית ביותר, וממוקמת על ציר ה-X במרחק של 10 יחידות אסטרונומיות לכיוון החיובי מהראשית. המסה הגדולה ממוקמת גם היא על ציר ה-X, אך במרחק 10 יחידות אסטרונמיות לכיוון השלילי מהראשית. בגרף 1, בצד ימין, נוכל לראות את המסלול הירוק שחושב בצורה אנליטית ויושם בעזרת המחשב. בגרף 2, בצד שמאל, ניתן לראות את המסלול האדום, זהו המסלול שחושב בצורה נומרית על ידי הסימולציה, על גבי גרף 1. ניתן לראות כי בגרף 2 המסלול האדום מכסה לגמרי את המסלול הירוק, ובכך תואם את החוק הראשון של קפלר.

החוק השני של קפלר הינו חוק השטחים השווים הטוען כי: "הקו שמחבר בין כוכב הלכת והשמש מכסה שטחים שווים בזמנים שווים". כלומר, כאשר ניקח את המסלול של כוכב הלכת סביב השמש או המסלול שעובר וקטור ההפרשים, ונחבר את שני הגופים בקו וניתן לגוף המקיף לנוע למשך פרק זמן מסוים t, כאשר מתחיל בנקודה מסויימת x_1, ובסוף פרק הזמן הזה יהיה בנקודה x_2. כאשר יתחיל בנקודה x_3, ויסיים בנקודה x_4, וייקח לו פרק זמן t לעשות זאת – אז בהכרח השטח החלקי מן האליפסה, שיוצרות הנקודות x_1 , x_2 והמוקד, זהה לשטח החלקי מן האליפסה שיוצרות הנקודות x_4,x_3 והמוקד.

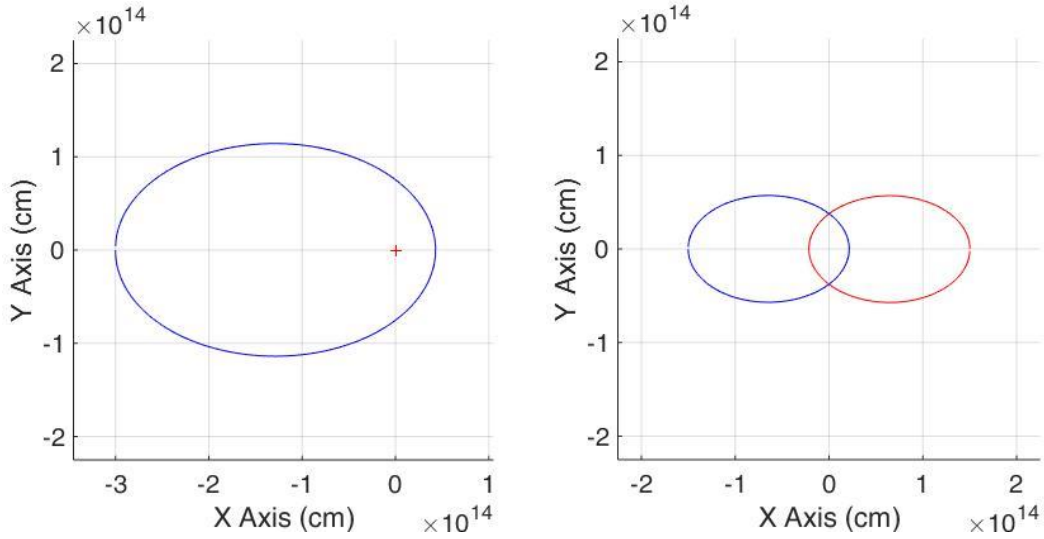
משמעות חוק זה הינה שככל שהגוף הקטן נע קרוב יותר אל הגוף הגדול, מהירותו גבוהה יותר.



גרף 3 – החוק השני של קפלר
בגרף 3 ניתן לראות חישוב נומרי של מסלול של גוף בעל מסה נמוכה סביב גוף בעל מסה גדולה, בנקודות אדומות. כל נקודה מחוברת למוקד בקו צבעוני אחר (לשם הקלה בהבחנה בין הקווים). ניתן לראות כיצד פועל החוק השני של קפלר בגרף זה, בכך שהנקודות נרשמו במרווחי זמן שווים לאורך המסלול, רוב הנקודות מרוכזות רחוק יותר מן המוקד, משום ששם הגוף נע לאט יותר, ולכן במרווחי זמן קבועים יעבור מרחק קטן יותר.

החוק השלישי של קפלר טוען כי: "ריבועי זמן המחזור של כוכב לכת סביב השמש פרופורציונלי לגודל חצי הציר הראשי של מסלולו בחזקת שלוש", ונוסחתו: $T^2 \propto a^3$. מה שנובע מחוק זה הינו שככל שמרחק הפלנטה מן השמש גדול יותר, גדל גם משך ההקפה שלו סביב השמש, ומהירותו נמוכה יותר.

ניתן להרחיב את חוקי קפלר ולומר כי כאשר כל שני גופים נעים במסלול אחד סביב השני, וקטור ההפרשים של שני הגופים, המהווה את הגוף חסר המסה ביחס לגוף הגדול יותר, עושה מסלול אליפטי סביב מרכז המסה, שמהווה את תפקיד הגוף הכבד ובעל המסה שלא נע ביחס לתנועת כל המערכת.

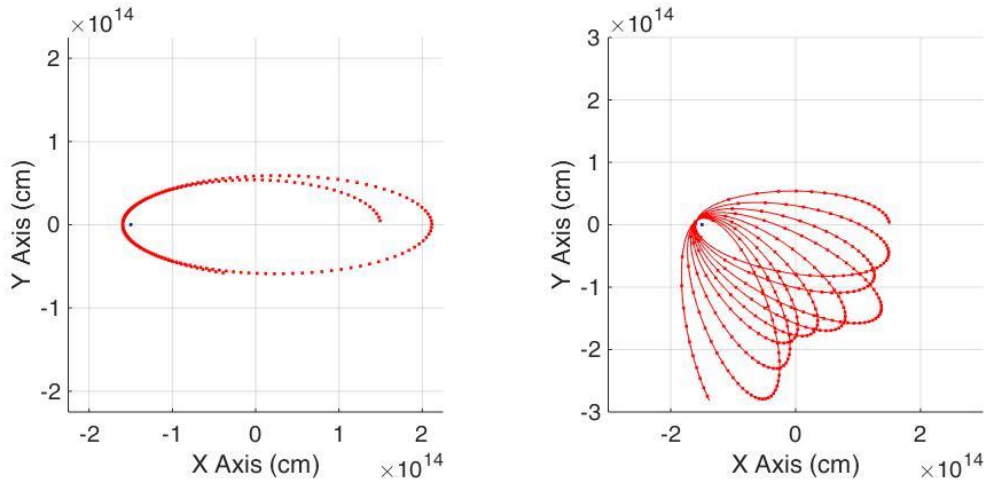


גרפים 4 ו-5 (מימין לשמאל)- שימוש בחוק הראשון של קפלר על מערכת של שתי מסות זהות

בגרף 4 ניתן לראות שני מסלולים – אדום וכחול. מסלול הגוף האדום מתחיל על ציר ה-X במרחק *10au* בכיוון החיובי, ומסלול הגוף הכחול מתחיל על ציר ה-X במרחק *10au* בכיוון השלילי. שתי המסות זהות ושוות למסת שמש אחת. בגרף 5, ניתן לראות את המסלול הכחול, שהינו מסלול המתאר את וקטור ההפרשים (*rb-ra*) אשר מסמל את הגוף בעל המסה הקטנה, נע סביב הנקודה האדומה.

צעד נוסף שיש לעשות, הוא לאפשר לתוכנה לשנות את גודל dt (הפרש הזמן בין כל נקודה) תוך כדי הרצה. דבר זה נעשה מאחר ובמקרים מסוימים הגופים עוברים במרחק קרוב אחד לשני, ובמידה וגודל dt יהיה גדול מדי, התוכנה לא תוכל לחשב בדיוק מספק את אשר מתרחש. יחד עם זאת, לא כדאי שdt יהיה קטן לכל אורך הדרך, משום שדבר זה יצרוך זמן רב של חישוב, בשביל דיוק שלא תמיד קריטי לסיטואציה. לכן נכתב קוד שנועד לשנות את גודל dt בהתאם למרחק של הגופים אחד מן השני.

בכדי למצוא dt מתאים, ניקח את המרחקים בין כל שני גופים, $disAB$ – מרחק בין גוף A לגוף B, $disBC$ – מרחק בין גוף B לגוף C, ו- $disCA$ – מרחק בין גוף A לגוף C. בכדי למצוא את המרחק הקטן ביותר, נחבר גדלים אלה בחזקת -1, ונקבל $\frac{1}{disAB}+\frac{1}{disBC}+\frac{1}{disCA}$ כעת נעלה גודל זה בחזקת -1 פעם נוספת, ונקבל את $rMin$, המרחק המינימלי, $rMin=\frac{1}{\frac{1}{disAB}+\frac{1}{disBC}+\frac{1}{disCA}}$. מרחק זה יהיה יותר קטן מן המרחק הקטן ביותר, אבל יישאר בגודל דומה לקטן ביותר.



גרפים 6 ו-7 – הדגמה של dt משתנה

בגרף 6, הימני, יש שרטוט של סיטואציה בו הגוף המסיבי פחות עובר במרחק קרוב אל הגוף השני, ומשום שערך הdt אינו קטן מספיק, החישוב אינו מדויק, והמסלול המתקבל אינו המסלול הנכון. בגרף 7, השמאלי, יש שרטוט של סיטואציה בעלת תנאי התחלה זהים לגרף 6, אך בסיטואציה זו הסימולציה מחשבת dt חדש בהתאם למרחק בין הגופים, לפי הנוסחה שלעיל. ניתן לראות כי גם במסלול שבגרף 7 ישנה שגיאה, אך בגרף זה הצורה הכללית של המסלול נשמרה, והגוף מגיע לאותה נקודה ליד הגוף המסיבי, בניגוד לגרף הימני, בו המסלול כולו התעוות ואינו נשמר כלל.

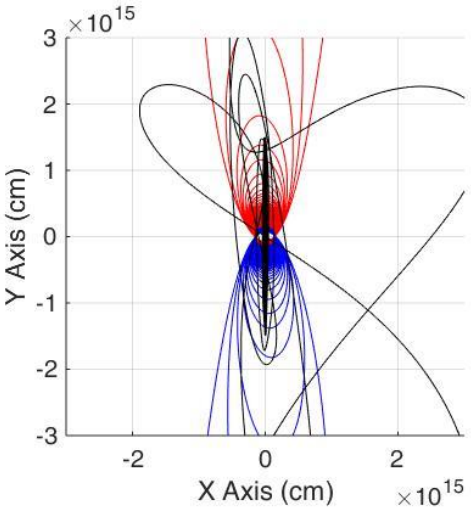
לאחר שדנו בבעיות דו גופיות, ניתן לעבור לבעיות תלת גופיות. מטרת המחקר הייתה למצוא את הקשר שבין המיקום ההתחלתי של המערכת, לבין משך הזמן בו המערכת נשארת במסלול, מבלי שאחד הגופים יצא החוצה. בכדי לבדוק האם מערכת תתפרק במצבה הנוכחי או לא, יש לבדוק את האנרגיה של המסלול החיצוני. כאשר האנרגיה גדולה מ-0, המערכת נמצאת במצב שיכול להוביל להתפרקות, ואם היא קטנה מאפס, המערכת נמצאת במצב יציב לעת עתה. לכן, יש לבדוק את מצב האנרגיה בכל שלבי הסימולציה, בכדי לראות מהו המצב האופטימלי בו המערכת תישמר במסלול לאורך זמן רב, ומהם הגורמים המשפיעים עליו, וזאת על מנת שניתן יהיה להבין מדוע מצבים התחלתיים מסוימים עדיפים על אחרים.

תוצאות ביניים

לאחר שנבדקה תקינות הסימולציה, ניתן לבחון מערכות תלת גופיות שונות על מנת לענות על שאלת המחקר. עד כה לא התקבלו תוצאות סופיות העונות לשאלת המחקר, אלא תוצאות ביניים העוסקות בדבר הגורם לאנרגיה להיות חיובית במערכת הספציפית שאותה בדקתי, וזאת בדרך למענה על שאלת המחקר.

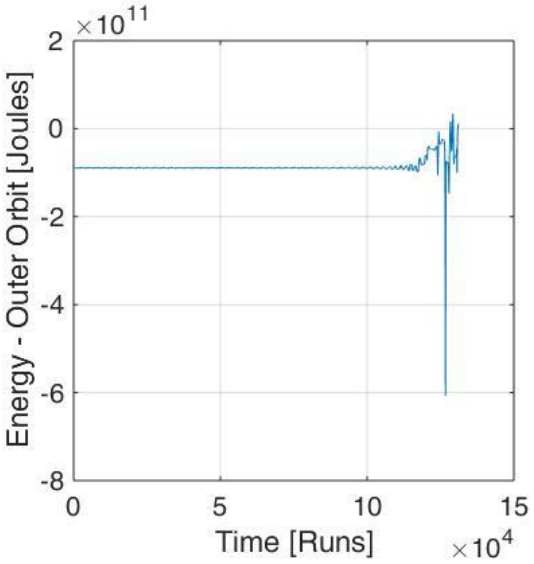
המערכת שבה אדון מתארת מצב התחלתי שבו שני הכוכבים המרכזיים נמצאים – האחד על הכיוון החיובי של ציר ה-X במרחק של 10au מן הראשית, והשני על הכיוון השלילי של ציר ה-X במרחק של 10au מן הראשית. שני גופים אלה נעים בתנועה מעגלית אחד סביב השני במישור XY. הגוף השלישי מתחיל על הכיוון החיובי של ציר Y, במרחק 100au מן הראשית, ונע בתנועה מעגלית סביב המערכת הפנימית בציר ZY.

ככל שהזמן עובר, ניתן לראות שהגופים אינם שומרים על מסלולם, ומסתובבים לחילופין סביב עצמם וסביב הגוף השלישי, ומתרחקים לאט לאט, עד כדי כך שהאנרגיה של חלק מן המסלולים חיובית והגופים משתחררים ונעים לכיוונים שונים.



גרף 8 - תנועת מערכת תלת גופית

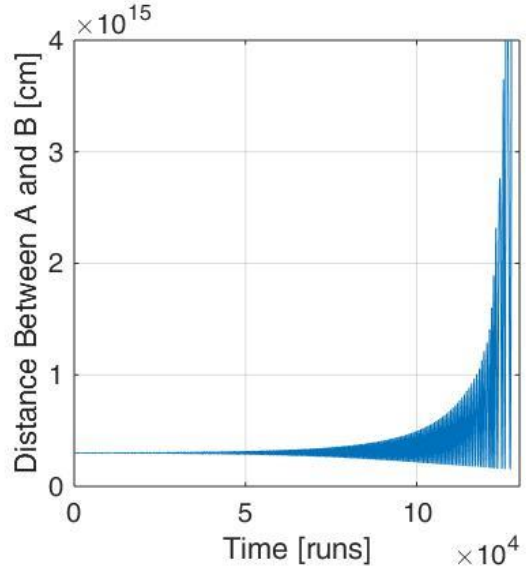
גרף המתאר את תנועת הגופים בהיטל על מישור XY, כאשר הגופים המרכזיים הינם האדום והכחול, והגוף השלישי הינו השחור.



גרף 9 – אנרגיית מסלול חיצוני

בגרף זה מיוצגת האנרגיה של המסלול החיצוני כתלות בזמן, וניתן לראות כי לאחר זמן מסוים האנרגיה עוברת את ציר ה-X וערכה חיובי, ובזמן זה המערכת מתפרקת.

לאחר ניתוח מעמיק יותר של המערכת, ניתן לראות כי במהלך הרצת התכנית הגוף השלישי נשאר לזמן מה במסלול המעגלי סביב המערכת הפנימית, אך הדבר שמשתנה הינו המרחק בין שני הגופים במערכת הפנימית.



גרף 10 – מרחק בין גופי המערכת הפנימית

בגרף זה ניתן לראות את המרחק בין שני הגופים במערכת הפנימית כתלות בזמן, מתחילת ההרצה ועד הרגע ההתפרקות.

לפי גרף זה אנו מבינים כי המרחק בין שני הגופים גדל וקטן כל הזמן במחזוריות, אך בכל פעם המרחק ביניהם גדל, לפני שהם מתקרבים חזרה. הליך זה חוזר על עצמו עד שהמרחק גדול מספיק כדי שאחד הגופים יתקרב אל הגוף השלישי וישנה את תנועתו, ובכך מתחילה המערכת להתפרק.

לפי תנועת הגופים, ניתן לראות כי המרחק בין הגופים המרכזיים גדל במרחק קטן במיוחד כל פעם, וזאת משום שכאשר הגוף השלישי חותך את מישור XY במהלך תנועתו, הוא נמצא במרחק הקרוב ביותר על המערכת הפנימית, ומושך את הגוף שקרוב אליו יותר, בחוזקה יותר, ובכך מגדיל את רדיוס הסיבוב של המערכת הפנימית.

מסקנות

לסיכום, ניתן לראות כי מערכות תלת גופיות הן מורכבות ושונות אחת מן השנייה.

במערכת עליה עבדתי ניתן להסיק כי תהליך הפירוק הינו ארוך ומתרחש בצעדים קטנים בכל פעם, גם אם בהתחלה המערכת נראית יציבה והיא חוזרת על עצמה, עשויים להיות שינויים מינוריים שעם הזמן מצטברים לשינוי גדול.

המשך המחקר יעסוק בבדיקת מערכות רבות יותר ומציאת תוצאות כלליות יותר, על מנת למצוא קשר בין המצב ההתחלתי בו המערכת נמצאת לבין משך הזמן בו היא נשארת במסלול ואינה מתפרקת.

ביבליוגרפיה

- " The rate of WD-WD head-on collisions may be as high as the SNe Ia rate", Cornell University Library,

  Link: http://arxiv.org/abs/1211.4584
- "Head-on Collisions of White Dwarfs in Triple Systems Could Explain Type Ia Supernovae", Harvard Website,

  Link: http://adsabs.harvard.edu/abs/2013ApJ...778L..37K
- "Type Ia supernovae with bimodal explosions are common - possible smoking gun for direct collisions of white dwarfs", Harvard Website,

  Link: http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/bib_query?arXiv:1401.3347
- Wikipedia

  Link: https://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

התנהגות חברתית בעטלפים – שינה חברתית במושבות עטלפים

תלמיד: לירן פרלמוטר-שושני חולון

מנחה-עמית: ד"ר יוסי יובל, בית ספר סגול למדעי המוח, אוניברסיטת תל אביב



רקע – סקירה מדעית

חיית המודל: עטלפי הפירות המצריים (Rousettus aegyptiacus) הם חיות שפעילות בלילה ונמצאות בלהקות גדולות המתגוררות במערות, בחורבות, בבארות ואף בבניינים ובחניונים. לרוב, העטלפים יוצאים עם רדת הערב למקום שבו הם מחפשים את מזונם והם שוהים שם חלק גדול משעות הלילה. המקומות שבהם עטלפים מחפשים את מזונם עשויים להיות רחוקים קילומטרים רבים מאזורי הלינה.



איור1: מושבה של עטלפי פירות מצריים

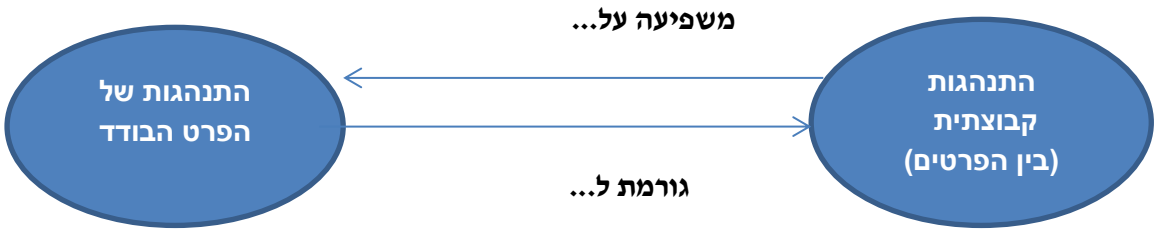
העטלפים מבלים את רוב זמנם ופעילותם במושבה כשהם תלויים הפוך וראשם כלפי מטה, דבר המאפשר להם להתחיל בתעופה ביתר קלות ולוותר על המשקל העודף של רגליים חזקות ושריריות שניתן לעמוד עליהן. עקב כך הם יכולים לעוף ביתר בקלות ולמרחק גדול יותר. בזמן השינה הם עוטפים את גופם בעזרת כנפיהם ובדרך כלל הם ישנים בקבוצות, בין היתר כדי שיהיה להם יותר קל לשמור על חום הגוף החיוני להישרדותם.

