
שיחור בקבוצות אחר משאב במחסור

Group Foraging for a scarce resource

עבודה סמינריונית בהנחיית פרופ' יעקב קריב וד"ר יהודית אבהרמי

מגיש: דניאל הדר

יולי 2014

1. הקדמה

כבני אדם אנו נדרשים פעמים רבות בחיינו (ואף מספר פעמים ביום) לקבל החלטות בנושאים שונים - האם לצאת לחופשה או לחסוך את הכסף? האם להישאר בעבודה בה אני מסופק אך אינני משתכר לפי הפוטנציאל שלי? איפה כדאי לי לרכוש משקפי שמש? מה לאכול היום לארוחת הערב? לחלק מההחלטות ישנן השלכות הוות גורל אשר משפיעות באופן ישיר על רווחתנו ואף הישרדותנו תלויה בהן, וחלקן הן החלטות של מה בכך, אך הראשונות כמו האחרונות דורשות מאיתנו לעבור תהליך של איסוף נתונים, גיבוש חלופות ושקילתן אחת כנגד השנייה.

תהליך קבלת ההחלטות הינו תהליך מורכב - לרוב בתור מקבלי ההחלטה אין לנו (או לכל הפחות אנחנו מרגישים שאין לנו) את כל המידע הרלוונטי לגביי כל האפשרויות, ומערכת השיקולים אינה חד משמעית, שכן לא תמיד ניתן לכמת את כל הנתונים (וגם אם ניתן לכמת אותם - לא תמיד ניתן להשוות ביניהם). זאת ועוד, השונות המובנית בתוצאות האפשריות מקשה על קביעת אפשרות אחת שעדיפה על האפשרויות האחרות, וגם אם ניתן לסמן אפשרות אחת כעדיפה - הסיכוי לשינוי "לא-צפוי" (כגון נפילת שוק האג"ח או שינוי פתאומי במזג האוויר) מקשה על ההחלטה. נושא קבלת ההחלטות נחקר לפני ולפנים בספרות המקצועית, ומודלים רבים הוצעו על מנת להסביר את ההתנהגות של אורגניזמים שונים. בעבודה זו אתמקד במודל החרטה כחווה של התנהגות בקבלת החלטות בתהליך המורכב מסדרת בחירות חוזרות, ובפרט בכלל ההחלטה:

"Regret - Shift, No - Reget - Stay" (RS)

משמעותו היא כי אם מקבל ההחלטה מתחרט בעקבות תוצאות ההחלטה שקיבל, בסיבוב הבא הוא יבחר באפשרות האלטרנטיבית שהוא מתחרט בגינה - ולהפך: במידה והוא אינו מתחרט, הוא יבחר באותה אפשרות שוב.

את מודל החרטה אבחן דרך סיטואציה ספציפית שבה אורגניזמים נדרשים לקבלת החלטות - שיחור בקבוצות אחר משאב במחסור (Group foraging for a scarce resource). כל האורגניזמים בעלי יכולת התנועה משחרים (forage) בסביבתם אחר משאבים, ומשאבים מטבעם נוטים להיות סופיים ומוגבלים. כאשר קבוצת פריטים משחרת אחר אותו משאב, הפריטים בקבוצה מפתחים דפוס התנהגות מסוים בקבלת ההחלטות שלהם. דפוס זה נחקר רבות בבעלי חיים^{14,15,16,17,20} ואף בבני אדם^{23,24,25,26,27,28} והוצעו מספר מודלים על מנת להסביר אותו. בעבודה זו אסקור את המודלים שהוצעו, אציע את מודל החרטה בתור מנבא לדפוס ההתנהגות ואף אעמוד על האספקטים שבהם הוא נבדל ממודלים קודמים.

2. סקירת ספרות

קבלת החלטות בסדרת בחירות חוזרות

(REPEATED CHOICES BETWEEN UNCERTAIN ALTERNATIVES)

ישנן אין-ספור סיטואציות בהן אורגניזמים נדרשים לקבל החלטות. קבלת החלטה נעשית תחת סיכון מסוים, שהוא הסיכוי לאכזבה מתוצאת ההחלטה או לחרטה על הבחירה שבוצעה ביחס לבחירה אחרת שיכולה הייתה להתבצע. ניתן לסווג את הסיטואציות הללו למספר משפחות, למשל:

- **קבלת החלטות כאשר ישנה אינפורמציה גלויה לגביי ההסתברות לתוצאות השונות.** במשפחה זו על מקבל ההחלטה לשקול את החלופות השונות, ואת הרווח האפשרי ביחס להפסד האפשרי שתניב הבחירה בכל אחת מהן.

- **קבלת החלטות עם אפשרות לרכישה של אינפורמציה.** כאן על מקבל ההחלטה לשקול את העלות שברכישת מידע ביחס לרווח האפשרי שהוא יכול להניב מהמידע (למשל, לדעת באופן מובהק יותר להגדיר אפשרות מסוימת כ"עדיפה").

- **קבלת החלטות תחת חוסר ודאות.** במשפחה זו למקבל ההחלטה אין כלל אינפורמציה גלויה מראש לגביי האפשרויות השונות.

