



”מטרוניתא שאלה את ר' יוסי בר חלפתא,  
אמרה לו: בכמה ימים ברא הקב”ה את עולמו?  
אמר לה: לששת ימים...”

אמרה לו: ומאותה שעה עד עכשיו מהו יושב ועושה?  
אמר לה: מזווג זיווגים... ואם קלה היא בעינייך, קשה היא לפני  
הקדוש ברוך הוא כקריעת ים סוף” (ויקרא רבה ח א).

# אלגוריתמי שידוך

אראל סגל-הלוי

# שיבוצים ושידוכים

**שאלה:** מה ההבדל בין הבעיות הבאות:

- א. שיבוץ סטודנטים לחדרים במעונות;
- ב. שידוך סטודנטים למחלקות באוניברסיטה?

**תשובה:**

- בעיה א חד צדדית – רק לסטודנטים יש העדפות.
- בעיה ב דו צדדית – גם למחלקות יש העדפות.

# שוק דו-צדדי

**הגדרה:** שוק דו-צדדי הוא שוק שבו צריך להתאים בין משתתפים משתי קבוצות, כאשר לכל משתתף מכל אחת מהקבוצות יש העדפות שונות.

**שאלה:** מה יקרה אם ננסה ליצור שידוך בשוק דו-צדדי, ע"י אלגוריתם "הדיקטטור הסדרתי"?

**דוגמה:** שני סטודנטים א, ב ושתי מחלקות 1, 2  
הסטודנטים מדרגים  $2 < 1$ , המחלקות מדרגות  $א < ב$ .  
סטודנט ב בוחר ראשון. מה ייצא?

# שוק דו-צדדי

דוגמה: שני סטודנטים א, ב ושתי מחלקות 1, 2  
הסטודנטים מדרגים  $2 < 1$ , המחלקות מדרגות  $א < ב$ .  
סטודנט ב בוחר ראשון. השידוך המתקבל:

א – 2

ב – 1

האם השידוך יעיל פארטו?

- כן.

אבל מה יקרה אם מחלקה 1 תפנה לסטודנט א?

- השידוך יתפרק! אנשים לא ישתפו פעולה.

השוק ייפרם (*unravel*).

# שידוכים יציבים

## הגדרה: זוג מערער:

- סטודנט ומחלקה שאינם משודכים, והם מעדיפים זה את זו על פני ה"שידוכים" הנוכחיים שלהם.

## הגדרה: שידוך יציב:

- שידוך בלי זוגות מערערים.

השקפים הבאים מבוססים על מצגת של פרופ' סרג'יו הרט בהרצאת "מדוע" בעיצובה של עינב הרט. לינק להרצאה <http://community-youth.huji.ac.il/program1.asp?id=116&cat=117>

# שידוכים יציבים

## הגדרת הבעיה:

- סטודנטים ומחלקות במספר שווה.
- בכל מחלקה יש מקום לסטודנט אחד.
- כל סטודנט לומד במחלקה אחת.
- לכל מחלקה יש סדר העדפות על הסטודנטים.
- לכל סטודנט יש סדר העדפות על המחלקות.
- האם תמיד קיים שידוך יציב?