העטלפים מתקשרים ביניהם באמצעות קולות שהם מפיקים מגרונם וניתן לשמוע אותם. עטלפי הפירות משתמשים גם באקולוקציה – קולות שהם משמיעים על מנת להתמצא במרחב, והם נשמעים לאוזן האדם כשקשוק מתכתי, בניגוד לקולות אקולוקציה שמשמיעים עטלפי חרקים שהינם בתדר שהאוזן האנושית איננה יכולה לשמוע. את צלילי האקולוקציה משמיעים עטלפי הפירות בעזרת נקישות של הלשון על החך באופן תדיר ואיטי המתגבר בתדירות ככל שהם מתקרבים ליעד. מערכת זו מתפקדת כסונר העוזר לעטלפים להתמצא במרחב ולנווט בו. הקולות שהם מפיקים פוגעים בעצמים קשיחים כגון אבנים, עצים ובעלי חיים אחרים וההדים שחוזרים ונקלטים על ידי האוזניים מאפשרים התמצאות מרחבית. מערכת זו מאפשרת להם לא להיתקל בעצמים, דבר שיכול היה לגרום להם לפגיעה קשה.

התנהגות חברתית בבעלי חיים

בממלכת בעלי החיים קיימים מגוון רחב של קשרים בין הפרט הבודד לבין הפרטים בסביבתו. קשרים אלו כוללים מגוון רחב של התנהגויות הדדיות בין בעלי החיים שמעלות את הסיכוי של הפרט הבודד לשרוד. מנגנון ההדדיות דורש לעיתים זיכרון של מאורעות קודמים שקרו בין אותם פרטים וגם היכרות מוקדמת ביניהם, ולכן לעיתים לוקח זמן עד שפרט חדש משתלב באוכלוסייה קיימת.

בהתנהגות חברתית יש דינמיקה בין החברה (שהיא מספר פרטים מאותו המין) לבין הפרט הבודד במגוון רחב של צורות. כהכללה ניתן לומר שרוב הצורות מתבססות על המודל הבא:



איור 2: יחסי גומלין בהתנהגות חברתית

כפי שניתן לראות, כל דבר שיעשה הפרט ישפיע על התנהגות הקבוצה, דבר שיוביל למשוב בין ההתנהגויות של הפרט, לתגובות של הקבוצה וכן הלאה.

להלן כמה סיבות מקובלות המסבירות את הנטייה של בעלי חיים להיות בקבוצה:

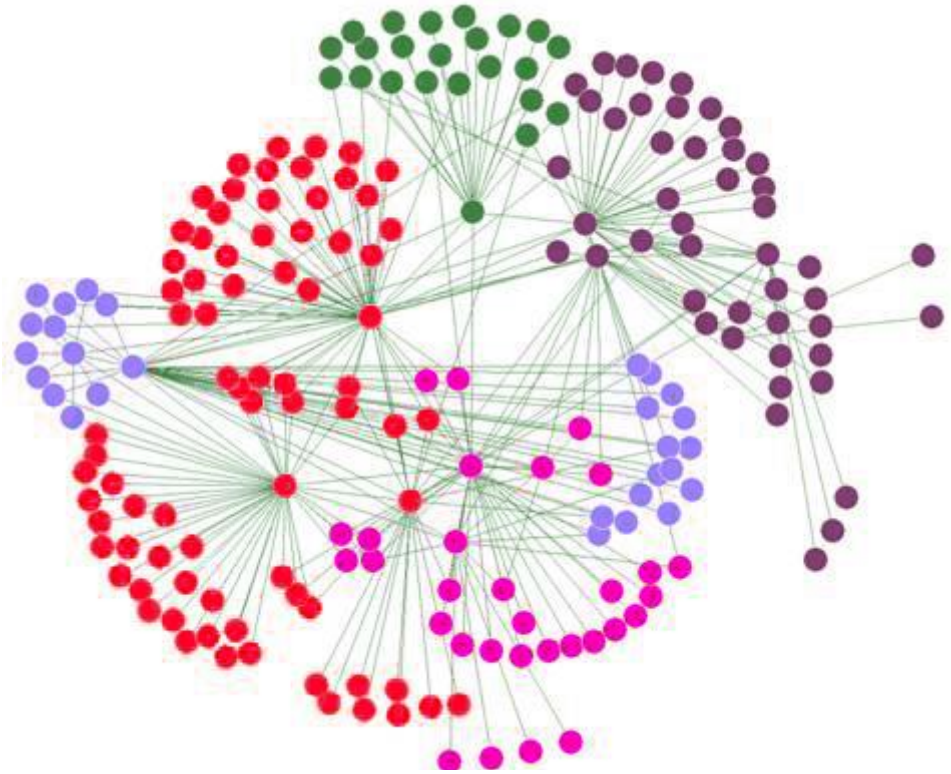
1. **שמירה על חום גוף** – כאשר כל פרט בקבוצה עומד לבד, אזי הוא צריך להשקיע אנרגיה רבה בחימום גופו. אנרגיה זו נפלטת ברובה לסביבה עקב השאיפה של הטבע לאיזון חום בין הפרט לבין הסביבה הקרה בדרך כלל. כאשר מספר רב של פרטים עומדים בקרבה רבה מאוד אחד לשני, כל פרט מחמם את גופו ונוצר מצב שהחום הנפלט משמש את קבוצת הפרטים על מנת לשמור יחדיו על חום הגוף בפליטת אנרגיה מינימלית.
2. **חיפוש מזון** – כאשר מספר רב של פרטים מאוגדים, נהנים לעיתים מחיפוש יעיל יותר אחר מקורות מזון בשטח נתון. היתרון בקבוצה הוא שיש בה מספר רב של פרטים שלכל אחד מהם יש יכולת (למשל חישה) מוגבלת שהוא תורם לקבוצה, וביחד נוצרת יכולת משותפת משמעותית. בעטלפים, בחיפוש מזון בקבוצה, כל פרט יכול להתפרש על פני שטח אחר וביחד כל הפרטים סורקים שטח רב יותר.

כאשר פרט מסוים מוצא מזון, הפרטים הסמוכים יודעים שנמצא מזון על פי קולות האקולוקציה של העטלף שמצא את המזון.

3. **איום על ידי טורף** – לעיתים, מראים בעלי חיים התנהגות קבוצתית כאשר הם מאוימים. מספר רב של פרטים מאוגדים יכולים להתמודד טוב יותר בהגנה אחד על השני מפני טורפים. היתרון הקבוצתי יכול להתבטא בהגנה פיזית של הקבוצה או בחישה טובה יותר (גילוי) של הטורף שמובילה לבריחה מהירה יותר.

רוב ההתנהגויות החברתיות, בין עטלפים בפרט ויונקים בכלל, יכולות להיות מתוארות על ידי רשת. במחקר זה תארנו את רשת השינה של העטלפים – בדקנו את נטייתם של עטלפים לישון ליד אותם פרטים במושבה לאורך זמן.

מיקום של עטלפים ליד שכנים קבועים לאורך זמן, יכול להעיד על קוגניציה חברתית גבוהה, הכוללת למשל זיהוי של הפרטים השכנים. רשת שינה קבועה כזו מרמזת אולי על מעבר מידע בין פרטים שכנים ברשת (למשל, מקומות מזון מועדפים) והיא גם עלולה לשרת מעבר של מזיקים כמו טפילים ומחלות.



איור 3: רשת חברתית. הנקודות מייצגות פרטים והקווים את הקשרים ביניהם.
הצבעים השונים יכולים לייצג תכונות שונות כמו זוויג (מין), או קרבה גנטית

שאלת המחקר

האם העטלפים שומרים על מיקומם היחסי בקבוצה בעת שינה קבוצתית?

מחקר זה הינו נדבך בתוך מחקר גדול יותר שמטרתו לתאר את חברת העטלפים, כולל היבטים כמו מעבר מידע בין פרטים, דומיננטיות חברתית ועוד.

שיטות מחקר

במסגרת מחקר זה השתמשנו במגוון רחב של שיטות וביניהן:

1) סימון העטלפים בראשם ובגבם על מנת שנוכל לזהות כל עטלף במדויק.

2) צילום וידאו של העטלפים בשנתם בחדר המדמה מערה.

3) אנליזת מחשב לזיהוי מיקום העטלפים לאורך הלילה.

4) אנליזה של רשתות השינה שהתקבלו.

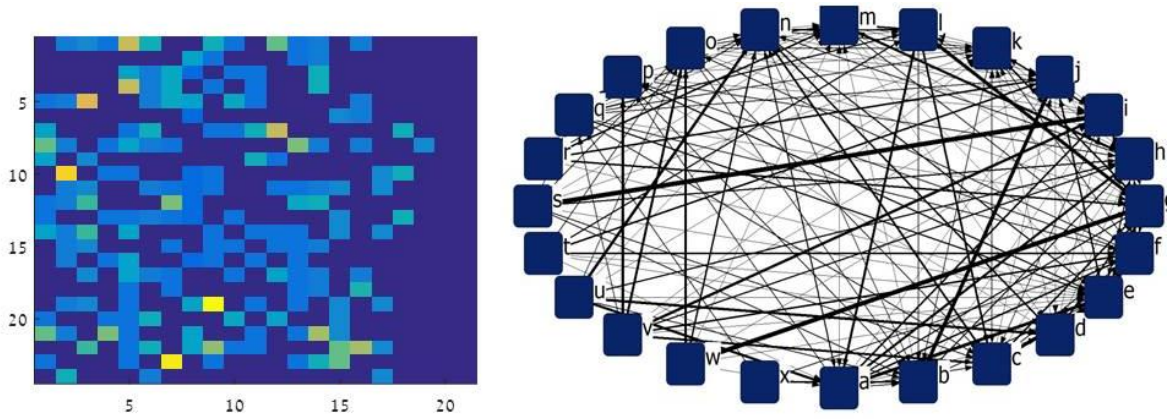


איור 4. פריים בודד מתוך סרטוני ההתנהגות של העטלפים

תוצאות

עקבנו אחרי רשת השינה המלאה של מושבה ובה 24 עטלפים במשך שני לילות עם חמישה ימים ביניהם. במשך כל לילה זוהו כל הפרטים במושבה אחת לעשר דקות ומיקומיהם במושבה זוהה. שכנים קרובים הוגדרו על פי מספר המקטעים שבה היו שני עטלפים קרובים ביותר זה לזה.

דרך זו אפשרה לנו לאפיין את הרשת החברתית של מושבת העטלפים בכל לילה (ראו איור 5). גילינו ששליש מהעטלפים (8 מתוך 24 פרטים) ישנו ליד אותו שכן קרוב במהלך שני הלילות. מספר זה גבוה בהרבה מהסיכוי האקראי להתנהגות כזו. לא מצאנו הבדלים בין זכרים לנקבות בנטייה לישון ליד שכן קרוב. בנוסף מצאנו שבמרבית המקרים (66% מהזוגות) זכרים העדיפו לישון ליד נקבות.



איור 5: קשרי שינה במושבת עטלפים. משמאל – הקשרים מוצגים כטבלה שהצבעים בה מייצגים את מידת הקרבה בין הפרטים בזמן השינה. מימין – הקשרים מוצגים כרשת

דיון ותכניות עתידיות

בעבודה זו גילינו שעטלפים נוטים לישון ליד אותם שכנים בלילות שונים. עובדה זו מעידה על קיום של סדר במערכת החברתית העטלפית שנראית כאוטית במבט ראשון. יהיה מעניין להמשיך לבחון את הנטייה הזו לאורך זמן רב יותר ולבדוק כיצד היא משתנה לאורך עונות השנה ובתקופת הרבייה, כיצד, למשל, משתלבים הגורים בסדר הזה.

בעתיד נרצה לבדוק האם קשרים אלה בין זוגות בזמן השינה מעידים על יחסים כלשהם בין שני הפרטים גם לא בזמן שינה – למשל בזמן אכילה.

בנוסף, יהיה מעניין לבדוק כיצד מזהים העטלפים זה את זה. האם הזיהוי מבוסס על ריח, קול או אמצעי חושי אחר.

ביבליוגרפיה

1. http://www.haifazoo.co.il

2. http://lib.cet.ac.il/pages/item.asp?item=13335&kwd=3424

3. Animal social networks: an introduction Jens Krause & David Lusseau & Richard James

4. http://campusteva.tau.ac.il/content/tqtsyr-mkhqr-sshh

5. http://campusteva.tau.ac.il/content/abstracts/egyptian-fruit-bat-behaviour

6. Causes and Consequences Of Sociality in Bats GERALD KERTH

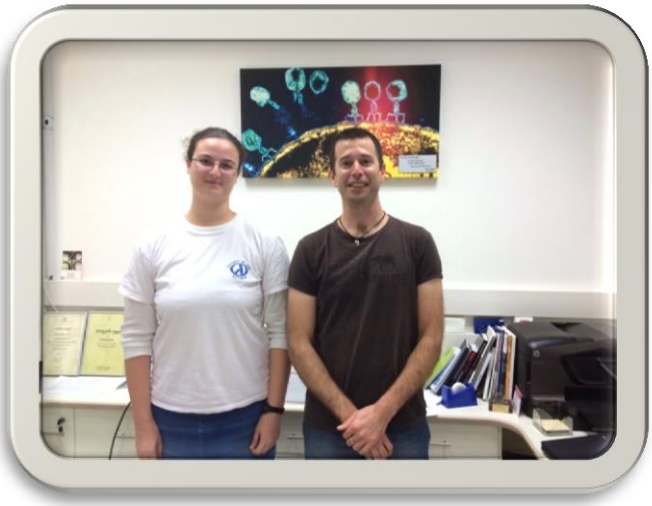
7. https://en.wikipedia.org/wiki/Sociality

Attempting to find the active molecule in a phage communication system

תלמידה: שוקרון רחל חן, אשדוד (Shukron Rachel Hen, Ashdod)

מנחה-עמית: פרופ' רותם שורק, המחלקה לגנטיקה מולקולרית, מכון ויצמן למדע, רחובות

Mentor: Dr. Rotem Sorek, Weizmann Institute of Science, Rehovot



Introduction

Nowadays, it is common knowledge that you can't use the word "virus" in the "animals" category while playing scattergories. Viruses are cell parasites which show the characteristics of life only when inside a cell they infect - the host cell. Outside the host cell viruses are inactive, and so cannot be considered as a living thing. In our research, we have focused on bacteriophages (phages) that are viruses of bacteria[11].

The phage uses the host cell's resources for creating hundreds of viruses, until the cell explodes and the viruses burst out. This life cycle is called the lytic life cycle. However, there are also temperate phages that can choose between two life cycles; the lytic and lysogenic. In the lysogenic cycle the virus doesn't kill his host cell but instead integrates his genome into the host cell's chromosome. A phage in a lysogenic form is called a prophage, and it is being replicated alongside the original DNA of the infected cell. While having the prophage at its genome, the host cell cannot be infected by this specific phage.

[11] Fruciano, D. E. & Bourne, S. Phage as an antimicrobial agent: d'Herelle's heretical theories and their role in the decline of phage prophylaxis in the West. *Can. J. Infect. Dis. Med. Microbiol.* **18,** 19–26 (2007).

At first sight, the lytic cycle is more beneficial to the virus – it can multiply much faster that way. However, this process also kills the host cell, and when the number of cells that can be infected is decreasing, there is an advantage for the lysogenic cycle.

In the graph below (figure 1) you can see growth and infection curves:

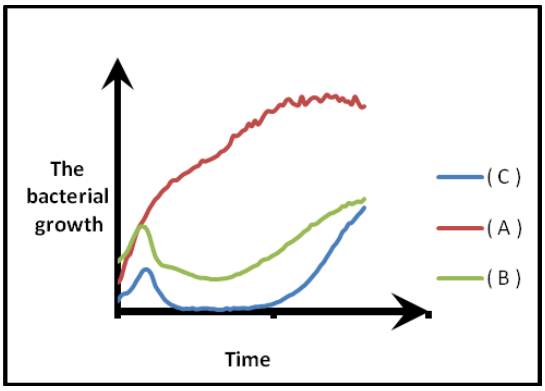


figure 1

(A) under laboratory condition, the bacteria are growing in exponential growth for a while and then the population growth is stabilized due to lack of nutrients.

(B) When bacteria are being infected by a temperate phage, part of the bacterial population is lysed due to phages going through the lytic cycle. After a while some phages become lysogenic, thus protecting the host cell from further infection by this phage. As a result we observe the re-growth of the population.

(C) When a lytic phage infects, the bacterial population collapses almost to zero. However, some of the bacteria may become mutant and develop resistance to the phage, and start to multiply again.

In other words, the most beneficial strategy for the virus is dependent on the current situation. In order to deal with this problem, the virus has a mechanism which allows it to switch between lytic and lysogenic cycles. This decision has been studied in depth in the case of the Lambda phage (a model phage for the lysis-lysogeny decision) and it was found that factors such as temperature, less nutrients and multiplicity of infection seem to drive the lytic-lysogenic decision towards lysogeny. In Lambda phages we also know the molecular mechanism that leads to that decision; the Lytic-Lysogenic Decision is dependent on the concentration of the Lambda protein CII within the host cell; When CII is accumulated there is a switch to the lysogenic life cycle.

This project is part of Zohar Erez studies, a PhD student in the Sorek lab at the Weizmann Institute, who investigates the lytic-lysogenic decision of a phage within its host *Bacillus subtilis 168*. Her earlier results (figure 2) show that the phage becomes more lysogenic when infecting a host cell in a conditioned medium (CM) taken from a previous infection with the same phage. CM is made by infecting B. subtilis 168 with its phage, taking the medium and clearing it of all phage and bacteria by centrifuging the CM and filtering the supernatant using 3KD filter. It is the phage CM. As a control, B. subtilis 168 was grown without phage infection, and that medium was cleared too after the same amount of time, so we have a control CM.

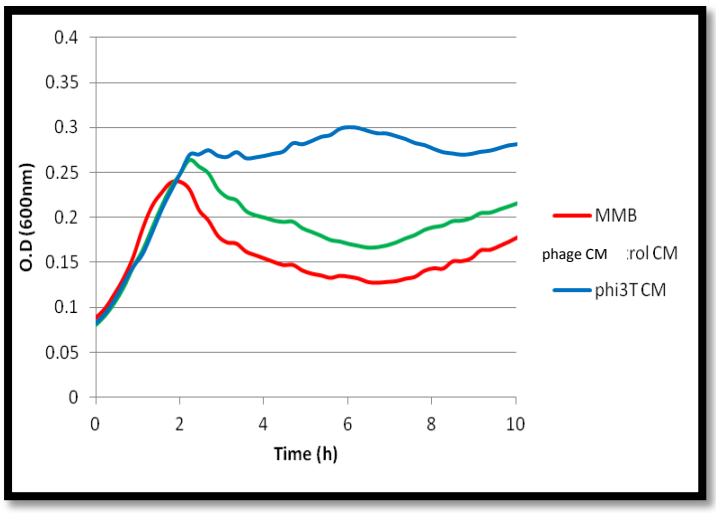


figure 2

In our research we aimed to investigate this interesting phenomenon in further detail while attempting to find the active molecule that mediates that effect.

Research hypothesis

Since Zohar's results showed a difference in the infection patterns of the phage when infecting bacteria in CM, it indicated the existence of a molecule that mediates that effect. In her research, Zohar has shown that this small molecule is a short peptide.

We hypothesized that if the active molecule drives the phage towards lysogeny we will be able to find it by searching for genes that are essential for the phenotype, namely, when these genes are silenced it will result in infection resembling that of a lytic phage. By creating CMs with these strains we can test whether the silenced gene is responsible for the CM effect, or is it a gene used in the lysogenic cycle.

Goal

The main goal of the project was to understand the component responsible for the conditioned medium effect and its way of action, while trying to test whether communication may occur during phage infection.

In my project, I have tried to find the signal molecule by using a library of silenced phage genes, screen for phages that exhibit a lytic phenotype, and check infection patterns in CMs made with these strains.

Methodology

In order to find the signaling molecule we have used a library of silenced phage genes. We used a mechanism based on the Crispr-Cas system[12][13] for silencing each gene of the 190 genes of the phage. The Crispr-Cas system is an adaptive immune system that provides bacteria with the ability to defend themselves against phages. This system uses an RNA sequence that matches one of the phage genes, and a protein called Cas9 that can cut the phage DNA. As a result, the phage genome is destroyed and further infection is prevented. The recent discovery of this system has revolutionized the field of molecular biology, and holds a promise in many clinical and therapeutic avenues. In our research we have used a dCas9 which is Cas9 lacking the ability to cleave DNA. The dCas9 just "sits" on the phage DNA and prevents transcription of the gene it "sits" on.

Zohar has created a library of bacteria strains that has this system, each strain silencing a different gene of the phage randomly. Next, Zohar and I infected each of the strains with the phage.

We looked for genes whose silencing will show a lytic phenotype instead of the usual infection pattern, and we indeed found two of them. In this project they will be called strain A and strain B.

Because the silencing library is random, we had to find out which are the genes that gave us the lytic phenotype. Hence, we sent the DNA of these strains to sequencing in order to know which genes are being silenced. Next, we wanted to test whether one of the genes we found is

12 Deveau, H., Garneau, J. E. & Moineau, S. CRISPR/Cas system and its role in phage-bacteria interactions. Annu. Rev. Microbiol. 64, 475–93 (2010).

13 Sorek, R., Kunin, V. & Hugenholtz, P. CRISPR--a widespread system that provides acquired resistance against phages in bacteria and archaea. Nat. Rev. Microbiol. 6, 181–6 (2008).

the one encoding for the active molecule in the conditioned medium. In order to do that we prepared conditioned medium from those strains and from the WT to have as a comparison. The preparation of conditioned medium was done by infecting bacteria with the phage for three hours. As a control we also grew bacteria without infecting them for the same amount of time. Next we needed to clear the medium of all bacteria and phages. This was done by centrifuging the medium, and filtering the supernatant using 3KD filter. At the end of the process we got phage conditioned medium and control conditioned medium for each of the two strains that silence the phage genes (A and B), and for the WT. Later on, we grew each of the three strains on each of his CM and in a regular LB medium and infected them. Each of the two strains containing dCas9 system that exhibit lytic phenotype during infection was grown in its own conditioned media, and conditioned media made with the WT strain. Also, the WT strain was grown in conditioned media made with each strain in order to test the effect of the media.