# ראשי המחלקות

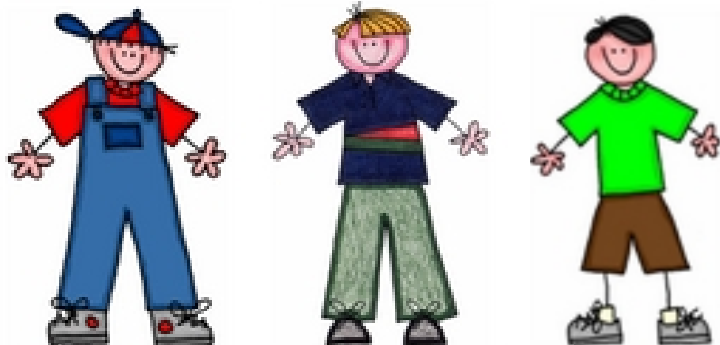


אביבה

בתיה

גליה

# הסטודנטים



תומר

שלמה

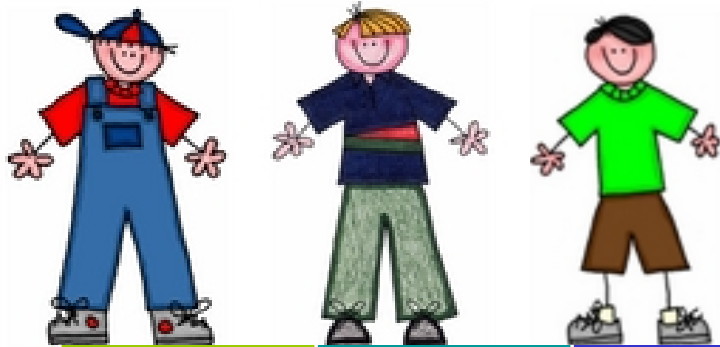
רפי

## העדפות המחלקות



	גליה	בתיה	אביבה
1	שלמה	שלמה	רפי
2	תומר	רפי	שלמה
3	רפי	תומר	תומר

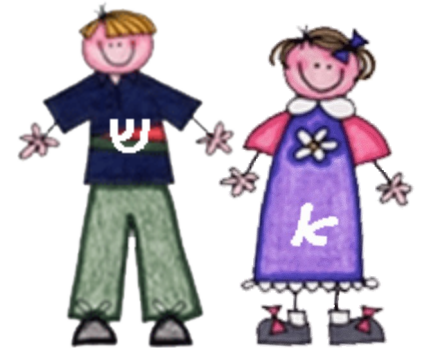
## העדפות הסטודנטים



	רפי	שלמה	תומר
1	אביבה	אביבה	בתיה
2	גליה	בתיה	גליה
3	בתיה	גליה	אביבה



	גליה	בתייה	אביבה
1	שלמה	שלמה	רפי
2	תומר	רפי	שלמה
3	רפי	תומר	תומר



	רפי	שלמה	תומר
1	אביבה	אביבה	בתייה
2	גליה	בתייה	גליה
3	בתייה	גליה	אביבה



# שידוכים יציבים

האם תמיד קיים שידוך יציב?

- כן, ויש אלגוריתם יעיל שמוצא אחד כזה!

- אלגוריתם הקבלה על-תנאי

deferred acceptance

- פותח ע"י Gale & Shapley (1962)