Results

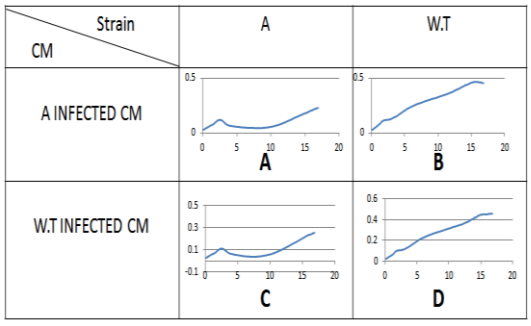


figure 3.1 : Conditioned medium experiments with CM made from infected A and WT strains.
A. Strain *A* grown in conditioned medium from infected strain *A* and infected by phage.
B. WT bacteria grown in conditioned medium from infected strain *A* and infected by phage. C. Strain *A* grown in conditioned medium from infected WT and infected by phage.
D. WT bacteria grown in conditioned medium made from infected WT and infected by phage.

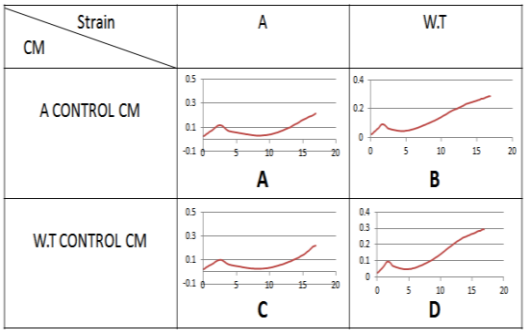


figure 3.2 : Conditioned medium experiments with control CM from A and WT strains.
A. Strain *A* grown in conditioned medium from uninfected strain *A* and infected by phage.
B. WT bacteria grown in conditioned medium from uninfected strain *A* and infected by phage.
C. Strain *A* grown in conditioned medium from infected WT and infected by phage.
D. WT bacteria grown in conditioned medium made from uninfected WT and infected by phage.

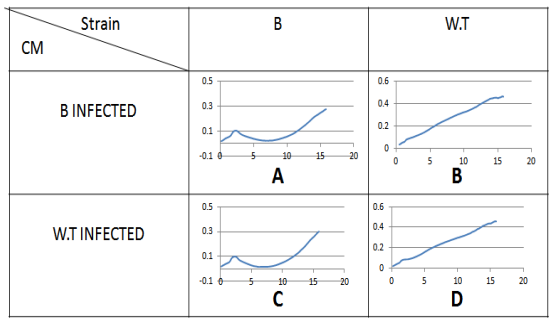


figure 3.3 : Conditioned medium experiments with CM made from infected B and WT strains.
A. Strain *B* grown in conditioned medium from infected strain *B* and infected by phage.
B. WT bacteria grown in conditioned medium from infected strain *B* and infected by phage. C. Strain *B* grown in conditioned medium from infected WT and infected by phage.
D. WT bacteria grown in conditioned medium made from infected WT and infected by phage.

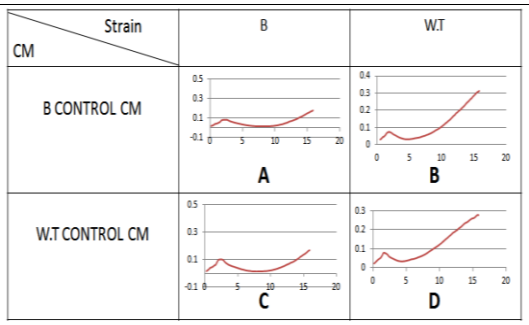


figure 3.4 : Conditioned medium experiments with control CM from B and WT strains.
A. Strain *B* grown in conditioned medium from infected strain *B* and infected by phage.
B. WT bacteria grown in conditioned medium from infected strain *B* and infected by phage. C. Strain *B* grown in conditioned medium from infected WT and infected by phage.
D. WT bacteria grown in conditioned medium made from infected WT and infected by phage.

In the figure we saw that when growing the WT strain in each of the conditioned media the effect remains the same. Meaning, phage conditioned media made with the strains A and B did not change the properties of the phage conditioned media.

We also observed an interesting result: Infection of strains A and B growing in their own CM or WT CM exhibit a strictly lytic phenotype that is not affected by the medium in which the infection takes place.

As can be seen from the results, these experiments led to the discovery of two genes whose silencing affect the lysis-lysogeny decision of the phage. Silencing of these two genes led to strictly lytic behavior, indicating that they are involved in the ability of the phage to become lysogenic.

Nevertheless, the results show that the W.T shows the same affect when grown in all phage CMs. That means that we haven't silenced the gene that is responsible for the signal molecule. Otherwise we would have witnessed a defective phage CM when made with strains A or B. Instead, we saw that when the modified strains are grown in all phage CMs the bacterial population still lyses and shows a lytic phenotype. That fact needs to be investigated further, since it may indicate that those strains silence genes in the phage that are related to the lysogenic cycle of the phage.

Discussion

In this project, I tried to discover the active molecule responsible for the conditioned medium effect that was found in the Sorek Lab. The hypothesis for the reason we observe this effect is that in the phage CM there is a molecule that drives the phages towards lysogeny. Therefore, in order to find the active molecule we tried to use a library of silenced phage genes and screen for genes that their silencing will result in a lytic pattern of infection. We found two such genes that are found together in the genome in the same operon – a functioning unit of genomic DNA containing a cluster of genes under the control of a single promoter, which means that they are transcribed together. The fact they were found in the same operon suggests that maybe only one of them is the real gene causing the effect and the silencing of the second gene affects the first so we observe the effect in both of them. By itself, this finding represents a scientific discovery, because these genes were not known before to be involved in the lysis-lysogeny decision of any phage.

The conditioned media made with those strains did not exhibit abolishment of the CM effect, which means that none of the two genes is encoding for the active molecule in the system. However, when those strains are grown and infected in any CM they exhibit a lytic phenotype. This may suggest the fact that these genes are related to the lysogenic cycle. More importantly, the fact they are not affected by the phage CM may indicate the way of action of the molecule in the CM. If the molecule was not leading the phage towards lysogeny, and the CM effect was due to other mechanism, we might have noticed the effect of the phage CM being unimpaired in those strains instead of the results we got.

Finally, the operon of our two genes was found to be in the phage genome downstream to an operon containing genes similar to quorum sensing[14] systems of Gram positive bacteria. Quorum sensing is a process that depends on a concentration of a specific molecule that is dependent on the bacterial population density. This molecule is being released and then detected again by the bacteria, and called "autoinducer"[15]. The autoinducer is detected by a receptor and causes a change in gene expression and "behavior" of the bacteria.

More intensive research has shown this system to be responsible for the CM effect.

[14] Waters, C. M. & Bassler, B. L. Quorum sensing: cell-to-cell communication in bacteria. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* **21,** 319–46 (2005).
[15] Li, Z. & Nair, S. K. Quorum sensing: how bacteria can coordinate activity and synchronize their response to external signals? *Protein Sci.* **21,** 1403–17 (2012).
27. Waters, C. M. & Bassler, B. L. Quorum sensing: cell-to-cell communication in bacteria. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* **21,** 319–46 (2005).

Bibliography

- Fruciano, D. E. & Bourne, S. Phage as an antimicrobial agent: d'Herelle's heretical theories and their role in the decline of phage prophylaxis in the West. *Can. J. Infect. Dis. Med. Microbiol.* **18,** 19–26 (2007).
- Waters, C. M. & Bassler, B. L. Quorum sensing: cell-to-cell communication in bacteria. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* **21,** 319–46 (2005).
- Li, Z. & Nair, S. K. Quorum sensing: how bacteria can coordinate activity and synchronize their response to external signals? *Protein Sci.* **21,** 1403–17 (2012).
- 27. Waters, C. M. & Bassler, B. L. Quorum sensing: cell-to-cell communication in bacteria. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* **21,** 319–46 (2005).
- Sorek, R., Kunin, V. & Hugenholtz, P. CRISPR--a widespread system that provides acquired resistance against phages in bacteria and archaea. Nat. Rev. Microbiol. 6, 181–6 (2008).
- Deveau, H., Garneau, J. E. & Moineau, S. CRISPR/Cas system and its role in phage-bacteria interactions. Annu. Rev. Microbiol. 64, 475–93 (2010).

מדעי החברה

ומדעי הרוח

רומא ויהודה: מכבש הפרובינקיזציה והמרד הגדול

תלמיד: אגם קדם לוי, כפר סבא

מנחה-עמית: ד"ר עידו יזרעלוביץ, החוג ללימודים קלסיים, אוניברסיטת תל אביב



ר ק ע

תרבות המערב עומדת על שתי רגליים – זו הרומאית-יוונית וזו היהודית-נוצרית – כשהאחת נתנה את המדע והפילוסופיה שלה, והשנייה – את דתה. אפשר לראות אותן כמנוגדות זו לזו, ואפשר לראות אותן כמשלימות זו את זו.

האימפריה הרומאית השתלטה על אגן הים התיכון ועיצבה אותו מחדש. התרבות, המשטר, הטכנולוגיה והמוסר שלה היכו שורש עמוק אל תוך אדמות נחלותיה. ההתנגדות המקומית לרומאים הייתה זניחה – את עיקר מפלותיהם הם ספגו מידי מעצמות זרות – מלבד, כמובן, יהודה.

הממלכה החשמונאית הדועכת סופחה על ידי האימפריה בשנת 63 לפני הספירה, בתחילה כממלכת חסות ולאחר מכן כפרובינקיה מן המניין. היהודים התמרדו נגדה שלוש פעמים, מתוכן פעמיים על אדמת יהודה עצמה. מרידות אלו, ובראשן המרד הגדול, המיטו חורבן על היישוב היהודי ותלשו אותו למשך אלפיים שנים, הן כפו עליו מהפכות תרבותיות אדירות, שהיהדות שלפניהן כלל אינה מזכירה את היהדות של ימינו אנו.

מדוע יהודה התמרדה נגד האימפריה? מדוע דווקא הפרובינקיה הזאת סירבה לקבל עליה את התרבות הרומאית? מה ניתן ללמוד מהמרידות האלו על האימפריה ועל העם היהודי הקדום?

אלו השאלות שהנחו אותי בכתיבת עבודת המחקר, עליה עבדתי במהלך השנה האחרונה, ואני מקווה שהצלחתי לספק להן, לפחות לחלקן, תשובות צנועות.

סקירה היסטורית

הרומאים הגיעו ליהודה עקב מלחמותיהם באסיה, במהלכן עמד מולם המלך העיקש של פונטוס – מיתרידאטס. פונטוס הובסה פעם אחר פעם, כאשר מיתרידאטס סירב להיכנע. בסופו של דבר המצביא הרומאי גנאיוס פומפיוס קיבל את הפיקוד על הכוחות במזרח והוביל את מלחמתה האחרונה של רומא מול פונטוס.



מיקומה של יהודה במערך הקיסרות הרומית

פומפיוס לא עצר עם ניצחונו על מיתרידאטס, והשתלט על אדמות נרחבות במזרח הקרוב, ביניהן גם אדמת יהודה. הרומאים השתיתו ביהודה משטר חסות – בתחילה תחת אחרוני מלכי החשמונאים ולאחר מכן תחת בית הורדוס האדומי.

הורדוס הזר לא היה אהוד על בני יהודה, וגם מעמדו כבעל ברית של השלטון הרומאי הלך והתדרדר. עם מותו בוטל משטר החסות ויהודה הפכה לפרובינקיה – מחוז מנהלי של האימפריה הרומאית שנשלט על ידי נציב רומאי.

מצב זה נשמר עד לפרוץ המרד הגדול, למעט אפיזודה קצרה בה אגריפס הראשון, נכדו של הורדוס וידיד קרוב של הקיסרים קליגולה וקלאודיוס, הצליח להקים מחדש את ממלכת סבו. לאחר מותו של אגריפס, המשטר הפרובינקיאלי הושב על כנו.

תיאורה של הפרובינקיה יהודה שלפני המרד מתבסס על ספריו של יוספוס פלאביוס, אחד ממנהיגי המרד שהפך להיסטוריון חצר תחת בני השושלת הפלאבית ברומא (ומכאן שמו, שכן ברומא עבדים משוחררים קיבלו את שמות אדוניהם לשעבר).

תיאורו של פלאביוס נוטה להאיר באור חיובי את ההנהגה היהודית השמרנית של כת הצדוקים, ולהוקיע את הכוחות הקנאים ביהודה. צריך לזכור כמובן, שפלאביוס כותב על אירועים בהם הוא ואדוניו החדשים לקחו חלק. עובדה זאת השפיעה, סביר להניח, על האמת שהוא מציג בפנינו.

הנציבים הרומאים ביהודה הסתכסכו עם התושבים המקומיים, וזאת בעיקר בגלל עימותים בין יהודים לבין נוכרים (הלניסטים שזכו לתמיכת השלטון הרומאי), שאלות מיסוי, השליטה בבית המקדש ואופי הפולחן שמתרחש בו.

בבית המקדש השני היה נהוג להקריב קורבנות לשלום הקיסר הרומאי, וזאת מבלי להכניס פסלים או צלמים שלו לתוך המקדש. ההסדר הזה עורער מספר פעמים על ידי הרומאים, ובסופו של דבר המרד החל בבית המקדש כאשר מנהיגיו הפסיקו להקריב את הקורבנות לשלום הקיסר.

ההצלחות הצבאיות הראשוניות של היהודים נבלמו כאשר הגנרל הרומאי אספסיאנוס פלאביוס הגיע ליהודה, מלווה בתגבורות ובבנו טיטוס. אספסיאנוס הצליח לצמצם את האדמות שבשליטת המורדים לכדי ירושלים עצמה ומספר מבצרים מבודדים.

באותן השנים התחוללה באימפריה מלחמת אזרחים. השושלת היוליו-קלאודית, אותה ייסד אוגוסטוס, אבי הקיסרות, הודחה בעקבות שלטונו של הקיסר חדל האישים. בזה אחר זה שלטו גלבה, אותו וויטליוס, כאשר איש מהם לא מצליח להבטיח את שלטונו.

בסופו של דבר נכרתה ברית משולשת בין אספסיאנוס, מושל סוריה ומושל מצרים היהודי, שתבעה למנות את המצביא לבית פלאביוס כקיסר. כך נפסק מסע המלחמה שלו ביהודה עד אשר אספסיאנוס עלה על הכס.

טיטוס החליף את אביו כמפקד המרד, כבש את ירושלים (לא מעט בזכות המלחמות הפנימיות בתוך העיר, במהלכן הקנאים הציתו את מאגרי המזון שלה וכפו על מאות אלפים לגווע ברעב).

המרד הגדול דוכא, רבבות נהרגו בחרב וברעב, יוחנן בן זכאי הוביל מהלך לרפורמה דתית שיצר את היהדות שאנו מכירים, והאימפריה הידקה את שלטונה ביהודה בכוח הזרוע.

אידאולוגיה, דת ולאומיות



לטענת חלק מהחוקרים, המרד הגדול היה מרד בעל אופי דתי. הדת ההלניסטית של הרומאים לא התיישבה עם המונותאיזם היהודי העתיק. הפגיעה בבית המקדש הייתה העילה למרד בגלל היותו סמל דתי.

סברה אחרת רואה את המרד כעימות לאומי. יש חוקרים המסווגים את היהדות העתיקה כבעלת סממנים לאומיים, סממנים שאיתם האימפריה לא הייתה יכולה להשלים.

לטענתי, שאלת ההגדרה – האם היהדות העתיקה הייתה תפיסה דתית בלבד או שמא גם לאומית? – אינה רלוונטית לקונטקסט ההיסטורי – **המרד הגדול היה עימות שהתבסס על הבדלי זהות בין היהודים לבין הרומאים**. אין אפשרות להפריד בין התפיסה הדתית של היהודים לבין השאיפה שלהם לעצמאות (בין אם נתייחס אל זו כאל לאומית או לא). בית המקדש, למשל, היה מרכזו של מנגנון מיסוי ושיפוט, שסמכותו חרגה מהמישור הדתי.

היהדות העתיקה, בין אם הייתה תפיסה לאומית ובין אם הייתה תפיסה דתית בלבד, טיפחה בקרב היהודים תפיסת זהות מסוימת– של "עם סגולה" שכפוף ל"מלכות השמיים".

האימפריה, לעומת זאת, הובילה מהלך תרבותי שעיקרו עידוד זהות אימפריאלית משותפת, של נתיני האימפריה. מכבש הלחצים הרומאי להנחלת הזהות הזאת התבסס גם על אמצעים דתיים, ביניהם פולחן הקיסר. הסירוב היהודי לקחת בו חלק לא נבע אך ורק ממניעים דתיים, אלא גם מהסירוב של רוב היהודים לקבל על עצמם את הזהות הרומאית.

שלטון ופרובינקיזציה



האימפריה הרומאית הפעילה על הנחלות השונות שלה מספר אמצעים תרבותיים, כלכליים ושלטוניים, שמטרתם להפוך אותן לפרובינקיות מתפקדות בתוך המארג האימפריאלי הרחב יותר. אני מתייחס לתהליך זה כאל **פרובינקיזציה** – מכלול הכלים שרומא הפעילה כדי לסתת פרובינקיות מתוך האדמות שהיא כבשה.

התהליך הזה היה בעל מאפיינים תרבותיים ואידאולוגיים – כאמור, הזהות האימפריאלית שעליה דיברתי, אבל גם בעל משמעות שלטונית. ממלכות החסות שהרומאים הקימו ברבות מהאדמות שעליהן הם השתלטו היו השלב הראשון של הפרובינקיזציה הזאת – תחת מלכי החסות התרבות הרומאית חלחלה לתוך האדמות הכבושות, והפכה את הקמת הפרובינקיה להדרגתית ונוחה יותר עבור המקומיים.

במסגרת עבודתי סקרתי את מאפייני הפרובינקיזציה וניסיתי לצייר תמונה רחבה שלה, מתוך מקרה הבוחן של יהודה וכשלונו.

מתיאורו של יוספוס פלאביוס ניתן להסיק כי המרד הגדול היה תוצר של כשל אדמיניסטרטיבי של כמה ממושלי יהודה, שתקופת שלטונם המושחתת הייתה העילה למרד. ההסבר הזה, לדעתי, אינו מספק. שחיתות של מושלים הייתה תופעה רווחת באימפריה, והיא לא יכולה להסביר את אופי ההתנגדות העזה, דווקא ביהודה.

דיון מסכם

הכשל האדמיניסטרטיבי, אם כך, אולי שמש זרז לפרוץ המרד, והגורמים הדתיים אולי שימשו כמה ממנהיגיו כדי להצדיק את מעשיהם, אבל הם אינם מספיקים כדי להסביר את המרד כולו.

ההתנגשות בין יהודה לרומאים הייתה תוצאה של כשל בתהליך הפרובינקיזציה, כשל שנבע מהפער בין הזהות היהודית לבין זהות-העל של האימפריה.

מסקנות ומחשבות לעתיד

הנצרות, שהחלה את דרכה כזרם בתוך היהדות, ניהלה מערכת יחסים מורכבת עם האימפריה הרומאית – בתחילה כת נרדפת, לאחר מכן זרם לגיטימי ולבסוף הדת הרשמית של האימפריה.

לדעתי ניתן ללמוד הרבה מאוד בהשוואה בין יחסי הנוצרים-רומאים לבין יחסי היהודים-רומאים, במיוחד בעניין הזהות. מה בדת הנוצרית הפך אותה למותאמת יותר לרומאים, בניגוד לדת היהודית?

בנוסף, יכול להיות מעניין מאוד לדעתי להשוות בין השלטון הרומאי ביהודה לבין זה בגרמאניה שמעבר לריין – שם נעצרו הכיבושים הרומאיים. מדוע הרומאים נבלמו בגרמאניה, האם היה זה בעקבות כישלון צבאי או שלטוני, או שמא ניתן לספק הסבר תרבותי לשאלה זאת?

ביבליוגרפיה

אפיאנוס, **ההיסטוריה של רומא**: המלחמות הסוריות.

אנדו, קליפורד (2000) . Imperial Ideology and Provincial Loyalty in the Roman Empire. University of California Press: ברקלי ולוס אנג׳לס.

באוורסוק, גלן וורן .Augustus and the Greek World (1965) .לונדון.Oxford University Press:

דיוויד, גודבלט .Elements of Ancient Jewish Nationalism (2006). .ניו יורק Cambridge: University Press

דורון, מנדלס .The Rise and Fall of Jewish Nationalism (1992). .ניו יורק Doubleday :

טקיטוס, **ההיסטוריות**

יוספוס פלאביוס, **תולדות מלחמת היהודים עם הרומאים**

כהן, חיים. (1968). **משפטו ומותו של ישו הנוצרי**. תל אביב: דביר.

מקבים א׳, מקבים ב'

צ׳ריקובר, אביגדור. (1961). **היהודים בעולם היווני והרומי**. תל אביב: מ. ניומן.