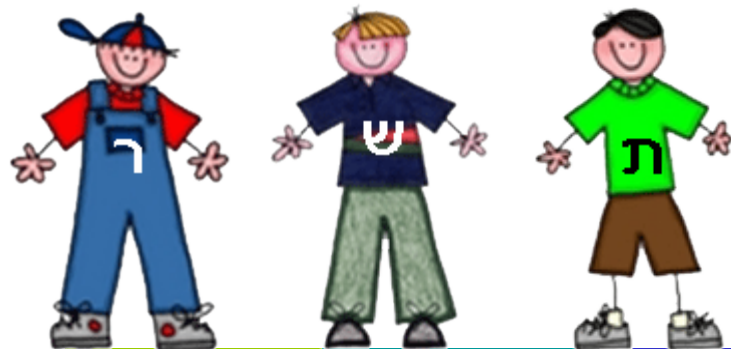
- זכה בפרס נובל בשנת 2012

# אלגוריתם "קבלה על-תנאי"

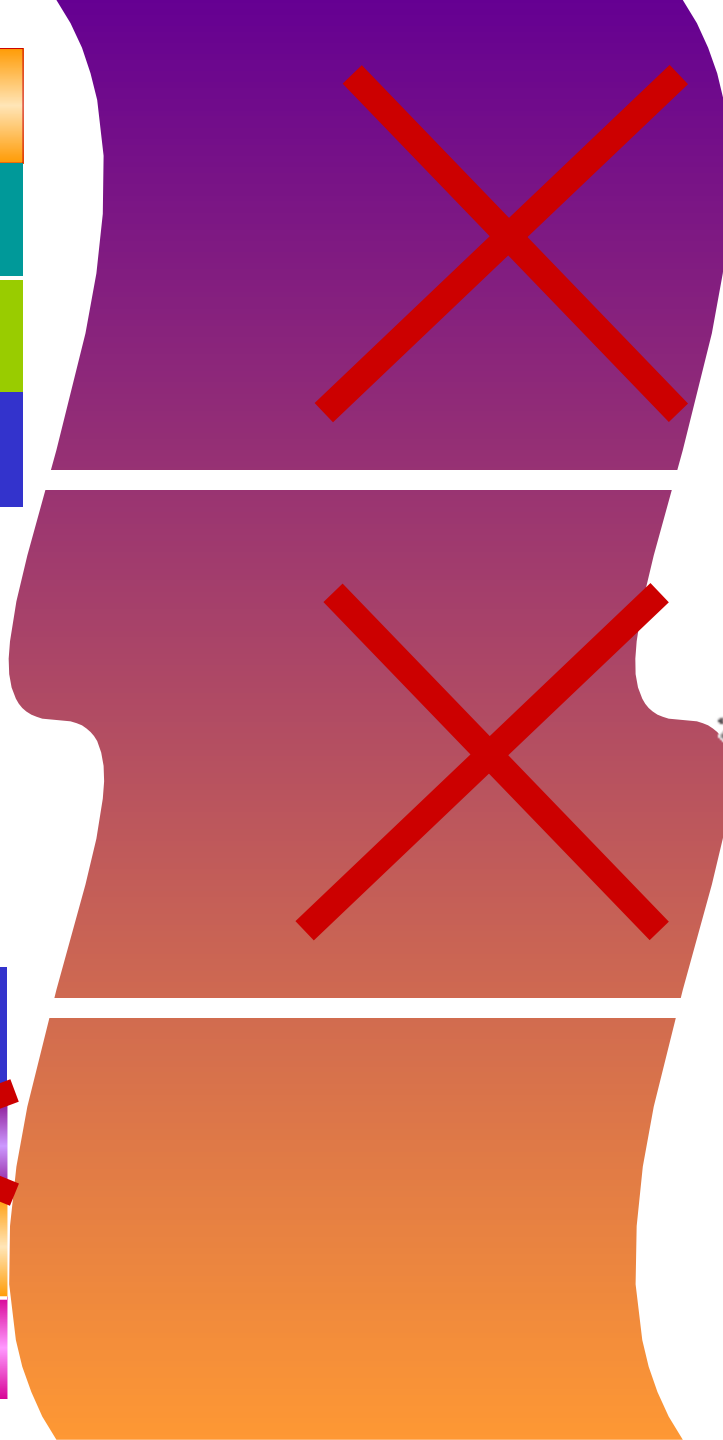
## deferred acceptance

- א. כל סטודנט הולך למחלקה שהוא הכי רוצה, מבין המחלקות שעדיין לא דחו אותו.
- ב. כל מחלקה "מקבלת על תנאי" את הסטודנט שהיא הכי רוצה, מבין אלה שנמצאים בה, ודוחה את כל השאר.
- ג. חוזרים על שלבים א ו-ב עד שכולם משודכים.

	גליה	בתיא	אביבה
1	שלמה	שלמה	רפי
2	תומר	רפי	שלמה
3	רפי	תומר	תומר



	רפי	שלמה	תומר
1	<del>אביבה</del>	<del>אביבה</del>	בתיא
2	גליה	בתיא	גליה
3	בתיא	גליה	אביבה







	גליה	בתייה	אביבה
1	שלמה	שלמה	רפי
2	תומר	רפי	שלמה
3	רפי	תומר	תומר



	רפי	שלמה	תומר
1	אביבה	אביבה	בתייה
2	גליה	בתייה	גליה
3	בתייה	גליה	אביבה



# משפט: האלגוריתם מסתיים בשידוך יציב

**מסתיים:** כי כל סטודנט מציע לכל מחלקה פעם אחת לכל היותר.

**בשידוך:** נניח שיש מחלקה לא-משודכת. אז אף סטודנט לא הגיע אליה. כיוון שמספר הסטודנטים והמחלקות שווה, יש גם סטודנט לא משודך. הוא עובר על כל הרשימה שלו מלמעלה למטה, לכן בהכרח הוא יגיע מתישהו למחלקה הלא-משודכת וישתדך איתה. כלומר האלגוריתם עוד לא הסתיים.

**יציב:** מצבה של כל מחלקה הולך ומשתפר.

לעומת זאת, כל סטודנט הולך ומתפשר.

מכאן, אם זוג מסויים (ס,מ) לא נוצר אז יש שתי אפשרויות:

א. ס עוד לא היה ב-מ: מכאן ש-ס נמצא במחלקה טובה יותר.

ב. ס כבר היה ב-מ: מכאן של-מ יש סטודנט טוב יותר. \*\*\*



# מי מציע ומי מקבל?

באלגוריתם שהצגנו למעלה, הסטודנטים מציעים למחלקות, והמחלקות מחליטות את מי לקבל.

יכולנו גם לנהל את האלגוריתם בסדר הפוך: המחלקות מציעות לסטודנטים, והסטודנטים מחליטים את מי לקבל. האם לדעתכם יש הבדל בין שתי הגישות? כסטודנטים, איזה אלגוריתם תעדיפו? כמנהלי מחלקות, איזה אלגוריתם תעדיפו?