Aharon Oppenheimer (1998), Jewish Penal Authority in Roman Judaea. In G. Martin (Eds.) Jews in a Graeco-Roman World (pp-181-191). New York : Oxford University Press.

מתכונים לרפואה

תלמידה: עליזה קמישן, חולון

מנחה-עמית: ד"ר טובה דיקשטיין, נאות קדומים



הרקע למחקר

במשך אלפי שנים למדו הקדמונים, בדרך של ניסוי וטעייה, להשתמש בצמחים לריפוי מחלות. לכל מחלה נמצאו במשך מאות השנים צמחי המרפא המתאימים לה.

מחקר הרפואה המודרני נטה לזלזל בידע שנצבר במרוצת הדורות (אולי מתוך התנשאות). יחד עם זאת, ניתן לראות כי בשנים האחרונות, לאור התחסנותם של החיידקים וההכרה שגם לרפואה המודרנית אין פתרון לכל מחלה, פונים רבים אל הרפואה האלטרנטיבית. מחקרים רבים הנעשים כיום בנושא מרכיביהם הרפואיים של צמחים ומינרלים, מגלים לעתים קרובות, בצורה מדעית, את מה שידעו הקדמונים לפני אלפי שנים.

על צמחי המרפא נכתב לא מעט, אך עדיין לא נכתב הרבה על מאכלים ומתכונים רפואיים הנזכרים בכתביהם של רופאי התקופה הקלסית – יוון ורומא – ובספרות חז"ל.

בחרנו לחקור נושא זה כדי להציף את הידע הנשכח, מתוך אמונה שהוא עשוי להיות משאב לדורות הבאים ולהוות השראה להמשיך ולחקור את הנושא, וזאת כדי למצוא תרופות ולעזור לאנשים שהרפואה המודרנית כשלה בעיניהם.

שאלת המחקר ומטרתו

זיהוי המרכיבים הרפואיים במתכונים הקדומים.

בדיקת המתאם בין מה שיוחס להם בעת העתיקה, לאור המחקר המודרני.

שיטת המחקר

שתלנו צמחי תבלין וצמחי רפואה שאינם נמצאים בהישג יד – כמו פיגם, אזוב מצוי, אזוב פרסי, זוטה לבנה, נענע משובלת ואחרים.


פיגם


אזוב מצוי


אזוב פרסי


זוטה לבנה


נענע משובלת

מציאת המתכונים

השלב הראשון – **מציאת מאכלים** בספרי הרפואה והטבע מהתקופה הקלסית (המאה ה-5 לפנה"ס עד למאה ה-3 לספירה) ובספרות חז"ל מן התקופה ההלניסטית ועד סוף התקופה הרומית. הרופאים הקדומים השתמשו אמנם בצמחי מרפא, במינרלים ואף בחומרים מן החי, אך במאכלים מעטים.

השלב השני – **זיהוי המרכיבים**. לא תמיד שמות המרכיבים היו ברורים, במקרים רבים חלו בהם שינויים במרוצת השנים. כדי לזהות אותם נעזרנו במקורות שונים, בתרגומים העתיקים כמו תרגום השבעים (תרגום התנ"ך ליוונית) והוולגטה (ללטינית) ובשפות שונות (גרמנית, רוסית, עברית עתיקה ועוד).

השלב השלישי – **שחזור המתכונים**. ברוב המקרים לא היו במתכונים כמויות מדויקות או הוראות ברורות, מלבד "שימו את כל הרכיבים בסיר ובשלו אותם עד שיהיו מוכנים". היה צורך בשחזור המתכונים בדרך של ניסוי וטעייה והכנת כל מאכל כמה וכמה פעמים. בכל פעם התקבל מתכון שונה במקצת, ועד שהגענו לטעם ולמרקם שהיה מדויק לטעמנו – השחתנו יותר מסיר אחד.
לא כל המרכיבים קיימים כיום או זמינים, ולכן ערכנו בירור מהם המרכיבים וכיצד ניתן להשיג את הצמחים ואת התבלינים הללו, או את התחליף הקרוב להם ביותר בעולמנו המודרני. לצורך כך נסענו לשווקים מיוחדים ולחנויות מן המזרח כדי לרכוש את המצרכים. צלמנו את תהליך ההכנה ואת המאכל הסופי.

השלב הרביעי – **בדיקת ערכיהם הרפואיים והתזונתיים** לאור המחקר המודרני.

לבסוף, ניתחנו בטבלה את המתאם בין התכונות שיוחסו לצמחים בעת העתיקה לבין מה שנמצא בהם היום. להלן אחד מהמתכונים אותם חקרנו במהלך השנה האחרונה:

טיסני

הטיסני – דייסה רפואית עשויה מגריסי שעורה. גריסי השעורה נחלקו לשלושה גדלים – אליקה – חצי גרגר, טרגיס – שליש, ופיטסני או טיסני – רבע גרגר. מכל אחד מהגדלים הכינו דייסות שנקראו בשם הגריסים.

קצת על השעורה – השם לטיני – Hordeum vulgare – זן תרבותי של השעורה במשפחת הדגניים, מקבוצת דגני הלחם. מבשילה בחודש אפריל.



בשיבולת השעורה שתי שורות של שיבוליות כשבכל שיבולית שלושה פרחים. בחלק מתתי-המין רק הפרח האמצעי פורה ושני האחרים לא. תתי-מין אלה הם השעורה הדו טורית שבה הגרעינים מסודרים בשני טורים. האחרים, שבהם כל הפרחים פוריים, נקראים שעורה רב טורית שנחלקת לארבעה טורית ולשש טורית. השעורה השש טורית עשירה בחלבון בהשוואה לשעורה הדו טורית ולכן היא מתאימה יותר למאכל בהמות, ואילו השעורה הדו טורית עשירה יותר בסוכרים ולכן מתאימה יותר להתססה. השעורה הייתה הדגן השני בחשיבותו אחרי החיטה, כי הלחם הנוצר מהקמח שלה קשה הרבה יותר והבצק פחות גמיש מאשר אלה העשויים מחיטה. בתקופה הקלסית ירד מעמדה והיא הייתה מאכל לעניים ולבעלי חיים.

פליניוס מתאר שתי שיטות לגריסת שעורה: **השיטה האיטלקית** – הגרעינים נקלו באש ונגרסו בריחיים ללא הרטבה; **השיטה היוונית** – הגרעינים הושרו במים, התייבשו במשך הלילה, נקלו למחרת ורק אז נגרסו בריחיים[16].

מקורות

היפוקרטס כתב כי את הטיסני מכינים בשתי צורות – האחת סמיכה – oulai ptissanai, והשנייה נוזלית או מיץ – chylos. שתי צורות אלה נזכרות גם בתלמוד[17] הממליץ על הטיסני כשובר צימאון, כמשחה לפצעים, כמאכל לחולים עם חום, לפחות לאלה הרגילים לאכול פעמיים ביום. יתרונה של הדייסה שהיא קלה לעיכול, מחליקה בקלות ומשחררת. ניתן לערב אותה ביין, בחלב, במים או בדבש. החלב יכול להיות חלב עיזים או פרות.[18]

גלנוס מבקר את הדרכים השונות בהן הכינו הרופאים מרק רפואי זה:

> אנשים מכינים את הטיסני על ידי כתישת הגרעינים במכתש לגריסים זעירים, ואז אחרי שהתבשלו בישול מהיר ישנם שמוסיפים יין, אחרים עמילן וכאלה שמוסיפים כמון ודבש. זהו מתכון רע. הדרך הנכונה להכנת טיסני היא להשרות את השעורה במים, אז לשפשף אותה בין כפות הידיים עד שכל הקליפות יורדות... שיטת קילוף זו יוצרת "גריסי פנינה", מהם מכינים את הטיסני הטוב ביותר... גריסי פנינה מוכנים כראוי כאשר תפחו למלוא קיבולם תוך כדי בישול. אחרי זה הנמך את האש ובשל על אש קטנה תוך כדי בחישה מרובה עד שיהפכו למרק... באותו רגע מוסיפים חומץ ולאחר מכן מלח, אבל לא בכמות רבה... אם בהתחלה תוסיף שמן, זה לא יזיק למרק. לא צריך להוסיף שום דבר חוץ מאשר כרשה או שמיר כאשר אתה מתחיל לבשל... ישנם כאלה שמוסיפים דבש וכמון למרכיבים ואז מכינים נזיד במקום מרק שעורים[19].

---

[16] פליניוס, ההיסטוריה של הטבע, 18, 75-71 .

[17] "עבה לאכילה עושים אותה, רכה לרפואה עושים אותה" בבלי ברכות לח ע"א.

[18] שיינקמן, היפוקרטס, עמ' 132-126.

[19] גרנט, גלן, עמ' 70 . גרנט עיבד את מתכון של גלנוס למטבח המודרני.

בארץ ישראל הכינו אותו עם דבש: "והחולה היה טועמו כטעם סולת המעורב בשמן ובדבש, כטיסני הזה שעושין לחולה"[20]. הטיסני מלווה מי כרוב רפואיים אצל קאטו, פוליטיקאי וסופר רומאי[21].

המתכון שלנו הוא של אפיקיוס, שף רומאי שספרו "על הבישול" הוא הספר היחיד ששרד מן העת עתיקה. הוא מציע ארבעה מתכונים לטיסני משעורה.

וכעת, לטיסני עצמו – **המתכון של אפיקיוס – Tisana Taricha**:

"הדגן (שעורה) מושרה במים: חומוס, עדשים ואפונה נמעכים ומתבשלים אתו. כאשר הם מבושלים היטב, הוסף כמות גדולה של שמן. עכשיו חתוך עשבי תיבול ירוקים, כרשה, כוסברה, שמיר (שבת), שומר, עלי סלק (מנגלד), חלמית, גבעולי כרוב (קייל), כולם רכים וירוקים וקצוצים היטב והכנס אותם לסיר. הכרוב מתבשל... (לא ברור, אולי בנפרד). כתוש זרעי שומר, אורגנו, סילפיום ולאושטיאן או לובג' וכאשר מתבשל הוסף ציר לטעם. צוק אותו על הדייסה וערבב יחד והשתמש בעלי כרוב מאודים וקצוצים היטב לפזר מעל". [22]

וזה המתכון שלנו, המספיק לחמש מנות לפחות, אם לא יותר.

המצרכים הדרושים

כוס עדשים ירוקות
כוס חומוס
כוס אפונה
שלוש כוסות גריסי שעורה
שלושה עלי מנגולד
כחמישה ס"מ כרישה
כוסברה ושמיר
כמה פרחי שומר
חמישה זרעי שומר
כ-15 זרעי חרדל
חצי כפית אורגנו
⅛ כפית הינג'
8-9 עלי סלרי (במקור דרוש לוואג', שהוא כמו סלרי קצת חריף. במקומו שמנו סלרי וחרדל)

אופן ההכנה

- מבשלים את העדשים עד שהן חצי מוכנות ומוסיפים אפונה וחומוס שגם הם חצי מוכנים. מבשלים ביחד עד כ-85% הכנה ומועכים לעיסה לא אחידה בבלנדר;
- לשלוש הכוסות של גריסי השעורה מוסיפים שתי כוסות מתערובת החומוס, האפונה והעדשים הירוקות;

---

[20] תנחומא, (בובר) שמות כב, עמ' 11.

[21] קאחקלאטו, על הות, 5 156.

[22] אפיקיוס, על הבישול, 4, 173

- מכסים את התערובת במים ומבשלים כ-15 דקות על אש בינונית. מבשלים עלי מנגולד עם שמן זית, ולטיגון להוסיף את הכרישה, להוסיף מעט כוסברה ושמיר ושני פרחי שומר;
- בנפרד, כותשים את כל הזרעים עם האורגנו וההינג' יחד עם הסלרי;
- את התערובת הזו מבשלים בנפרד עד שהעלים נראים מוכנים.

מוסיפים את המנגולד עם הכרישה ואת התבלינים אל הגריסים והקטניות, ומבשלים עם המים מבישול התבלינים עד אשר העיסה מתייבשת ונוצר מרקם דייסתי.





מחקרים

לשעורה תכונות רפואיות רבות, ביניהן פיזור חומצות אמינו בגוף התורמות לרגיעה, למניעת סוגי סרטן רבים כמו סרטן השד (כתוצאה מהתנהגות דומה לאסטרוגן שהוא כידוע גורם חשוב בסוג זה של סרטן), סרטני הערמונית, המעי הגס, הקיבה, הכבד והעור (בעקבות הנוכחות של סלניום בשעורה, הנוכחי בנוסף לתפקוד הורמונלי תקין ומשמש כנוגד חמצון כנגד רדיקלים חופשיים).

מחקר יפני גילה שמיץ מנבטי שעורים הוא בעל פעילות אנטי דלקתית ועוזר לכיבי קיבה ולדלקות מפרקים. בגריסי השעורה יש חומרים המורידים את רמות הכולסטרול בדם וכתוצאה מכך את הסיכונים למחלות לב, מורידים את רמת הסוכר, פעילים נגד סרטן השד ואסטמה אצל ילדים.

שעורה עשירה בסיבים תזונתיים, בויטמינים, במינרלים ובחומצות שומן חיוניות כגון אשלגן, חומצה פולית, אומגה 3, 6 ו-9, ויטמין B לסוגיו, זרחן, מגנזיום וכמות נמוכה של נתרן (שזה תמיד טוב) ועוד רבים וטובים.[23] [24] [25]

[23] http://www.livestrong.com/article/259280-barley-nutrition-information/

[24] http://wholegrainscouncil.org/whole-grains-101/health-benefits-of-barley

[25] http://www.medicalnewstoday.com/articles/295268.php

מחשבות לעתיד

חשוב לחזור ולהביט על התרופות הקדומות, לגלות מחדש את תכונותיהם ולמצוא דברים שיעזרו לאנשים שדבר לא עזר להם עד כה.

בנוסף, אנו רוצות להפיץ את הידע שצברנו במהלך המחקר, ותאמנו הרצאה במכללת דויד-ילין בירושלים, בפני תלמידי קורס העוסק בצמחי רפואה, בנושא העבודה והתוצאות שקיבלנו במהלך המחקר שלנו.

ביבליוגרפיה

Galen on Food and Diet - Mark Grant

Roman Cookery - Mark Grant
The Classical Cookbook - Andrew Dalby and Sally Grainger

Food in the Ancient World from A to Z - Andrew Dalby

Apicius – Cookery and Dining in Imperial Rome

Plinius the Elder - *find the right book

אתרים

http://www.livestrong.com/article/259280-barley-nutrition-information/

http://wholegrainscouncil.org/whole-grains-101/health-benefits-of-barley

http://www.medicalnewstoday.com/articles/295268.php

ניתוח האוטופיות האנרכיסטיות "המנושל" ו"בולו'בולו"

תלמידה: ענבל קרסו, יטבתה

מנחה-עמית: ד"ר יפתח גולדמן, מכללת דוד ילין ירושלים, אוניברסיטת חיפה



שאלת המחקר

עבודתי עסקה בשאלת היתכנותה של חברה ללא שלטון. על השאלה עניתי דרך ניתוח של שתי אוטופיות אנרכיסטיות – המנושל מאת אורסולה לה גווין ובולו'בולו מאת פי.אם.

שאלת המחקר – אילו מהתנאים המתקיימים במנושל ובבולו'בולו מאפשרים קיום של חברה ללא שלטון, והאם חברתנו תוכל להפוך לחברה דומה לחברות המתוארות בספרים.

מתודת המחקר

"המנושל" ו"בולו'בולו" הן אוטופיות אנרכיסטיות שנכתבו במאה ה-20. קדמו להם הן הגות אנרכיסטית ענפה, והן מסורת כתיבה אוטופית עשירה. על מנת להבין מהן עמדותיהם של הכותבים ביחס לשאלת היתכנותה של חברה ללא שלטון, ומה המסר שניסו להעביר, בחנתי כיצד בחרו להתכתב עם המסורת שקדמה להם. לאחר ניתוח עמדותיהם של שני המחברים, ביקרתי אותן וביררתי אילו מאפיינים באוטופיות שכתבו נחוצים ומאפשרים את קיומה של חברה ללא שלטון. מכאן המשכתי לשאלה – באילו תנאים יכולה להתקיים חברה ללא שלטון, והאם החברה שלנו תוכל להפוך לחברה כזאת.

ר ק ע

אוטופיה

אוטופיה היא יצירה ספרותית המתארת חברה אנושית מושלמת והרמונית. מטרתה של האוטופיה היא להציג באור ביקורתי את המציאות הקיימת, ולהציע לה אלטרנטיבה. למרות שהיא כתובה כמעין רומן, האוטופיה היא בדרך כלל יצירה פילוסופית יותר מאשר ספרותית.

אנרכיזם

אנרכיזם הוא זרם בפילוסופיה הפוליטית שנוצר במאות ה-19 וה-20 באירופה. ההוגים האנרכיסטיים המרכזיים הם פייר ג'וזף פרודון, מיכאל באקונין, פיוטר קרופוטקין וגוסטאב לאנדאואר. האנרכיזם מקדש חירות כערך עליון, ולפיכך יוצא כנגד מרות וחוק, ובפרט כנגד מוסד המדינה. לטענת האנרכיסטים, המדינה היא גוף השולל ומדכא את יכולת הבחירה החופשית של האדם, ולכן יש לבטלו. המדינה מבוססת על ניצול של רוב החברה לטובת אינטרסים של קבוצה קטנה בתוכה. בנוסף, כל מדינה רעה במהותה משום שהיא שואפת להיות החזקה ביותר, וכדי לעשות כן עליה לבלוע את זולתה. בכך המדינה שוללת את האנושיות ואת הסולידריות האוניברסלית. זרם האנרכיזם הסוציאלי – הזרם המרכזי – מהווה חלק מהתנועה הסוציאליסטית ובתפיסתו חירות ושוויון קשורים זה בזה קשר בלתי ניתן לניתוק. הוא רואה בקפיטליזם ובמדינה יחידה אחת היוצרת אי-צדק וניצול.

על הספרים

המנושל הוא סיפור מדע בדיוני שנכתב בשנת 1974 על ידי הסופרת האמריקאית אורסולה לה גווין. הספר מספר על שתי פלנטות – אנארס ויוראס. החברה ביוראס דומה לחברתנו, בעוד שאנארס הוא כוכב אליו ברחו אנשים מיוראס על מנת להקים חברה טובה יותר. החברה שהם מקימים היא חברה אנארכיסטית, בה אין שלטון, אין רכוש ואין מלחמות. הסיפור מסופר מנקודת מבטו של שווק, תושב אנארס, פיזיקאי מוכשר שנתקל בקשיים רבים מול אנארס. יכולותיו בפיזיקה לא זוכות למענה ולפיתוח ראוי, והוא חש שבכך נכשלת חברתו מלעמוד במטרותיה. הוא נוסע ליוראס מתוך רצון לגשר בין העולמות וללמוד פיזיקה. דרך סיפורו של שווק מוצגת לנו החברה באנארס.

בולו'בולו נכתב בשנת 1983 על ידי הסופר השוויצרי פי.אם. הספר הוא בעל אופי פחות סיפורי וכתוב יותר כטקסט רעיוני. בחלקו הראשון של הספר כותב המחבר כיצד יש להפיל את המדינה, את תעשייתה ואת כלכלתה. לאחר מכן הוא מסביר כי מה שיחליף אותה היא מערכת כלל עולמית של בולואים – כל בולו הוא יחידה של כ-500 אנשים. הבולו מתנהל במידה רבה במשק אוטרקי. הדבר המבדיל בין בולו לבולו הוא צורתו ואופיו התרבותי.



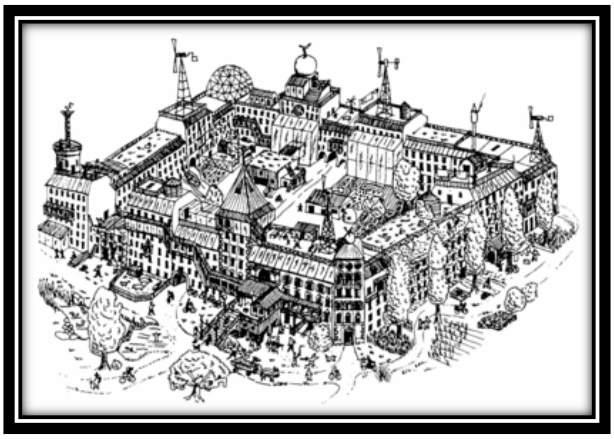


ניתוח הספרים

בולו׳בולו

חשיבות התבונה – בניגוד לרוב האוטופיות, בהן ניתנת מרכזיות להשכלה ולידע, ב״בולו׳בולו״ לתבונה אין כל תפקיד מכונן או נבדל. הבחירה בהשכלה אינה עולה בחשיבותה על כל תחביב אחר או רצון להגשמה עצמית. נראה שהדבר תואם את רוח הספר, שאינה מאמינה בשלטון תבוני כי אינה מאמינה בשלטון, ובוחרת לא לכפות דבר על איש. יש לציין שהאוטופיות הקלסיות נכתבו בראשית ״עידן התבונה״, כאשר עוד הייתה אמונה נאיבית בתבונה וביתרונותיה. האוטופיה של פי.אם. נכתבה אחרי עשרות שנים של תבונה אינסטרומנטלית, מדעית וטכנולוגית, אשר תועלתה עבור האדם מפוקפקת למדי, לדעת פי.אם. ורבים אחרים.

שיטת כלכלה – כל בולו הוא יחידה כלכלית שיתופית הנשענת על עיקרון של חלוקת כל התוצר בין כל האנשים, בלי תלות בשאלה כמה עבדו או מה תרמו לחברה.



איור של בולו עירוני .טורבינות רוח קטנות מספקות חלק מהאנרגיה, שילוב של מבנים ומרחבים שונים לשם מגוון שימושי קרקע כמו גינות פרמקלצ'ר ,מקומות משחק, לימוד, עבודה ועוד.

פדרליזם – במבנה החברתי בולו׳בולו הולם את המסורת האנרכיסטית. פי.אם. כותב כי באופן טבעי יקומו פדרציות של בולואים, אשר אופיין ישתנה מאזור לאזור ומיבשת ליבשת. הבסיס לחיבור ביניהם לא יהיה קבוע. לפדרציות אלה יהיו תפקידים מעשיים של תחזוק ובניית מיזמים משותפים, הן לא ימלאו תפקיד של מנהלים בעלי כוח, ולא ייכפו על אף בולו או אדם.

מהפכה – לשאלת המהפכה מקדיש פי.אם. חלק גדול מספרו. בתחילת הספר הוא מתאר כיצד ייפלו ויוחלפו הכלכלה והמדינה הקיימות כיום – יש להרוס אותן מבפנים אל החוץ, באמצעות חתרנות, ובמקביל, לפתח את צורת החיים החדשה שתחליף את המכונה. בכל מקום שבו ייפול השלטון ייבנו הבולואים. רעיונותיו של פי.אם. תואמים ישירות את אלה של בקונין וקרופוטקין, ובהם נראה שהוא משלב גם את התפיסה המאוחרת יותר, לפיה יש לצאת ולהתחיל להקים קהילות אנרכיסטיות.

המנושל

מאפיינים ספרותיים – אף על פי שאוטופיות הן לרוב מסה הרמונית נטולת קונפליקטים, אנארס מלאה בשלל קונפליקטים. אנארס היא אוטופיה שהאדם החי בה יכול לשאוף לשינוי חברתי. היא איננה מושלמת כלל, היא פגומה. מדוע אורסולה לה גווין בוחרת לכתוב אותה כך?

נראה שלה גווין ריאלית ביחס לטבע האדם. היא כותבת אוטופיה, אך לא מתעלמת מתופעות שיהיו בלתי נמנעות בחברה ללא שלטון, למשל, שהחברה האוטופית תתקבע בדעותיה, ותמנע מאנשיה להיות שונים. כמו כן, שיהיו אנשים שינצלו את היעדר השלטון, ושגם בחברה ללא שלטון יהיה מנגנון שימנע מאנשים לפעול בחופשיות. אנארס היא אוטופיה, אך היא אוטופיה ריאלית. לה גווין לא מניחה שמגבלות בטבע האדם ייעלמו מעצמן משום שהיא כותבת אוטופיה. היא מודעת לקונפליקטים, ומציגה את האוטופיה יחד עמם. בכך כותבת לה גווין אוטופיה שדומה בצורתה לרומן יותר מאשר לאוטופיה הקלסית.

המתח בין האמונה באפשרותו של עולם טוב יותר לבין ההכרה בכך שבעיות חברתיות עמוקות יתקיימו בכל סדר חברתי הוא מאפיין מהותי של "המנושל" המלווה את היצירה לכל אורכה. בכך לה-גווין מציגה עמדה מורכבת ואולי ריאלית יותר ממה שניתן למצוא בדרך כלל בכתיבה האוטופיסטית (וגם במרבית הטקסטים האנרכיסטיים).

המסר שמועבר הוא שלא תתקיים אוטופיה אידיאלית אנארכיסטית, אך עלינו לשאוף אליה. האנרכיזם הוא אכן מבנה חברתי עדיף, אך הוא לא מושלם, ועלינו להמשיך ולנסות, משום שהאדם משתנה ומתפתח בלי סוף, לא תיתכן אוטופיה סטטית מושלמת – אוטופיה אמיתית היא מהפכנות בלתי פוסקת, יציאה לדרך בידיעה שאין מטרה סטטית, יש תהליך.

יחד עם זאת נראה שהדרך להשיג חברה טובה יותר לדעת לה-גווין היא לעזוב את החברה הקיימת, ולהקים חברה חדשה. כך עשו האנארים, כשעזבו את יוראס, וכך ייתכן שיאלצו לעשות שווק ובת זוגו. אין כל ניסיון לשנות את העולם הנוכחי. שווק אף מנסה לנסוע ליוראס בשביל לשנות אותה ונכשל.

דיון ומסקנות

התיתכן חברה ללא שלטון? מה אפשר ללמוד מ"בולו בולו" ומ"המנושל"?

לפי לה גווין, הבעיה העיקרית בחברה האנרכיסטית היא שדעת הקהל תחליף את השלטון. בחברה שהיא מציגה, דעת הקהל שולטת בפרט ומונעת ממנו להיות ייחודי ולממש את עצמו. אך, האם דעת הקהל כתחליף לכוח השלטון היא דבר שלילי כל כך? אנארס במידה רבה מותנית בלחץ החברתי המתמיד השורר בה. לה גווין אמנם מבליטה את צדו הרע, אך ניתן להסתכל גם על הצד הטוב, ואף ההכרחי – ללא מצפונם הבוער של האנארים האנרכיזם לא יתקיים.

מהחברה שלנו אנחנו מסיקים שללא חינוך מתאים מצפונם של אנשים לא יבער. אינני בטוחה אם באמצעות חינוך הוא יבער, אך אני מאמינה שכוחו של הלחץ החברתי אכן רב. על כל פנים, בלעדיו אין לאנארס סיכוי. נתקלנו בבעיה אם כן – מצד אחד דעת הקהל יוצרת דיכוי ומצד שני – היא הכרחית.

אם כך, נשאלת השאלה – האם הדיכוי שבדעת הקהל עדיף על הדיכוי שבמדינה? לדעתי התשובה היא חיובית. כאשר דעת הקהל היא הגורם המדכא, ישנם ברשותו של האדם יותר כלים להתמודדות. במדינה, כאשר אנחנו לא מסכימים עם הנעשה, הסיכוי שלנו להשפיע, גם אם קיים, הוא מצומצם מאוד.

כאשר דעת הקהל היא הגורם המדכא ביכולתנו לסרב לה, אמנם יהיו לכך השלכות, אך הן לא יהיו גורליות באותה מידה. כך למשל, כיום כאשר אדם מרגיש שהוא עובד שעות רבות והוא תשוש ומותש, אם ירצה להפחית בעבודה לא תהיה לו אפשרות לשלם על מזון, חשמל ומים, ובהנחה שיש לו ילדים אז גם להם יחסרו הדברים. אם הוא מרגיש שהמצב אינו צודק הוא יכול לנסות למחות, אך אפילו אם תהיה לכך השפעה היא תהיה נקודתית ומצומצמת. בעולם האוטופי של המנושל, אם אדם "נקרע" תחת לחץ היום-יום הוא יכול לעצור, וייתכן שאנשים סביבו יסתכלו עליו באופן עקום, אך תהיה בידיו בחירה.

טענתי היא שדעת הקהל תהווה גורם משפיע, משום שהאדם הוא ייצור חברתי והוא שואף להיות מוערך, אך היא לא תהיה גורם מכריע משום שאם אדם ילך נגד ציפיות החברה זה לא יפגע ביכולתו להתקיים. אני רואה, אם כן, בלחץ החברתי גורם דיכוי עדיף על המדינה וכלי שבאמצעותו יוכל להתקיים סדר בעולם האנרכיסטי. כלומר, אחד התנאים לקיומו של אנרכיזם הוא לחץ חברתי כתחליף לשלטון.

מהדוגמה שהבאתי לעיל נובעת גם חשיבותה של הכלכלה השיתופית המופיעה בשני הספרים. כפי שאני רואה זאת, כלכלה שיתופית היא הדרך היחידה שבה יושג צדק. כל חלוקה של רכוש המותנית בכישורים אינטלקטואליים, פיזיים או בנתונים משפחתיים יוצרת מצב שבו אנשים מסוימים מקבלים פחות מאחרים על לא עוול בכפם, וכמעט ללא כל יכולת להשפיע על כך. חברה צודקת היא חברה שבה כל אחד מקבל מענה לצרכיו ונותן כפי יכולתו.

אחת הטענות נגד הכלכלה השיתופית היא שלאנשים לא תהיה מוטיבציה לעבוד, וכך למעשה לא יבוצעו העבודות הנדרשות לקיום יום יומי. אולם אנשים מטבעם אוהבים לעשות דברים, ואוהבים לעשותם היטב, העבודה נותנת לאדם תכלית, העשייה והאתגר נותנות לו סיבה לקום כל בוקר והן מעניקות לחיים משמעות ותחושת הצלחה, והן התענוג האמיתי של החיים. אדם יבחר לעבוד גם אם לא יהיה מוכרח, משום שהעיסוק בתחום שמסב לו הנאה והאתגר שבכך, הם מספקים. העבודה אף מזכה בהערכה ובכבוד מהסובבים. פעם נוספת כוחה של דעת הקהל בחברה ללא שלטון בא לידי ביטוי – אף אדם לא ירצה שיראו בו בטלן כאשר כל מה שיש לו הוא האנשים סביבו והאופן שבו הם רואים אותו.

מבין התנאים שמוצגים בבולו'בולו, החלוקה של העולם ליחידות קטנות רבות (בולואים) היא הכרחית לדעתי. ראשית, משום שרק בקבוצה קטנה קולו של היחיד לא נרמס בתוך ההמונים, ויש לו השפעה על חייו. בקבוצה גדולה היחיד הוא אחד מיני רבים, ואם הוא רוצה לשנות דבר מה באורח חייו, הקול שלו קטן מאוד ופחות משמעותי. אולם כאשר כולם מכירים את כולם, כל דבר שנעשה, נעשה על ידי מכר שניתן לפנות אליו באופן אישי, להתייעץ עמו או לנסות לשנות את דעתו. בקבוצה גדולה זה לא כך – כאן אף נכנס יתרון נוסף של דעת הקהל כגורם מדכא בחברה האנרכיסטית כעדיפה על המדינה. החברה האנרכיסטית, הדוגלת בעקרון הפדרליזם, מורכבת מהרבה קבוצות קטנות. דעת הקהל אמנם מופעלת על היחיד בחברה, אך היא מופעלת עליו על ידי האנשים הקרובים אליו, איתם הוא יכול לדבר, ולנסות לשכנעם. מדובר בהבדל עצום ממצב שבו ההחלטות על האופן שבו אדם יחיה נקבעות על ידי גוף קטן של נציגים היושב בראשה של המדינה, שגם אם נגיש במידה מסוימת, אפילו אם היה רוצה לא יכול היה לראות את כל הפרטים שבחברה – על כן הדיכוי שנראה כהכרחי בחברה האנרכיסטית עדיף על הדיכוי של המדינה.

השאלה הבאה שברצוני לשאול היא – האם החברה שלנו תוכל להפוך לחברה ללא שלטון? תשובתה של לה גווין לשאלה היא – לא, משום שהחברה שלנו לא יכולה להשתנות. אם רצוננו הוא חברה טובה יותר, עלינו לנטוש את החברה הקיימת ולהקים חברה חדשה. יש בכך יתרון לדעתי משום שאם כך ייעשה, דעת הקהל

תעוצב מחדש בכל פעם. כך האנשים שלא יסכימו איתה וירגישו מדוכאים, יקומו ויבנו חברה חדשה לפי עקרונותיהם. יתרון נוסף הוא שכך כל קבוצה שתקים חברה חדשה תוכל ללמוד מטעויותיה של הקודמת ולהשתפר. כך נוצר מצב של חברה שמשתפרת באופן מתמיד, ועם כל חברה שנוצרת יש התקרבות לאוטופיה הרצויה.

אולם יחד עם זאת מדובר בפתרון בעייתי – ראשית, משום שלא לנצח יוכלו אנשים לקום ולהתיישב באזור אחר, הואיל ואין כמות בלתי מוגבלת של מקום בעולם; שנית, משום שיש בו אלמנט ותרני. כבר אמרו חכמינו שהרשע הוא זה המוציא עצמו מן הכלל. כלומר, בוויתור על החברה שבה אדם חי יש עניין לא מוסרי משום שהוא זונח אותה להתמודד עם צרותיה.

פי.אם. לעומת לה גווין, כן מאמין באפשרות השינוי, ומציג מהפכה בהתאם להגות האנרכיסטית. הן פי.אם. והן ההוגים האנרכיסטים מתארים בכתביהם את המהפכה ככוח העומד לפרוץ בכל רגע. אולם ההוגים האנרכיסטים כתבו לפני מאתיים שנה. גם פי.אם. הוציא את ספרו לפני יותר משלושים שנה ובנה לוח זמנים, אשר לפיו המהפכה נמצאת כעת בפיגור. הוא מוציא מדי כמה שנים מהדורה הקוראת לנו לא לוותר כי המהפכה עדיין בפתח.

אני חושבת שמדובר באשליה מנחמת שאם לאנשים רע הם יקומו וישנו. לדעתי דיכוי המדינה כה רב שמרבית האנשים הם או חסרי תקווה או מאמינים בנכונותה. אני לא מאמינה שהחברה שלנו יכולה להשתנות, כי לדעתי היא לא רוצה להשתנות לכיוון זה, אף על פי שלאנשים יכול להיות בה טוב יותר.

סיכום

חברה אנרכיסטית אפשרית ורצויה היא חברה שבה הקניין הפרטי מבוטל והכלכלה שיתופית. בחברה כזאת דעת הקהל תחליף את החוקים, היא תהיה בנויה מיחידות קטנות רבות בעלות אופי משתנה, כך שכל אדם בהן יוכל להשמיע קולו ולא יהא ניכור בין אדם לחברו. חברה מסוג זה צריכה להיות במהפכה מתמדת על מנת להתאים עצמה תמיד לרצונותיו ולצרכיו של הפרט בה. אולם, משום שהאדם נוטה להתקבע ואינו גמיש לשינויים, למעשה המהפכה המתמדת תתבטא בכך שבכל פעם שקבוצה תחוש שהחברה שבה היא חיה יכולה לשאוף ולהגיע גבוה יותר – תקים לעצמה חברה חדשה. היתרון בכך הוא שבכל קהילה חדשה שנוצרת יש הפקת לקחים מהחברה שממנה יצאו, וכך החברה משתפרת באופן מתמיד ומתקרבת יותר ויותר לאידיאל (וייתכן כמובן שהיא מתקרבת יותר ויותר למספר אידיאלים שונים המתאימים לסוגים השונים של בני האדם).

ביבליוגרפיה

1. אפלטון, "המדינה (הפוליטיאה)", בתוך **כתבי אפלטון**, כרך שני עמ' 157 ואילך, (תרגום: י.ג. ליבס), מקום הוצאה: שוקן, 1979.
2. גולדמן, יפתח. **הסוציאליזם בין פוליטיקה לאוטופיה**. אור יהודה: דביר, 2008.
3. גולדמן, יפתח. **הקיבוץ כאוטופיה**. בן שמן: מודן הוצאה לאור, 2012.
4. יסעור, אברהם. **אנרכיזם: אנתולוגיה**. תל אביב: רסלינג , 2004.
5. לה גווין, אורסולה. **המנושל**. מתרגמת: תמר עמית. עורך: עדי צמח. ירושלים: הוצאת ספרים כתר, 1980.
4. מורוס, תומאס. **אוטופיה**. מתרגמת: אילת אבן עזרא. עריכה מדעית והקדמה: רז חן מוריס. תל אביב: רסלינג, 2008.
5. מיל, ג'ון סטיוארט. **על החירות**. מתרגם: אריה סימון. עורך: יעקב גולומב. ירושלים: מאגנס, 1998.
6. .P.M. **בולו'בולו**. מתרגם: יאיר אור. תל אביב: אוב - ז.ע.פ, 2011.
7. פרנסיס, ביקון. **אטלנטיס החדשה**. מתרגם: ישראל כהן. הוצאת הקיבוץ המאוחד, 1986.
8. קמפנלה, טומאזו. **עיר השמש**. מתרגם: ארנו בר. עריכה מדעית ואחרית דבר: מירי אליאב פלדון. עריכת תרגום: ראובן מירן. בינימינה: הוצאת נהר ספרים, 2007.

9. Bakunin, Michael. **Statism and Anarchy**. Cambridge: Cambridge Univresity Press, 1990.
10. Claeys, Gregory. Sargent, Lyman Tower. **The Utopia Reader**. New York: New York University Press, 1999.
11. Elliott, Robert. **The Shape of Utopia: Studies in Literary Genre**. Chicago: University of Chicago Press, 1970.
12. Kropotkin, Peter. **The Conquest of Bread and Other Writings**. Cambridge: Cambridge Univresity Press, 1995.

מערך המשמעויות של הפועל "בא" בעברית המקראית בהשוואה לעברית בת ימינו – משמעות ותחביר

תלמיד: עומר שחר, רעננה

מנחה-עמיתה: ד"ר פנינה טרומר, אוניברסיטת תל אביב



בעקבות מחקרה של המנחה, ד"ר פנינה טרומר, העוסק בנושא תזוזות סמנטיות ותזוזות קטגוריאליות בפעלים **בא והביא** בעברית בת ימינו (תשע"ה, 279-296), בחרנו לחקור את מערך המשמעויות ואת המסגרות התחביריות שמופיע בהן הפועל **בא** בעברית של המקרא ובכתובות העבריות מתקופת המקרא, ולהשוות את הממצא המקראי לממצא בעברית בת ימינו (על פי בדיקה במילון רב מילים, מילון מקיף ועדכני לעברית בת זמננו, מאת יעקב שויקה).

גוף המחקר

2,565 ההיקרויות של הפועל **בא** במקרא שלוקטו מתוך הקונקורדנציה של מאנדלקרן (תשל"ב);

6 היקרויות של הפועל **בא** בכתובות – כתובת ערד מס' 17; כתובת ערד מס' 24; כתובת מצד חשביהו; מכתב לכיש מס' 3. ההיקרויות לוקטו מן הספר "אסופת כתובת עבריות" מאת שמואל אחיטוב (1992).

שיטת המחקר

כל היקרות נבדקה **בתוך ההקשר הטקסטואלי** שהיא הופיעה בו, וכך קבענו את המשמעות של הפועל הנבדק. במקרים של ספק, נבדק פירוש הפועל **בספרי המקרא המפורשים**: דעת מקרא () ומקראות גדולות (). לא תמיד הפירוש של ספרי הפרשנות התאים לפירוש שאנחנו העלינו מתוך קריאת הפסוק ומתוך הקשרו. במקרים אלו ניתנו שתי אפשרויות הפירוש.

אופן הצגת המשמעות

בציון כל אחת מהמשמעויות התייחסנו לאופי הסמנטי המיוחד של משלימי המקום של **בא**: שם מקום ספציפי, שם מקום כללי, שם מקום דאיקטי[26], שם פרטי או כינוי של אדם, שמות של חלקי גוף.

התייחסנו גם לסוגים השונים של המהות הנעה – בן אדם או בעל חיים; אלוהים; חפץ; אוכל; מים; שמש; רוח; תוכן מדובר - ברכה, קללה, הבטחה; קול – צעקה, צפירה, שאון; אסונות; קץ; משפט; זמנים; כבוד; אות; מופת.

אופן **הצגת המסגרות התחביריות** של המשמעויות השונות:

המסגרות התחביריות מוצגות באמצעות **מספר הצירופים השמניים[27] החוברים לפועל בא**:

- בא במסגרת חד-מקומית: צ״ש1 + בא
- בא במסגרת דו-מקומית: צ״ש1 + בא + צ״ש2 (שם מקום)
- בא במסגרת תלת מקומית: צ״ש1 + בא + צ״ש2 (שם מקום) + צ״ש3 (שם מקום)

תוצאות המחקר

להלן נפרט את המשמעויות השונות ונציג את המסגרת התחבירית של כל אחת מהן.

בפירוט המשמעויות נתייחס כאמור לטיפוסים השונים של המהות הבאה/הנעה ושל שם המקום שהיא מגיעה עדיו, ולכל משמעות תצורף דוגמה מתוך מגוון ההיקרויות שבמקרא ובכתובות בנות זמנו:

1. בא – כפועל תנועה

1.1 **מתמקד בהגעה אל מקום יעד:** מסגרת תחבירית דו מקומית: צ״ש1+ בא + אל/ל + צ״ש2

מקום היעד מתממש תחבירית בצירוף מילת היחס אל/ל ומתמיין למספר תת-קבוצות סמנטיות. כל תת-קבוצה תודגם להלן בפסוק מקראי[28]:

היעד – שם מקום ספציפי:

וְאָבוֹא, אֶל-יְרוּשָׁלָם (נחמיה ב, יא)

כָּל-אֵלֶּה עֲנָשֵׁי מִלְחָמָה עִדְרֵי מַעֲרָכָה בְּלֶבָב שָׁלֵם בָּאוּ חֶבְרוֹנָה לְהַמְלִיךְ אֶת-דָּוִיד עַל-כָּל-יִשְׂרָאֵל. (דברי הימים א יב, לט)

בלשון ימינו: תיירים רבים באו השנה ארצה (שויקה, תשנ״ז, ערך **בא**, משמעות 1)

היעד – שם מקום כללי (אינו מקום ספציפי שניתן לסמנו על גבי מפה):

וּבָאתָ אֶל-הַתֵּבָה אַתָּה וּבָנֶיךָ וְאִשְׁתְּךָ וּנְשֵׁי בָנֶיךָ אִתָּךְ. (בראשית ו, יח)

היעד – שם מקום דאיקטי:

וַיֵּאָמַר לְמֶלֶךְ יְרִיחוֹ לֵאמֹר הִנֵּה אֲנָשִׁים **בָּאוּ הֵנָּה** הַלַּיְלָה מִבְּנֵי יִשְׂרָאֵל לַחְפֹּר אֶת-הָאָרֶץ. (יהושע ב, ב)

בלשון ימינו: בואו לכאן כולכם (שויקה, תשנ״ז, ערך **בא**, משמעות 2.)