# מי מציע ומי מקבל?

דוגמה:

	אביבה	בתיה	גילה
1	רפי	שלמה	שלמה
2	שלמה	רפי	רפי
3	תומר	תומר	תומר

• אם הסטודנטים מציעים –

השידוך הוא:

ר-ב, ש-א, ת-ג

• אם המחלקות מציעות,

השידוך הוא:

ר-א, ש-ב, ת-ג

	תומר	שלמה	רפי
1	בתיה	אביבה	בתיה
2	אביבה	בתיה	אביבה
3	גילה	גילה	גילה

• מה עדיף לסטודנטים?

מה עדיף למחלקות?

# מי מציע ומי מקבל?

**משפט:** כשהסטודנטים הם המציעים – השידוך המתקבל הוא הטוב ביותר לכל הסטודנטים מכל השידוכים היציבים.

**הוכחה:** מספיק להוכיח ש: אם הזוג (ס,מ) קיים בשידוך יציב כלשהו, אז מחלקה מ לא דוחה את סטודנט ס.

נניח בשלילה שזה לא נכון. נסתכל על הפעם הראשונה שזה קורה. מ דוחה את ס כיוון שהיא קיבלה הצעה מסטודנט טוב יותר עבורה, נניח ע. בשידוך היציב האחר, ע משודך למחלקה טובה יותר עבורו, נניח נ. זה אומר שמחלקה נ דחתה את ע קודם – סתירה. \*\*\*

# האם "קבלה על תנאי" אמיתי?

	גילה	בתיא	אביבה
1	שלמה	שלמה	רפי
2	רפי	רפי	שלמה
3	תומר	תומר	תומר

	רפי	שלמה	תומר
1	בתיא	אביבה	בתיא
2	אביבה	בתיא	אביבה
3	גילה	גילה	גילה

**משפט:** מנגנון "קבלה על תנאי"  
שבו הסטודנטים מציעים הוא  
לא אמיתי עבור המחלקות.

ההוכחה בדוגמה:

- אם הסטודנטים מציעים –

השידוך הוא:

ר-ב, ש-א, ת-ג

- מה יכולה בתיא לעשות כדי  
לזכות בשלמה?

- תשובה: להגיד שהסדר שלה  
הוא: ש<ת<א.

- מסקנה: המנגנון לא אמיתי עבור  
המחלקות.

# האם "קבלה על תנאי" אמיתית?

משפט: מנגנון "קבלה על תנאי" שבו הסטודנטים מציעים הוא אמיתי עבור הסטודנטים.

הוכחה חלקית. נוכיח שלא כדאי לסטודנט "להתפשר" - למחוק מהדירוג שלו מחלקה שדחתה אותו, כדי להגיע יותר מהר למחלקה אחרת שדחתה אותו. נבדוק שני קלטים לאלגוריתם:

- קלט א – כולם אמיתיים. מתקבל שידוך יציב א, עם הזוג (ס, מ).
  - קלט ב – כמו א, רק ש-ס מחק מהדירוג כמה מחלקות מעל מ. שידוך ב הוא יציב גם לפי קלט א. הוכחה: נב"ש זוג מערער (ע, נ):
  - אם ע <> ס, אז (ע, נ) מערער גם לפי קלט ב – סתירה ליציבות ב.
  - אם ע=ס וגם ס מעדיף-חלש את מ על נ – כנ"ל.
  - אם ע=ס וגם ס מעדיף-חזק את נ על מ, אז (ע, נ) מערער גם לפי קלט א – סתירה ליציבות א.
- אבל שידוך א הוא היציב הטוב ביותר לסטודנטים! אז ס לא הרויח.

# מנגנון שידוך יציב אמיתי?

מנגנון קבלה על תנאי:

- כשהסטודנטים מציעים – אמיתי לסטודנטים אך לא למחלקות.
  - כשהמחלקות מציעות – אמיתי למחלקות אך לא לסטודנטים.
- משפט. לא קיים מנגנון לשידוך יציב שהוא אמיתי לשני הצדדים!  
הוכחה. נניח שההעדפות הן:

	אביבה	בתיה	גילה
1	רפי	שלמה	שלמה
2	שלמה	רפי	רפי
3	תומר	תומר	תומר

	תומר	שלמה	רפי
1	בתיה	אביבה	בתיה
2	אביבה	בתיה	אביבה
3	גילה	גילה	גילה

- בכל שידוך יציב, גילה ותומר משודכים. לכן יש 2 שידוכים יציבים.
- אם המנגנון בוחר ר-ב ש-א, אז אביבה יכולה להרויח מ: ר<ת<ש.
  - אם המנגנון בוחר ר-א ש-ב, אז רפי יכול להרויח מ: ב<ג<א.

# שידוכים יציבים בישראל

<http://www.psychologymatch.org/students/FAQ.aspx>