---

[26] שם מקום דאיקטי הוא שם מקום המגלם בתוכו את המקום שנמצאים בו בהקשר הנסיבתי המוען והנמען גם יחד, או מקום אחר אשר התייחסותם של שני השחקנים אליו שווה (פה, שמה, הלום, הנה)

[27] צירוף שמני הוא צירוף שגרעינו הוא שם עצם וסביבו הלוואים והמגדירים שלו, ואשר אינו מתפקד כמשפט.

[28] פירוט של כלל מראי המקום של ההיקרויות של כל אחת מן הקבוצות מופיע בנספח בסוף העבודה.

היעד – שם פרטי או כינוי של אדם:

וַיֹּאמֶר אֲרַוְנָה מַדּוּעַ בָּא אֲדֹנִי-הַמֶּלֶךְ אֶל-עַבְדּוֹ (שמואל ב כד, כא)

וְעַתָּה הִנֵּה צַעֲקַת בְּנֵי-יִשְׂרָאֵל בָּאָה אֵלָי (שמות ג, ט)

בלשון ימינו: אתה בא לפנינה הערב? דורית באה אלי אתמול.

היעד – שם של חלקי גוף: וַיַּיִן לֹא-בָא אֶל-פִּי (דניאל י, ג)

מקום היעד אינו מצוין, אך ניתן לשחזור מן ההקשר:

"ויבא הושעיהו בן שבי ויקח את בגד עבדך" (כתובת מצד חשביהו) – בהיקרות הזו של הפועל "יבוא" אין אחריו השלמה של מקום היעד אבל עזרת תוכן ההקשר הקודם: "כאשר כל [ע]בדך את קצר ואסם כינם" (פרשנות משוערת: כאשר כילה עבדך את הקציר, ואסם כימים), ניתן לפענח שמדובר בבואו של הושעיהו אל **מקום עבודתו של הקוצר**.

וּבָא וְהִתְפַּלֵּל אֶל-הַבַּיִת הַזֶּה. (מלכים א ח, מב)

אין השלמה של שם מקום לפועל **בא**, אך מקריאת הפסוק ניתן לפענח שמקום היעד הוא **הבית הזה**. מקריאת ההקשר הרחב בפרק ניתן להבין שבית זה הוא בית המקדש.

בעברית בת ימינו: המורה: איפה עומר? התלמידים: הוא לא בא היום.

1.1.1 מתמקד בהגעה למקום היעד במטרה ספציפית

מקום היעד מתממש תחבירית בצירוף **מילות יחס שאינן אל/ל** ומתמיין למספר תת קבוצות על פי אופי המטרה הספציפית.

צ"ש 1 + **בא על** + צ"ש2 (שם מקום) (מגיע למקום במטרה להתקיף או לכבוש אותו):

וַיָּבֹא יְהוֹשֻׁעַ וְכָל-עַם המלחמה עמו עֲלֵיהֶם עַל-מֵי מֵרוֹם פִּתְאֹם וַיִּפְּלוּ בָּהֶם. (יהושע יא, ז)

בא ב + שם מקום[29] (יוצא למלחמה על המקום)

אֱלֹהִים **בָּאוּ** גוֹיִם **בְּנַחֲלָתֶךָ** טִמְּאוּ אֶת הֵיכַל קָדְשֶׁךָ שָׂמוּ אֶת-יְרוּשָׁלַם לְעִיִּים. (תהילים עט, א)

בא על + שם אדם (תוקף צבא שהאדם עומד בראשו)

וַיְהִי אַחֲרֵי-כֵן בָּאוּ בְּנֵי-מוֹאָב וּבְנֵי עַמּוֹן וְעִמָּהֶם מֵהָעַמּוֹנִים עַל-יְהוֹשָׁפָט לַמִּלְחָמָה. (דברי הימים ב כ, א)

בא על + חללים (שוד גופות)

בְּנֵי יַעֲקֹב בָּאוּ עַל-הַחֲלָלִים וַיָּבֹזּוּ הָעִיר אֲשֶׁר טִמְּאוּ אֲחוֹתָם. (בראשית לד, כז)

בעברית בת ימינו שימוש זה אינו קיים.

1.2 מתמקד בעזיבת מקום המוצא[30]:

מקום המוצא מתממש במן/מ + שם מקום

וַיִּקְרָא אֶל-אִישׁ הָאֱלֹהִים אֲשֶׁר-בָּא מִיהוּדָה לֵאמֹר (מלכים א יג, כא)

וּבְנֵי יַעֲקֹב בָּאוּ מִן-הַשָּׂדֶה כְּשָׁמְעָם וַיִּתְעַצְּבוּ הָאֲנָשִׁים וַיִּחַר לָהֶם מְאֹד (בראשית לד, ז)

[29] ישנו גם **בא ב** + שם מקום במשמעות של הגיע או נכנס.
[30] מאחר שההקשר הרחב לכל היקרות מופיע, ברוב המקרים ניתן לשחזר גם את מקום היעד.

בעברית בת ימינו: מאין באת? (דוגמה שלנו)

וּבָאתָ בֵּית יִאשִׁיָּה בֶן-צְפַנְיָה אֲשֶׁר-בָּאוּ מִבָּבֶל.

בעברית בת ימינו: המילה הזו באה מן הערבית (שויקה, תשנ"ז, ערך **בא**, משמעות 4: מקורו ב..., נוצר מ...)

1.3 מתמקד בעצם תהליך התנועה ממקום מוצא למקום יעד

מופיע במסגרות התחביריות הבאות:

בא מן + שם מקום... **אל** + שם מקום:

בָּא-אֵלַי הַפָּלִיט מִירוּשָׁלַם (יחזקאל לג, כא)

בעברית בת ימינו: באתי אליך ישר מבית הספר.

בא עד + שם מקום/שם אדם

וְאֹמַר, אֲלֵכֶם בָּאתֶם עַד-הַר הָאֱמֹרִי אֲשֶׁר-יְהוָה אֱלֹהֵינוּ נֹתֵן לָנוּ. (דברים א, כ)

בעברית בת ימינו מילת יחס זו משלימה רק את הפועל הנרדף, שהוא הפועל **הגיע**:

המטיילים הגיעו עד הכנרת.

בא + בדרך + אל + שם מקום:

וְלֹא-שָׁב בַּדֶּרֶךְ אֲשֶׁר בָּא בָהּ אֶל-בֵּית-אֵל. (מלכים א יג, י)

מעֵבֶר + שם מקום:

וְהִנֵּה רוּחַ גְּדוֹלָה בָּאָה מֵעֵבֶר הַמִּדְבָּר (איוב א, יט)

בא לפני (=לקראת)+ כינוי גוף

הֵם עִם-הָאֶבֶן הַגְּדוֹלָה אֲשֶׁר בְּגִבְעוֹן וַעֲמָשָׂא בָּא לִפְנֵיהֶם (שמואל ב כ, ח)

בעברית בת ימינו, הצירוף בא לקראת משמש במשמעות מטאפורית: עשה ויתור מסוים כלפי מישהו (שנמצא איתו במשא ומתן או בסכסוך). (שויקה, תשנ"ז)

2. בא – כפועל תנועה מטפורית

המהות הנעה אינה בן אדם או בעל חיים בעל רגליים המבצע את התנועה. היא מתמיינת לטיפוסים הבאים – בן אדם או בעל חיים; אלוהים; חפץ; אוכל; מים; שמש; רוח; תוכן מדובר.

תחבירית: **בא** מושלם במשלים המוצא ובמשלים היעד.

אלוהים: וַיָּבֹא אֱלֹהִים אֶל-בִּלְעָם וַיֹּאמֶר מִי הָאֲנָשִׁים הָאֵלֶּה עִמָּךְ. (במדבר כב, ט)

חפץ: וַיִּדְעוּ כִּי **אֲרוֹן יְהוָה בָּא אֶל-הַמַּחֲנֶה.** (שמואל א ד, ו); כל **ספר** אשר **יבא אלי** אם קראתי אתה (מכתב לכיש מס' 3)

אוכל: לֶחֶם חֲמֻדוֹת לֹא אָכַלְתִּי **וּבָשָׂר וְיַיִן** לֹא-**בָא אֶל-פִּי** (דניאל י, ג)

מים: הוֹשִׁיעֵנִי אֱלֹהִים כִּי **בָאוּ מַיִם עַד-נָפֶשׁ** (תהילים סט, ב)

שמש[31]: וּכְ**בוֹא הַשֶּׁמֶשׁ** צִוָּה יְהוֹשֻׁעַ וַיֹּרִידוּ אֶת-נִבְלָתוֹ מִן-הָעֵץ (יהושע ח, כט)

רוח: וְהִנֵּה **רוּחַ גְּדוֹלָה בָּאָה** מֵעֵבֶר הַמִּדְבָּר (איוב א, יט)

תוכן מדובר: **וּבָא אָלָה**[32] לִפְנֵי מִזְבַּחֲךָ בַּבַּיִת הַזֶּה (מלכים א ח, לא)

[31] על פי פירוש "דעת מקרא", לשון **ביאה** בהקשר זה הוא בדימוי הקדמונים הוא **שהשמש באה = נכנסת לנרתיקה** (לביתה ברקיע).

3. **בא – כפועל מקום סטטי**

מסמן **הימצאות** של מישהו/משהו **במקום מסוים**.

בָּא סַנְחֵרִיב מֶלֶךְ-אַשּׁוּר **וַיָּבֹא בִּיהוּדָה** וַיִּחַן עַל-הֶעָרִים הַבְּצֻרוֹת. (דברי הימים ב לב, יא)

וּבָאוּ הַמַּיִם הַמְאָרְרִים הָאֵלֶּה בְּמֵעַיִךְ לַצְבוֹת בֶּטֶן וְלַנְפִּל יָרֵךְ (במדבר ה, כב)

4. **בא – כפועל המציין קיום**

מסמן קיומו/אי-קיומו של מישהו/משהו במקום הכללי ביותר האפשרי – בעולם, ביקום וכו׳. מדובר במהויות מהסוגים: זמן (עת, ימים, שנה); גמול עתידי (ברכה, קללה, הבטחה, משפט, כבוד); מצב שלילי (איד, מוות, רעה); הופעת צלילים (קול, צעקה, צפירה, שאון); קץ; משפט; אות; מופת. בנוסף לעתים הפועל **בא** מציין לידת אדם, שהיא קיום מסוג אחר.

תחבירית: לעתים קרובות המסגרת התחבירית הינה חד-מקומית: צ״ש1 + בא, כלומר חסרת משלים היעד. במקרים אחרים המסגרת היא דו-מקומית, כאשר משלים היעד הוא לרוב בצורה מטפורית.

זמנים: בָּאוּ יְמֵי הַפְּקֻדָּה בָּאוּ יְמֵי הַשִּׁלֻּם (הושע ט, ז); כִּי יוֹם נָקָם בְּלִבִּי וּשְׁנַת גְּאוּלַי בָּאָה (ישיעהו סג, ד)

גמול עתידי: וּבָאוּ עָלֶיךָ כָּל-הַבְּרָכוֹת הָאֵלֶּה וְהִשִּׂיגֻךָ כִּי תִשְׁמַע בְּקוֹל יְהוָה אֱלֹהֶיךָ. (דברים כח, ב); וּמִשְׁפָּט בָּא אֶל-אֶרֶץ הַמִּישֹׁר אֶל-הַלּוֹן וְאֶל-יַהְצָה וְעַל- מֵיפָעַת (ירמיהו מח, כא)

מצבים שליליים: קָרוֹב אֵיד-מוֹאָב לָבוֹא וְרָעָתוֹ מִהֲרָה מְאֹד. (ירמיהו מח, טז); בָּא-זָדוֹן וַיָּבֹא קָלוֹן וְאֶת-צְנוּעִים חָכְמָה. (משלי יא, ב)

קץ: קֵץ כָּל-בָּשָׂר בָּא לְפָנַי כִּי-מָלְאָה הָאָרֶץ חָמָס מִפְּנֵיהֶם (בראשית ו, יג)

קולות: בָּאָה הַצְּפִירָה אֵלַיִךְ יוֹשֶׁב הָאָרֶץ (יחזקאל ז, ז)

קיום במשמעות של לידה: כַּאֲשֶׁר יָצָא מִבֶּטֶן אִמּוֹ עָרוֹם יָשׁוּב לָלֶכֶת כְּשֶׁבָּא (קהלת ה, יד)

בעברית בת ימינו ניתן למצוא את הפועל **בא** במשמעות קיום:

במילון רב מילים, משמעות 6 לפועל בא: (כשנאמר על אירוע, צרה, אסון) קרה, התרחש: באה עלי צרה גדולה.

בעברית בת ימינו ישנו שימוש בפועל בא בצורת הווה כשם תואר לציון קיום. לדוגמה: בשנה הבאה נשב על המרפסת.

שימוש מקביל במקרא מצאנו בבראשית מא, לה: ״וְיִקְבְּצוּ אֶת-כָּל-אֹכֶל הַשָּׁנִים הַטֹּבוֹת הַבָּאֹת הָאֵלֶּה״.

במילון מצאנו את הניב **תבוא עליו ברכה** במשמעות **יבורך**, **יזכה לברכה.**

בעברית בת ימינו קיים הצירוף **בא לעולם** במשמעות נולד: בספר ההדרכה המינית לילד מוסבר כיצד תינוק בא לעולם (שויקה, תשנ״ז, הצירוף בא לעולם).

---

[32] **אֵלֶּה** פירושה הוא שבועה בקללה.

5. בא – כפועל המציין מודליות

הגדרת **מודליות** – פועל עזר המציין יכולת לפעול, התכוונות לפעול .
מסגרת תחבירית – בא + פועל

כִּי-יָמוּךְ אָחִיךָ וּמָכַר מֵאֲחֻזָּתוֹ וּבָא גֹּאֲלוֹ הַקָּרֹב אֵלָיו וְגָאַל אֵת מִמְכַּר אָחִיו. (ויקרא כה, כה)

במשמעות של רצה, התכוון לגאול.

בלשון ימינו: לקראת הסוף כשאני בא ללכת, אני מגלה פתאום מוסיקה טובה מאוד (רוזנטל, 2006 : עמ' 32).

6. בא – כפועל אספקט

הגדרת **פועל אספקט** – פועל עזר המציין התחלה, אמצע או סוף של פעולה.

מסגרת תחבירית – בא + שם פועל/בא+ו"ו החיבור + פועל:

צַדִּיק הָרִאשׁוֹן בְּרִיבוֹ יבא- (וּבָא-) רֵעֵהוּ וַחֲקָרוֹ . (משלי יח, יז) ; **בָּא** סַנְחֵרִיב מֶלֶךְ-אַשּׁוּר **וַיָּבֹא** בִיהוּדָה וַיִּחַן עַל-הֶעָרִים הַבְּצֻרוֹת (דברי הימים ב לב, א)

בלשון ימינו: כשבאתי להעלות את הדברים על הכתב ראיתי שיש לערוך אותם בצורה שונה במקצת. [שויקה משמעות 3 (כשאחריו שם הפועל): ניגש לעשות דבר מה]

משמעויות הפועל בא המשותפות למקרא ולעברית בת ימינו

- משמעות של פועל תנועה המתמקד בהגעה למקום היעד ;
- משמעות של פועל תנועה המתמקד בעזיבת מקום המוצא ;
- משמעות של פועל תנועה המתמקד בעצם תהליך התנועה ממקום המוצא למקום היעד ;
- משמעות של מקור ;
- משמעות של קיום המהויות האלה – זמנים ומצבים שליליים ;
- משמעות של קיום במשמעות לידה ;
- משמעות מודלית ;
- משמעות אספקטואלית.

משמעויות הפועל בא הקיימות במקרא ואינן קיימות בעברית בת ימינו

- פועל המתמקד בהגעה למקום יעד, שהוא חלק גוף (פה, קרביים וכו') ;
- פועל המתמקד בהגעה למקום יעד במטרה ספציפית – הגעה למקום במטרה להתקיף או לכבוש אותו, יציאה למלחמה, תקיפת צבא שהאדם עומד בראשו, שוד גופות ;
- פועל המתמקד בעצם תהליך התנועה מושלם במגוון מילות יחס – בא עד, בא בדרך אל, בא לפני, בא מעבר ;
- מימושים מטפוריים של המהות הנעה – אלוהים, אוכל, מים, חפצים שונים, תוכן מדובר, שמש ;
- פועל מקום סטטי ;
- משמעות של קיום המהויות הבאות – קץ, קולות (צפירה, שאון וכו'), גמול עתידי (ברכה, קללה, משפט וכו').

משמעויות הפועל בא הקיימות בלשון ימינו ואינן קיימות מקרא

מדובר במשמעויות חדשות של הפועל בא, בעקבות תזוזה קטגוריאלית שלו – שינוי הפועל **בא** לחלק דיבר שונה מפועל:

- **בא כחג"ם**: על פי רוזן (1977, עמ' 220) חלק הדיבר חג"ם (חסר גוף ומספר) הוא חלק דיבר המופיע בדגם התחבירי: חג"ם + ל+ שם עצם + שם פועל. לדוגמה: לא בא לו להתעמל היום. **בא** בשימוש זה רווח בלשון הדיבור ומשמעו רצה מאוד, חשק ב...
- **בא כסמן שיח**: סמן השיח הוא מעין הערת הסגר המתייחסת לדבר מה במישור הטקסט, במישור האינטראקציה בין המשתתפים ובמישור התהליכים הקוגניטיביים אצל הדוברים. הפועל בא בשמשו כסמן שיח מופיע אך ורק בצורת הציווי ומשמש כמילת קריאה לזירוז לפעולה: בוא נלך, בוא נשמע בוא נטוס. בואי נעזוב את העניין ונשכח הכול, בוא נאמר שאינני מחסידיו הגדולים.

סיכום

הפועל בא הוא פועל תנועה ששכיח בשפתנו, עוד מהלשון המקראית. לפועל זה מגוון רחב של משמעויות, מתחומים שונים, ובהתאם גם שימוש שונה. לכל משמעות יש מבנה תחבירי שהיא גוררת אחריה, והוא משקף את המשמעות.

בעבודה זו בדקנו האם ישנן משמעויות מתאימות בלשון המדוברת בימינו, וזאת לאחר שחקרנו את מערך המשמעויות של הפועל במקרא. מצאנו שלחלק גדול מן המשמעויות במקרא יש מקבילה בלשון בת זמננו, מה שמלמד על ההמשכיות של השפה העברית, ושהלשון המודרנית והלשון המקראית הן רק רבדים באותה השפה.

עבודה זו מוכיחה שלהרבה ממבעי הלשון שלנו יש מקור קדום הרבה יותר, וששפתינו עשירה בצורות מסוג זה.

מאידך, משמעויות נוספות רבות כבר אינן בשימוש, דבר המראה על עושרה של השפה המקראית, על שלל צורותיה. צורות שלמות הלכו לאיבוד, וכבר לא משתמשים בהן בחיי היומיום.

בעבודה זו נוכחנו בחשיבות הניתוח מתוך קריאת ההקשר הרחב. קריאת היקרות של הפועל יחד עם כל הקשר המקדים והמאוחר, לפעמים עד כדי קריאת פרקים שלמים, שנתנה לנו את האמינות של תוצאות מחקרנו. לפעמים המשמעות הובנה במלואה על ידי קריאתו של ההקשר, ולולא היינו עושים זאת, כנראה שתוצאת המחקר הייתה שונה.

ביבליוגרפיה

גוף המחקר

תורה נביאים וכתובים (תשל״ג), אהרון דותן, תורה נביאים וכתובים מדויקים היטב על פי הניקוד והטעמים של המסורה של אהרן בן משה בן אשר בכתב יד לנינגרד, תל אביב: הוצאת ״עדי״.

אחיטוב (1992), שמואל אחיטוב, אסופת כתובות עבריות, ירושלים: מוסד ביאליק.

דעת מקרא (תש״ל), תורה נביאים כתובים עם פירוש ״דעת מקרא״, ירושלים: האגודה להוצאת תנ״ך עם פירוש מסורתי ומוסד הרב קוק.

מקראות גדולות (תשל״ו), ירושלים: הוצאת אשכול.

רוזנטל (2006), רוביק רוזנטל, מילון הסלנג המקיף, ירושלים: כתר ספרים בע״מ

שויקה (תשנ״ז), יעקב שויקה, רב מילים: המילון השלם לעברית החדשה, מילון מקיף ועדכני לעברית בת זמננו, ירושלים: המרכז לטכנולוגיה חינוכית.

BDB (1907) Francis Brown, Samuel Rolles Driver and Charles Augustus Briggs, Hebrew and English Lexicon of the Old Testament, Oxford: Clarendon Press.

מאמרים

טרומר, גבורה, מנור (2015), **לשוננו**, הוצאת האקדמיה ללשון העברית.

טרומר (1983), פנינה טרומר, **פועלי התנועה בעברית בת ימינו – עיון סמנטי ותחבירי**, עבודת דוקטור, אוניברסיטת תל אביב.

טרומר (תשנ״ה), **האספה בשעה שמונה – מימוש פרופוזיציה טמפוראלית?**, תעודה ט, מחקרים בלשון העברית, ספר זיכרון לאליעזר רובינשטיין בעריכת א׳ דותן, א׳ טל, תל אביב: הוצאת רמות

כהן (תשנ״ד), **למד ה״דאטיב״ כממלאת מסר תחבירי בעיתונות הישראלית היומית**, דברי הקונגרס העולמי האחד – עשר למדעי היהדות, חטיבה ד, כרך ראשון, ירושלים: האיגוד העולמי למדעי היהדות.

ניר (תש״ן), רפאל ניר, **סמאנטיקה עברית**, יחידות 7 – 10, תל אביב: האוניברסיטה הפתוחה.

רוזן (1977), חיים רוזן, **עברית טובה: עיונים בתחביר**, ירושלים: הוצאת קרית ספר.

כוחו של הקול

השמעת קול כמשפיעה על התפתחות זהות מנהיגותית

תלמיד: אופק שפירא, חולון

מנחה-עמיתה: ד"ר רונית קרק, המחלקה לפסיכולוגיה, אוניברסיטת בר אילן



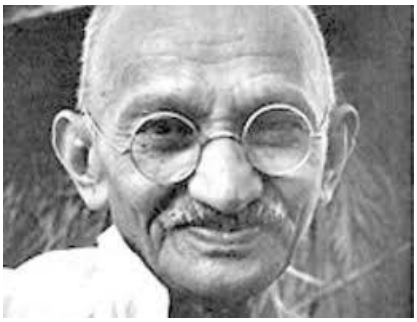
מ ב ו א

התפתחות ופיתוח מנהיגות בארגונים הינו תחום בו מושקעים משאבים רבים בשנים האחרונות – כיצד מתפתחת מנהיגות ובמיוחד זהות מנהיגותית – הינה שאלה משמעותית שקיבלה תשומת לב מחקרית מוגבלת ביותר עד כה. עבודה זו תתייחס לנושא זה תוך מתן דגש על המושג של השמעת קול – Voice.









השמעת קול

אחת התופעות המעניינות בדינמיקה ארגונית הינה ה-Voice. כאשר עובד בארגון חש כי מדיניות הארגון בנושא מסוים היא שגויה, מסוכנת או לא אתית, עומדות לפניו שתי ברירות עיקריות – האחת, והנפוצה למדי מסיבות שונות (כגון: אדישות לגורל הארגון, חוסר רצון למעורבות, פחד מפני הממונים) היא לשתוק. האחרת היא לגשת אל הממונים עליו או אל עמיתיו, מתוך רצון אמיתי לשינוי ומתוך אמונה כי דבריו יילקחו ברצינות, ולומר את אשר על ליבו. פעולה זו היא השמעת קולו של העובד – Voice.

נכון להיום, קיימות מספר הגדרות מוצעות של Voice בספרות. אחת מהן היא השמעת קול באמצעות הבעת עמדה או פעולה מסוימת, מתוך ידיעה כי קיימת מידת סיכון בדבר (Morrison & Kamadar, 2011). הנקודות המשותפות למרבית ההגדרות היא הצגת ה-Voice כתקשורת עם סביבת העבודה (עמיתים או ממונים) בנושאים הנוגעים להתנהלות במקום העבודה, תוך הצגת דעות ונקיטת עמדות. כל אלו נעשים, על פי המחקר, מתוך מטרה לשפר את ההתנהלות במקום העבודה (Premeaux & Bedeian, 2003; Tangirala & Ramanujam, 2008b; Van Dyne & LePine, 1988).

בנוסף לכל אלו, אנחנו מבקשים לטעון כי להגדרת ה-Voice קיים היבט נוסף וחשוב – מידת הזיקה הרגשית אל הנושא בו ננקטת העמדה. Voice מוצג פעמים רבות כתוצאת חישוב של חשיבות הנושא אל מול הכדאיות שבנקיטת עמדה (Morrison, 2011). מקורו של ה- Voice הוא, כאמור, בתשוקה לשנות את המציאות בתחום מסוים (Morrison, 2011). ככל שרגש זה חזק יותר, כך גדל הסיכוי כי הוא יגבר על תחושת הסיכון והאדם ינקוט בעמדה. כמו כן, טיעון זה מבוסס על התקיימות של Voice כתופעה פוליטית בחברה.

אם נתבונן ב-Voice כתלוי בשני המדדים הללו – **זיקה רגשית וסיכון** – ניתן למדוד את סוגי ה-Voice השונים לפי מידת הופעתם של הנ"ל במקרה המצוין.

מידת הסיכון שבהשמעת הקול נמדדת באופן שונה בין ארגונים שונים – הוא תלוי ביחס המעסיקים כלפי השמעת קול, ובאווירה (climate) בין הכפיפים בנוגע להשמעת קול. אולם, באופן כללי ניתן לומר כי ככל שהדעה יותר רחוקה ומנותקת מהדעה הרווחת, זו שמוכתבת על ידי דרגים גבוהים, או לחילופין מוסכמת על כולם, כך קיים סיכון מסוים עבור משמיע עמדה זו. השמעת קול מסוג whistle blowing – התקוממות כנגד מדיניות או מעשה של הדרגים הגבוהים – היא דוגמה להשמעת קול בעלת סיכון גבוה, שכן היא יוצאת כנגד גורמים חזקים יותר בארגון והדבר עלול לעלות לעובד במשרתו. מנגד, השמעת תמיכה בעמדה של המעסיק היא השמעת קול בעלת סיכון נמוך יותר (Morrison & (Kamadar, 2011).

מידת המעורבות הרגשית תלויה במידת הקרבה של האדם לנושא. במובנים חברתיים יותר, יכולה מידת המעורבות הרגשית להיות קשורה בערכים ובאמונות של האדם, במידת ההשקה של הנושא לחייו שלו, או במידת מעורבותו בחיי החברה באופן כללי (נושאים כגון: זכויות בעלי חיים, תקציב הוגן ועוד).

מנהיגות

מנהיגות היא פעולה שמעורבת בה קבוצת אנשים כאשר קיים ביניהם הבדל היררכי אחד הכרחי – בעוד שמעמדם של מרבית חברי הקבוצה אינו קבוע, חייב להתקיים פרט אחד שמוגדר כמנהיג, והוא בעל סמכות ואחריות רבה יותר מאשר חברי הקבוצה. במקורות מסוימים מתוארת המנהיגות כהליך דינמי חברתי שבו משתתפים מספר גורמים, וכל גורם מקבל על עצמו תפקיד חברתי מסוים (ברצון או בחוסר רצון) כדי לחתור באופן משותף להגשמת יעד קבוצתי.

מובן שהליך זה, המתרחש לעיתים באופן ספונטני ולעיתים "מוצנח" על קבוצה, תלוי בגורמים ובנסיבות שבהם מתגבשת הקבוצה, ובתפיסת העצמי והחברה של כל גורם בה. תופעת המנהיגות מתמקדת בקבוצות המאוגדות לצורכי ביצוע משימה מסוימת. בעוד שתפקיד חברי הקבוצה הוא בעיקר לבצע מטלות שאמורות להביא בסופו של דבר להשלמת המשימה, תפקידו של המנהיג הוא בעיקר להשפיע על יתר חברי הקבוצה להגיע לידי ביצוע מטלות אלו (כמובן שהוא עשוי לקחת חלק בביצוע מטלות בעצמו. מתוקף הגדרת תפקידו, ביצוע המשימה, טיבה, איכותה ויעילות הביצוע הם אחריות המנהיג (DeRue & Ashford & Cotton, 2008; Yukl, 2010).

מתוך חשיבותם הרבה של מנהיגים ראויים בקבוצה, נערכים בשנים האחרונות מספר רב של מחקרים בנושא המנהיגות שבליבם עומדת השאלה – מהם הגורמים המשפיעים על התגבשות מנהיגות, וכיצד ניתן לפתח מנהיגות (Day, 2001; DeRue & Ashford, 2010; Kark ,2011; Yukl, 2010)? אחד מהגורמים הבולטים הוא הגורם שאנו מבקשים לבדוק את היווצרותו בניסוי זה – הזהות המנהיגותית.

זהות מנהיגותית

זהות, באופן כללי, מוגדרת כמקבץ תכונות אישיות, אמונות או תפיסות עולם שהאדם מאמין שמבדילות אותו מהחברה שסביבו (Sedikides & Brewer, 2001). גיבוש כל זהות שהיא מורכב למעשה משני תהליכים נפרדים – האחד פנימי – הוא ההליך אותו עובר האדם בהגדרת מכלול של תפיסות או אמונות, והשני חברתי – הגדרה באמצעות מעגלי ההשתייכות של האדם, התפקידים שלו בסביבה החברתית, והאופן בו הוא נתפס בידי החברה (Hogg, 2001). על פי תבנית זו, זהות מנהיגותית היא תפיסת האדם את עצמו, אך גם על ידי החברה – כמנהיג. כמו כן, נושאת הזהות המנהיגותית גם את תחום מנהיגות האדם, המעורבות שלו בתחומים השונים, סגנון המנהיגות שלו ומאפייניו כמנהיג.

לזהות תפקיד מכריע וחשוב בעיצוב האדם בחברה – היא משפיעה על דרך פעולתו, חשיבתו, הצבת היעדים ובעיקר הרצון והמרץ להשיג מטרות אלו (James, 1892; Leary & Tangney, 2003). מכאן, ככל שלאדם זהות מנהיגותית מגובשת יותר, כך יגבר בקרבו הרצון להשפיע ולהנהיג, והמנהיגות כיעד תעמוד במקום גבוה יותר בסדר העדיפויות שלו. על סמך מחקרים אלו ניתן להסביר את המגמה הגוברת של מחקרים בנושא הזהות המנהיגותית והגורמים המשפיעים בעיצובה – זהו הניסיון לעצב, "ללמד" ולייצר מנהיגות. לזהות המנהיגותית משמעות רבה בהבנת המנהיגות כולה – ככל שזהותו המנהיגותית של אדם חזקה יותר ויש לו המיומנויות הדרושות למנהיג בסביבה דינמית, מתחזקים ההליכים בהם מתגבשת מנהיגותו בדינמיקה עם הקבוצה המונהגת (Goffman, 1963). לפיכך, יש חשיבות רבה גם בהבנת הגורמים להתגבשות הזהות המנהיגותית.

מטרת המחקר

המחקר הנוכחי מבקש לבדוק את הקשרים שבין Voice וזהות מנהיגותית, ולבדוק האם וכיצד Voice (השמעת קול) תשפיע על התפתחות הזהות המנהיגותית של האדם.

חשוב לציין כי למרות שנערכו מחקרים רבים בתחום ה-Voice ובתחום הזהות המנהיגותית, לא נחקר בעבר הקשר ביניהם. כלומר, מחקר זה מציג הצעה חדשה לגבי הגורמים להתגברות הזהות המנהיגותית. אם יוכח כי אכן קיים קשר בין השניים, הדבר יתרום להמשך חשיבה תיאורטית בנושא כמו גם לפיתוח אסטרטגיות חדשות לפיתוח מנהיגות, להגברת מעורבות ולרצון להובלה.

השערות – הקשר בין השמעת קול וזהות מנהיגותית

השערתנו היא כי השמעת Voice וקיום סביבה מעודדת Voice יובילו להתחזקות הזהות המנהיגותית, מכמה נימוקים:

- Voice הינו נקיטת אמצעים מתוך קשר רגשי ותחושת נחיצות לקום ולעשות מעשה. כלומר, עשוי להעיד על זיקה רגשית עמוקה לנושא. הזיקה הרגשית היא חלק חשוב מזהות מנהיגותית מגובשת (זאת מתוך הגדרת הזהות כמכלול התפיסות, היעדים והעקרונות של אדם (Sedikides & Brewer, 2001) ולכן, ככל שה-Voice הוא בעל מקור רגשי עמוק יותר (pro-social), כך תגדל הבהירות והייעודיות המנהיגותית.

- התפתחות של עמדה מנהיגותית בתוך חברה נבנית בשרשרת אירועים של claiming (תביעה) ו-granting (אישור) (DeRue & Ashford, 2010). אדם המעוניין להראות כי יש לו חלק חיוני בתפקוד החברה, חלק בקבלת החלטות וקיום, נוקט בפעולות מילוליות וא-מילוליות, ישירות ועקיפות, שעשויות להעיד על מקומו והשפעתו בארגון. נקיטת עמדה, הצעת רעיונות והבעת עמדה בנוגע להחלטות של החברה, מהוות סוג מסוים של claiming – העובד מבקש להראות כי עמדתו וקולו חיוניים על ידי כך שהוא משמיע אותם בקרב הדרגים הרלוונטיים. כאשר אלו נענים באמצעות granting, עשוי הפרט (עובד או עובדת) לחוות לא רק תחושת סיפוק ועילוי, אלא אף תחושה כי יש משמעות לאשר הוא אומר, יש לו השפעה וכוח בקרב החברה והוא מסוגל לחולל בה שינוי, דבר המחזק את עמדתו היחסית בתוך החברה. עמדה זו ומקבילתה נתמכות במחקר המראה כי Voice שזוכה להתייחסות מעודדת תחושת שייכות וסיפוק בתוך הארגון (Iverson & Currivan, 2003), וכן להורדת מתח ותחושת שליטה בהליך קבלת ההחלטות של החברה (מוריסון, 2011). באופן דומה, השמעת קול שאינה זוכה להתייחסות גורמת לאפקט דחייה ותחושת תסכול (Harlos & Pinder, 2000).

בשלב המחקר הנוכחי נמדד שלב הדרישה (claiming) בלבד, אולם אנו משערים ששני השלבים מתרחשים בגיבוש הזהות המנהיגותית.

ככל שרמת הסיכון שבביצוע השמעת הקול גבוהה יותר, גדל ה-claiming, וכשזה יענה (בשלב זה לא תימדד ההיענות), יגבר ביטחון הדובר ביכולותיו להנהיג וזהותו המנהיגותית תתחזק.
ייתכן כי עצם הבעת העמדה מחזקת את הבשלות הקוגנטיבית – האדם מזהה את האחריות שלו כלפי הסביבה ואת הנחיצות בהובלה שלו, את מגבלות וסמכויות המנהיג בקבוצה, את עצמו כמוביל ומשפיע. כל אלו מחזקים ומאששים את הבניית הזהות המנהיגותית שלו. טיעון זה מתבסס על הידע כי ל-Voice מספר השפעות חיוביות על האדם והקבוצה. Voice מוביל לחיזוק תחושת השליטה ולשיפור הדעה האישית על הארגון (Morrison & Milliken, 2000), אך מעבר לכך הוא מסייע במזעור נזקי העבודה הקבוצתית, בעידוד חדשנות ויזמות ובדינמיקה קבוצתית טובה יותר (Argyris & Schon, 1978; Enz & Schwenk, 1991; Nemeth, 1985; Shaw, 1981). יתכן כי עובד שחש בהשפעות החיוביות של מעשיו על סביבת העבודה, מבין את אחריותו לכך ומשתדל לחזק את השפעתו ומעורבותו.

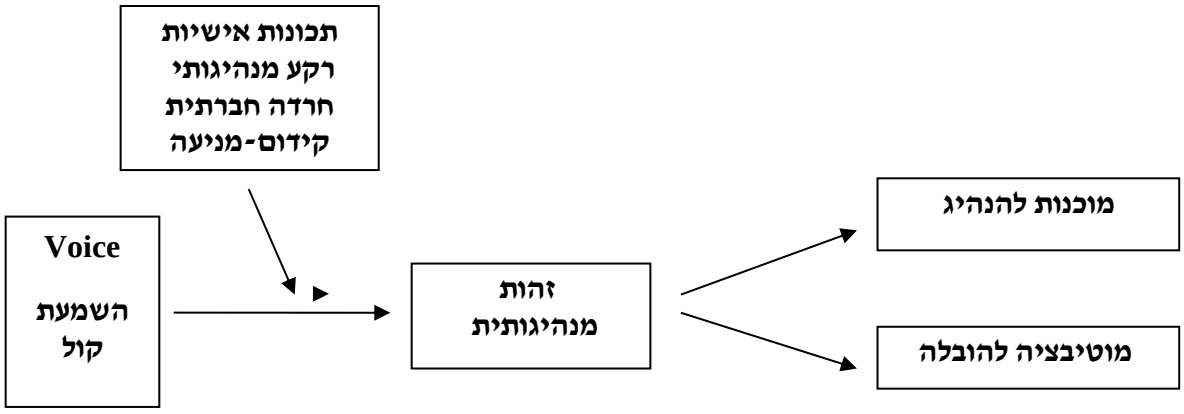
השערת המחקר

כאמור, אנו משערים כי נקיטת עמדה בנושא בעל זיקה רגשית מסוימת, תוך הבנת הסיכון שבכך, והצעת חלופות ממשיות לבעיות קיימות, תגרום לחיזוק הזהות המנהיגותית של הנואם, ובכך לעיצוב תפיסת עולמו כמנהיג, ולהגברת הרצון והמוטיבציה שלו להוביל. בנוסף לכך אנו משערים כי מספר גורמים ימתנו את ההליך הזה – הרקע המנהיגותי של האדם, גורמים אישיותיים, חרדה חברתית ומידת הקידום\המניעה של עמדתו.

במסגרת זו, אנו משערים כי למרות שכל נאום בעל זיקה רגשית, הצעה לשינוי וסיכון יביא להתחזקות הזהות המנהיגותית, אך לא במידה שווה – נאומים בהם ערך הסיכון פחות או לא מודגש יביאו להתחזקות מתונה יותר.

מודל המחקר

אנו משערים כי התנסות ב-Voice תביא להתחזקות הזהות המנהיגותית (בהתחשב במספר גורמים ממתנים), וזו תביא להתחזקות המוטיבציה להנהגה והמוכנות להנהיג. כמובן שבנאומים בהם מודגש אלמנט הסכנה השינוי יהיה משמעותי יותר. השערה זו מוצגת בגרף 1:



גרף 1: המודל המוצע: זהות מנהיגותית כמתווכת בין השמעת קול ומוטיבציה להנהיג.

שיטת המחקר

בכדי לבחון אם יש תמיכה להשערה, תוכנן ניסוי שמבקש לאפשר לאנשים להביע Voice בתנאי מעבדה. בשלב הראשון ייבדקו מאפיינים שעשויים להשפיע מבעוד מועד על זהותו המנהיגותית של האדם – הרקע המנהיגותי שלו, תכונות אישיות שיכולות להשפיע על התגבשות זהות מנהיגותית (למשל, מוחצנות-מופנמות), וקיום או העדר של חרדה חברתית – כל אלו יעשו באמצעות שאלון דיווח עצמי עליו יענו הנבדקים.

בשלב השני יתנסו הנבדקים באחת משלושת תנאי המחקר במעבדה. הנבדקים, בכל שלושת תנאי המחקר, יתבקשו לשאת אל המצלמה נאום בן חמש דקות על נושא הקשור לתחום הארגון אליו הסטודנטים משתייכים – האוניברסיטה, אלא שכל תנאי כולל מאפיינים שונים של דיבור ו-Voice.

מערך המחקר כולל שני תנאי ניסוי ותנאי ביקורת. בתנאי הניסוי הראשון הנבדקים יתבקשו לשאת נאום על שינוי שהם רוצים לראות באוניברסיטה בנושא שהם מרגישים כלפיו חיבור רגשי. דרך תנאי זה אנו מבקשים לבדוק את ההשלכות של דיבור על שינוי במציאות הארגונית ללא תחושת סיכון מוגברת.

בתנאי הניסוי השני, הנבדקים יתבקשו לשאת נאום על שינוי שהם רוצים לראות באוניברסיטה בנושא שהם מרגישים אליו חיבור רגשי, אלא שבתנאי זה תתופעל תחושת סיכון מוגברת. תנאי זה כולל את כל המאפיינים (זיקה רגשית, דיבור על שינוי תוך כדי תחושת סיכון) אשר אנו טוענים כי דרכם מתחזקת הזהות המנהיגותית.

קבוצת הביקורת, לעומת זאת, תידרש לשאת נאום המתאר מציאות באוניברסיטה. הנבדקים בתנאי זה מתבקשים להימנע מהבעת עמדה בנאום שלהם כאשר הם מתארים תופעה באופן ניטרלי (במילים אחרות, באופן הנטול רגש ואשר לא מדבר על שינוי המציאות). כמובן שתנאי זה אינו מתפעל תחושת סיכון בדיבור שכן אין דיבור על שינוי בכלל אלא תיאור מציאות מבלי להעביר עליו ביקורת. באמצעות קבוצה זו ננסה להוכיח כי לא די בנאום לבדו בכדי לשנות את הזהות המנהיגותית.

בעקבות השלב התפעולי המשתתפים יתבקשו למלא שאלון נוסף שיבקש לבחון את מידת ההשפעה של הנאום על הזהות המנהיגותית שלהם ועל המוטיבציה שלהם להנהיג. שאלון זה ימדוד גם את מידת תפיסת ההשפעה של הנאום (עד כמה לנאום יש משמעות בקרב הנבדקים) ואת הצלחת המניפולציה (עד כמה גורם הסיכון בא לידי ביטוי ואת המידה שבה הרגישו שהם מציעים שינוי בסטטוס קוו).

לאחר מכן, יתבצע שלב המיוצג כ״מנותק״ מהניסוי שמבקש לבדוק את מידת ההשפעה של נשיאת הנאום באופן ספונטני – הנבדקים יקבלו עלון המציע להם לקחת חלק בוועד הסטודנטים של המחלקה שלהם. העלון יבדוק את מידת המוטיבציה שלהם להיות מעורבים בחברה, אם בכלל, ואם כן, את מידת המוטיבציה שלהם להוביל ולהנהיג. כך תתקבל תמונה מלאה יותר על התחזקות הזהות המנהיגותית, שהובילה לידי נטייה התנהגותית בפועל.

משתני המחקר

משתנים בלתי-תלויים

1. זיקה רגשית

2. סיכוניות

3. שינוי הסטטוס קוו לעומת תיאור הסטטוס קוו.

משתנים מתווכים

1.זהות מנהיגותית

משתנים תלויים

1.מוטיבציה להובלה (MTL)

2.מוכנות להנהיג (behavioral tendency)

משתנים ממתנים

1. תכונות אישיות

2. רקע מנהיגותי

3.חרדה חברתית

4.קידום-מניעה

תוצאות

אנו צופים כי בקרב הקבוצות שתישאנה נאום בעל זיקה לשינוי המצב הקיים (שני תנאי הניסוי), תימדד עלייה בזהות המנהיגותית וכן עלייה במוטיבציה ובמוכנות להובלה. השפעות אלו יהיו חזקות יותר בקרב הקבוצה בה יודגש גורם הסיכון. מנגד, אנו מאמינים כי בקרב הקבוצה שתידרש לתאר את הסטטוס קוו בלבד, תימדד עלייה פחותה בגורמים המתוארים, אם בכלל.

עד כה נאספו נתונים מכ-20 משתתפים בקבוצת הניסוי ומכ-20 משתתפים בקבוצת הביקורת. לאחר שיאספו עוד 20 משתתפים בכל תנאי ייבחנו השערות המחקר.

ביבליוגרפיה

Argyris, C., & Schön, D. (1995). Organizational learning: A theory of action perspective, 1978. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company

Day, D. V. (2001). Leadership development: A review in context. The Leadership Quarterly, 11(4), 581-613.

DeRue, D. S., & Ashford, S. J. (2010). Who will lead and who will follow? A social process of leadership identity construction in organizations. *Academy of Management Review*, *35*(4), 627-647.

DeRue, D. S., Ashford, S. J., & Cotton, N. C. 2009. Assuming the mantle: Unpacking the process by which individuals internalize a leader identity. In L. M. Roherts & J. E. Dutton (Eds.), Exploring positive identities and organizations: Building a theoretical and research foundation: 213–232. New York: Taylor & Francis.

Enz, C. A., & Schwenk, C. R. (1991). The performance edge: Strategic and value dissensus. Employee Responsibilities and Rights Journal, 4(1), 75-85.

Goffman, E. (1963). Behavior in public place. Glencoe: the free press, New York.

Harlos, K. P., & Pinder, C. C. (2000). 14 EMOTION AND INJUSTICE IN THE WORKPLACE. Emotion in organizations, 255.

Hogg, M. A. (2001). A social identity theory of leadership. Personality and social psychology review, 5(3), 184-200.

Iverson, R. D., & Currivan, D. B. (2003). Union participation, job satisfaction, and employee turnover: an event-history analysis of the exit-voice hypothesis. Industrial Relations: A Journal of Economy and Society, 42(1), 101-105.

James, W. (1892). A plea for psychology as a 'natural science. The Philosophical Review, 1(2), 146-153.

Kark, R. (2011). Games managers play: Play as a form of leadership development. Academy of Management Learning & Education, 10(3), 507-527.

Leary, M. R., & Tangney, J. P. (2003). The self as an organizing construct in the behavioral and social sciences. Handbook of self and identity, 3-14

Locke, E. A., Shaw, K. N., Saari, L. M., & Latham, G. P. (1981). Goal setting and task .performance: 1969–1980. Psychological bulletin, 90(1), 125.

LePine, J. A., & Van Dyne, L. (1998). Predicting voice behavior in work groups. Journal of Applied Psychology, 83(6), 853.

Morrison, E. W. (2011). Employee voice behavior: Integration and directions for future research. The Academy of Management Annals, 5(1), 373-412.

Morrison, E. W., & Milliken, F. J. (2000). Organizational silence: A barrier to change and development in a pluralistic world. Academy of Management review, 25(4), 706-725.

Morrison, E. W., Wheeler-Smith, S. L., & Kamdar, D. (2011). Speaking up in groups: a cross-level study of group voice climate and voice. *Journal of Applied Psychology*, *96*(1), 183.

Nemeth, C. J., & Kwan, J. L. (1985). Originality of word associations as a function of majority vs. minority influence. Social Psychology Quarterly, 277-282.

Premeaux, S. F., & Bedeian, A. G. (2003). Breaking the Silence: The Moderating Effects of Self-Monitoring in Predicting Speaking Up in the Workplace*. Journal of Management Studies, 40(6), 1537-1562.

Sedikides, C., & Brewer, M. B. (2001). Individual self, relational self, collective self. Psychology Press.

Seifert, C. F., & Yukl, G. (2010). Effects of repeated multi-source feedback on the influence behavior and effectiveness of managers: A field experiment. The Leadership Quarterly, 21(5), 856-866.

Tangirala, S., & Ramanujam, R. (2008). Employee silence on critical work issues: The cross level effects of procedural justice climate. Personnel Psychology, 61(1), 37-68.

אמנות

וקולנוע

"אום רץ רץ" - סרט אנימציה קצר

תלמיד: גיא אינהורן, בית הלוי

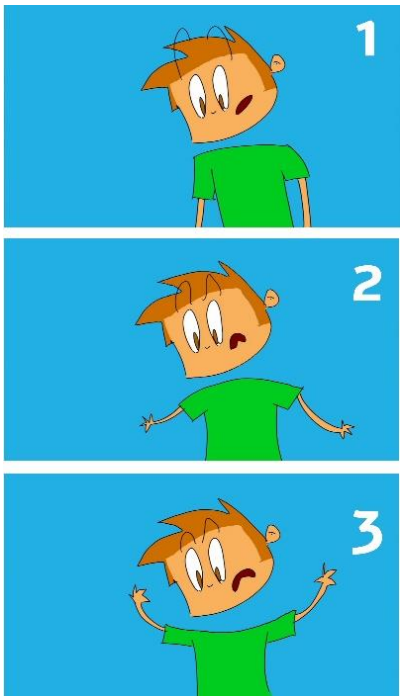
מנחה-עמית: פרופ' חנן (אלברט) קמינסקי, בצלאל אקדמיה לאמנות ולעיצוב ירושלים, אוניברסיטת תל אביב, שנקר בית ספר גבוה להנדסה ולעיצוב



כשאנשים שומעים את המושג "אנימציה", לרוב הם חושבים על חתולים מדברים ועל קופים מרקדים – אבל איך גורמים לציורים לזוז? ומדוע יש לתחום זה חשיבות בכלל?

רקע – מהי אנימציה?

אנימציה או הנפשה היא רצף של ציורים המתחלפים בקצב מהיר מאוד על גבי מסך. רצף הציורים המתחלפים מקנה אשליה של תנועה – אשליה זו נקראת **אנימציה**.



איור 4: כאשר מחליפים בין הציורים נוצרת אשלייה של תנועה

אשליה זהה מתקיימת בתחום הקולנוע, וההבדל הוא שבמקום ציורים משתמשים בקולנוע בתמונות מצולמות.

מבחינה טכנית, כאשר התמונות מתחלפות על גבי המסך לא מתקיימת תנועה אמתית – כשם שהעצם המצולם לא באמת נמצא שם, כך גם תנועתו לא באמת נמצאת שם. הדרך שבה נוצרת האשליה היא פשוטה למדי – מציירים ציור, אחריו ציור של אותו העצם בתנוחה שונה. כאשר מחליפים ביניהם במהירות, תיווצר האשליה כי אין מדובר בשני ציורים נפרדים שמתחלפים אלא בציור אחד שנע. כל עוד הציורים מתחלפים במהירות מספקת, המוח יתרגם את הציורים השונים לתמונה אחת (איור 1).

את הידע התיאורטי שלי בתחום, הכולל: קומפוזיציה של התמונה, פרופורציות של הדמויות ומחזורי ההליכה שלהן, למדתי במהלך התכנית, בביקורים באוניברסיטאות ובצפייה בתהליך העבודה של הסטודנטים כמו גם הצטרפות לכמה שיעורים. בצפייה בעבודות הגמר של הסטודנטים בשנה א', הבנתי שהספקתי כבר לרכוש ידע ברמה לא רעה בכלל. בצפייה בעבודות של שנה ד', לעומת זאת, הבנתי שיש לי עוד הרבה לאן לשאוף.

אז מה יש בה, באנימציה?

לדעתי, באמצעות אנימציה יכול האדם לברוא יש מאין בכל דרך שיבחר – בהנפשה יכול האדם לספר סיפור שירצה – ובזה למעשה טמון הקסם שבאנימציה. וכפי שכבר אמרו רבים וטובים לפניי – אין פתרונות קסם.

תהליך העבודה

1. סיפור – דבר ראשון צריך סיפור.

לפני שחושבים איך תראינה הדמויות, איך תשמע המוזיקה או כמה יפה יהיה הרקע, מומלץ מאוד לחשוב על סיפור טוב שבלעדיו בלתי אפשרי יהיה לרתק את הצופה – בלי סיפור טוב קשה לעבוד על סרט במהלך שנה.

איך כותבים סיפור טוב?

האמת היא שאף אחד לא יודע, כי הרי אם הדבר היה ברור וידוע, כיצד יתכן הדבר שעדיין קיימים סיפורים רבים הנחשבים כלא טובים?

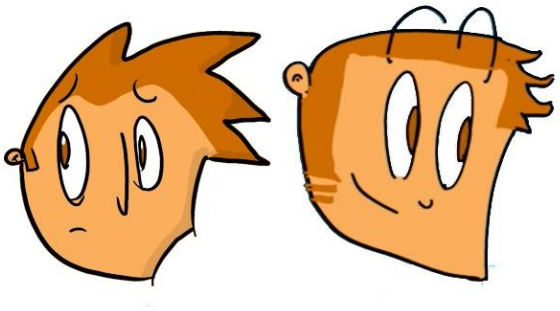
אמנם אפשר למצוא תיאוריות שמתקרבות מאוד ל"סוד" הגורם לסיפור להיות טוב. במהלך השנה למדתי שבתבנית קלסית יש ליצור מספיק מתח וצריכה להיות נקודת שיא, שמומלץ שהיא לא תהיה בסוף הסיפור, על מנת שיהיה מספיק זמן להתרת הסיפור ולסגירת מעגל. אמנם הדבר החשוב ביותר שלמדתי הוא שהתסריט הוא החלטה שלי, וגם אם התבנית הקלסית עובדת, צריך לראות בה רק המלצה.

על התסריט עבדנו כמה חודשים והכנו טיוטות רבות ושכתובים קטנים. הסיפור עבר ארבע גרסאות שבכולן היה ילד ובכולן היה מסע. מעבר לכך, הכול מסביב השתנה. שינוי הסיפור הוא צעד חיובי, כי רק כאשר בטוחים שהסיפור הוא טוב ומוצלח, מסוגלים ליצור עבורו סרט שלם בידיעה שהסיפור שווה את כל הטרחה.

2. עיצוב – על טעם ועל ריח אין מה להתווכח.

אמנם אם לא הייתי מתווכח, לא הייתי מתקדם לשום מקום ובוודאי לא בסרט. עיצוב הוא חלק משמעותי בסרט.

לצורך העניין, המושג "עיצוב" מתייחס לכל מה שרואה הצופה בסרט המוגמר – הצבע, צורת העצמים וכל דבר שניתן לראות על המסך.



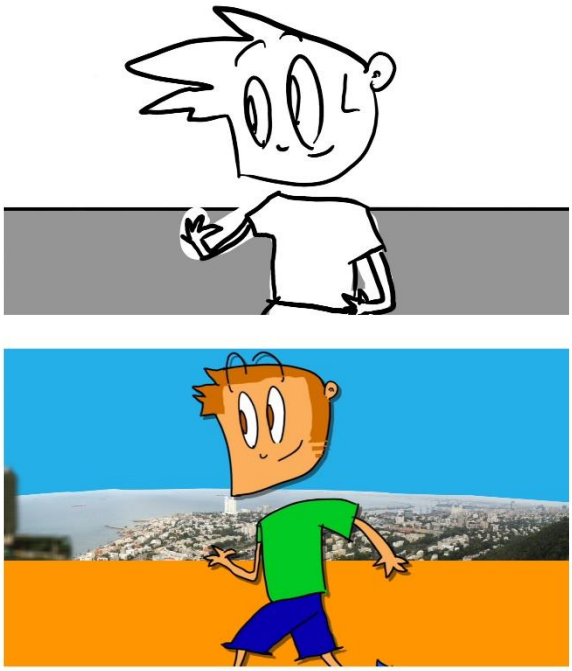
איור 5: העיצוב המקורי משמאל והילד בסרט הסופי מימין

גם בעיצוב מושקעת עבודה רבה – את הדמויות יש לצייר פעמים רבות עד לגיבוש צורתן הסופית. העניין מצוי בפרטים, כאשר כל פרט בדמות משווה לה מראה שונה שנותן תחושה שונה.

לדוגמה, אחד המאפיינים שהשתנו באופן מובהק בתכנון של "**אום רץ רץ**" היה האף של הדמות הראשית – כאשר הגיתי את הדמות של דניאל היה לו אף ארוך ובמהלך העבודה האף הפך לקצר, דבר שיקנה לדמות מראה צעיר יותר, של ילד (איור 2). כמו הסיפור, גם העיצוב התגבש במהלך כמה חודשים.

3. אנימציה

האנימציה היא הדרך בה כל הרכיבים נעים על המסך. לצורך כך יש להבין היטב כיצד עצמים זזים בעולם האמיתי ברמות דיוק גבוהות במיוחד. יצירת תנועה שתיראה מציאותית בעיני הצופה אינה דבר פשוט, ויש דקויות רבות שיש להתייחס אליהן ביצירת אשליה של תנועה, כמו קצב התחלפות הציורים, מידת השינוי בין ציור לציור, שמירה על המבנה של הדמות בין הציורים וכו'.



איור 3: אותה התמונה בסקיצה לעומת הסרט עצמו

נהוג לחשוב שאת האנימציה ניתן "לעשות במחשב". אמנם מושג זה הוא נכון וגם את הסרט עשיתי דרך תכנה במחשב, אך התפיסה היא שגויה – כיום אין באפשרות המחשב ליצור ציורים יש מאין. כאשר האנימטור רוצה ליצור תנועה על גבי מסך עליו לצייר רצף של ציורים, ובסופו של דבר האדם הוא שמצייר ציור אחר ציור, והדבר דורש זמן רב.

על מנת שהאנימטור יוכל לצייר את הציורים בדיוק המיטבי ובתזמון הרצוי, עליו להכין **סטוריבורד** ו**אנימטיק**. ה**סטוריבורד** הוא מעין גרסת קומיקס של הסרט, שהאמן מצייר את כל חלקיו העיקריים אחד אחרי השני (בדרך כלל בשחור-לבן ובלי התייחסות מיוחדת לאסתטיקה), וזאת במטרה להבין היטב כיצד ייראה הסרט. את השלב הזה אני מכנה – "**הסקיצה של הסרט**", שממשיכה גם לשלב ה**אנימטיק**. שלב זה דומה לשלב הקודם, אך האנימטיק מוצג על גבי מסך והוא כולל מעט מהתנועה שתהיה בסרט.

כל זה במטרה שהאנימטור יבין היטב כיצד מתוכנן הסרט להיראות (באיור 3 – השוואה בין הסרט בשלבי הסטוריבורד לבין הסרט הסופי).

4. שמע וחתימה

את השמע של הסרט יוצרים לפני האנימציה ולמרות זאת בחרתי לכתוב על השמע בשלב זה, והדבר נובע מהדרך שבה פעלתי בסרט זה.

עבור התזמונים של התנועות השונות והאנימציה של הפה של הדמויות יש צורך בהקלטות של השחקנים המדובבים אותם ומחיים את הדמויות. למטרה זו הקלטתי את הקולות בסרט, כולל כל הדמויות ואף דברים אחרים, כמו למשל דפיקה על השולחן על מנת להמחיש התנגשויות בין הדמויות. בשלב מאוחר יותר יצרתי קשר עם שחקנית בשם אלה אשל, שעזרה לי בדיבוב הקולות הנשיים בסיפור, והדבר הוביל אותי לערוך מחדש את כל השמע.

לבסוף, כאשר כל חלקי האנימציה מוכנים והשמע נשמע כראוי, חותמים (או מרנדרים) את הסרט. התהליך כולל הקלטה שורה אחת של התסריט פעמים רבות, יצירת אינספור תמונות של אותו הילד, עיצובים רבים של העצמים המופיעים על המסך, שכתוב כל שורה בתסריט פעמיים – עד חלוף השנה.

כשחותמים סרט, כל התהליך מתרכז לקובץ וידאו אחד, בן ארבע דקות בו מצוי כל הסרט שהיה כל עולמך בשנה החולפת, וכעת הסרט עומד בפני עצמו.

תוכן הסרט והמסרים שבו

דניאל הוא ילד נחוש, וכשפוגשים אותו, הוא רץ במהירות ובקצב קבוע – מראש הנקרה עד אילת – כך החליט וכך יהיה. עד מהרה דניאל שומע קולות שקוראים לו לעצור את המסע, קולות שמתבררים כנעליו – לדניאל יש זוג נעליים מדברות, והן מנסות לגרום לו להפסיק את טיול שלו.

בסיפור הקצר והפשוט שלפניכם ניסיתי, כמיטב יכולתי, להכניס כמה מסרים החשובים לי בדרך בה אני רואה את העולם.

הדבר החשוב ביותר בעיניי הוא שכאשר משהו חשוב לך – עליך להיות נחוש, לעיתים עקבי, ולעיתים עקשן – אסור לוותר על החלומות, אפילו אם הם רחוקים כמו אילת, יש להתחיל לרוץ, ואחר כך לברר עד כמה רחוק אתה מגיע.

דבר נוסף הוא היחס של החברה לרדיפה אחר החלום – כאשר אתה רץ בטירוף אחרי החלום, אנשים עלולים לחשוב שאתה מטורף. ישנה התנגשות בדרך בה האנשים סביבך יראו אותך לבין הדרך בה אתה רוצה לפעול באמת. לעיתים עליך להתעלם לחלוטין ממה שיגידו סביבך כדי לרוץ אחרי חלום. ההתנגשות יכולה להיות בינך לבין חברים, מצד ההורים, ויש שאתה תתחבט עם עצמך בדרך קשה ומסובכת יותר מאשר ההתנגשויות המגיעות מהחוץ – יש לעשות הבחנה מתי צריך להקשיב לאלו שאוהבים אותך ומתי לרוץ בטירוף אחרי חלום.

הדבר האחרון, שנכנס כמעט ברקע, הוא האהבה לארץ ישראל. מבלי להיכנס יותר מדי לדעות פוליטיות, אציין שאני אוהב את ארצי – את נופיה, את אנשיה ואת כל מה שמסביב – ולכן ברקע תמיד תמצא חלק מארץ ישראל, דרכה רץ הילד כאחוז דיבוק.

מחשבות לעתיד

השנה החולפת העניקה לי המון. העבודה עם חנן העניקה לי היכרות עם המקצוע בדרך חסרת תקדים ומעמיקה ביותר, ולמדת את כל התהליך שעוברת הפקה קולנועית של סרטי אנימציה – תהליך שכעת אני מכיר ומתמצא בו.

עם הכלים האלה אוכל להמשיך וליצור סרטים – אנימציות קצרות, סרטים מצולמים – כשהמטרה היא להגיע למסך הכסף. אמנם רצונותיי ומשאלות ליבי עלולות להשתנות עם הזמן מן הקצה אל הקצה, ואני מוצא שהרצון לספר סיפור טוב נמצא בי – בתקווה שלא ידעך. אנשים אוהבים סיפור טוב, אני אוהב לספר אותו.

לבסוף, כיום אני שוקד על סרטונים קצרים חדשים עבור ערוץ היוטיוב שלי – "גיא אינהורן" – סרטונים קצרים על אודות חיי ודברים מעניינים בהם. מזה שש שנים (מספטמבר 2009) אני יוצר סרטונים קצרים ומעלה אותם לאינטרנט, שם כל אחד יכול לצפות בהם, וכעת עם הידע שרכשתי אוכל להמשיך וליצור סרטונים חדשים וסיפורים נוספים.

ביבליוגרפיה

- Paul Driessen סרטי
- Ryan Larkin - Walking (1968) (סרט קצר)
- Tim Burton סרטי
- The Human Figure in Motion by Eadweard Muybridge (ספר)
- Animals in Motion by Eadweard Muybridge (ספר)