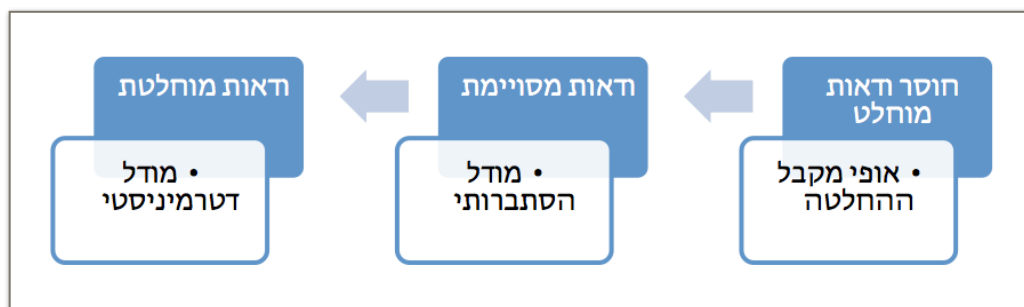
קבלת החלטות בסדרת בחירות חוזרות מורכבת ממספר סיבובים קבוע (N) שבכל סיבוב מקבל ההחלטה עומד בפני אותן אפשרויות להכריע ביניהן, והמשתנה בין הסיבובים הוא כמות האינפורמציה שיש לו לגביי האפשרויות.

בסיטואציות מהסוג השלישי (קבלת החלטות תחת חוסר ודאות) אופי קבלת ההחלטה משתנה לאורך סדרת הבחירות - בהתחלה (כאשר אין בנמצא אינפורמציה לחלוטין) קבלת ההחלטות תלויה בלבד באופי של מקבל ההחלטה (למשל האם הוא פסימי או אופטימי¹). ככל שהוא מתקדם בסדרת הבחירות - אם באפשרותו לצבור ידע (למשל על-ידי הבחנה בדפוסים קבועים), קבלת ההחלטות שלו מתבססת על האינפורמציה שצבר, וכך אופי הסיטואציה משתנה באופן הדרגתי לקבלת החלטות תחת ודאות מסוימת. בצד השני של הסקאלה נמצאת קבלת החלטות תחת ודאות מוחלטת.

השאלה לגביי איזו התנהגות בקבלת ההחלטות תמקסם את הרווח נחקרה רבות בעבר. בפרט, השאלה עבור משפחת הסיטואציות האחרונה (קבלת החלטות תחת חוסר ודאות מוחלט) מעסיקה חוקרים מתחומים רבים: מתמטיקאים, סטטיסטיקאים, חוקרי ביצועים, אנשי תורת-המשחקים, כלכלנים, ביולוגיים וחוקרי התנהגות.

המודל המתמטי הנאיבי גורס כי בשלב ההתחלה (חוסר אינפורמציה) על ההחלטה להיות רנדומלית. בהמשך, לאורך סדרת הבחירות (במצב של ודאות מסוימת), על מקבל ההחלטה להשתמש במודל הסתברותי (מתן ציון שונה לכל אפשרות, המכמת את "כדאיות" הבחירה בה). בסיום סדרת הבחירות המודל ההסתברותי המושלם מהווה מודל דטרמיניסטי (שכמובן אין לו חשיבות מעשית, שכן למקבל ההחלטות אין עוד החלטות לקבל בסדרה). במודלים הסתברותיים פשטניים הציון שקול להסתברות שתוצאות בחירה תהיינה העדיפות ביותר, ואילו מודלים מתמטיים מתקדמים יותר מציעים הרכבה של ציון משוקלל על סמך ההסתברות ו"משקל" שונה לכל אפשרות^{2,3}.

לצורך הדוגמה ניקח מצב פשטני שבו יש להחליט בין שתי אפשרויות (x_1, x_2) . בשלב הראשון לשתי האפשרויות הסתברות בחירה זהה ($p_1 = p_2 = 0.5$), דהיינו על-פי המודל הנאיבי למקבל ההחלטה אין סיבה להעדיף אחת על פני השנייה. נניח שלאחר סיבוב אחד הסתבר שהיה עדיף לבחור ב x_1 . אזי ההסתברות לבחירתה בסיבוב הבא תעלה ($p_1 > p_2$). בהתאמה, נניח ובכל הסיבובים מסתבר שהיה עדיף לבחור ב x_1 , אזי נגיע למצב של ודאות מוחלטת ($p_1 = 1, p_2 = 0$). נוח להסביר את ההבדל באמצעות הדיאגרמה הבאה:



דיאגרמה 1: הספקטרום שבין חוסר ודאות מוחלט לוודאות מוחלטת, ומודל קבלת ההחלטות בכל שלב

המחקר בתחום גילה את העובדה שההתנהגות של אורגניזמים בפועל אינה עולה תמיד בקנה אחד עם ההתנהגות החזויה על ידי המודלים המתמטיים הרציונליים^{2,3,4}. בין הסיבות האפשריות להתנהגות שונה מהמודל המתמטי של מקבל ההחלטות: הנחות יסוד שגויות, מחסור באינפורמציה מדויקת, אי-יכולת לחשב את המודל ההסתברותי (בעקבות הקושי המתמטי), קושי בכימות האפשרויות ומתן מקום להשפעה של רגשות אישיים על קבלת ההחלטה; הסיבה האחרונה היא זו שעומדת בבסיס המודל המוצע בעבודה זו. קיימים מספר מודלים המתארים את הכוחות המניעים את התנהגותם של מקבלי החלטות בסיטואציות אלו, וארבעה מודלים רווחים מתוכם הינם: Selten's Learning Direction Theory, Cournot's Best-Response Model, (WSLS) Win-Stay, Lost-Shift ומודל ה-Regret - Shift, No-Regret - Stay שיפורט להלן. פרט לתיאוריית הלמידה של זלטון, כל המודלים לעיל הינם מודלים של "צעד-אחרון" (one-step models), שמציעים לבסס את קבלת ההחלטה על התוצאה בצעד הקודם בלבד (לצד שקלול אפשרי לציון בודד של כל הצעדים עד כה). כעת נסקור אותם:

מודלים לקבלת החלטות

1. **(WSLS) Win - Stay, Lost - Shift**. מודל פשוט זה מציע את האסטרטגיה הבאה: כאשר מקבל ההחלטה מרוצה מתוצאת הבחירה שלו, הוא יבחר באותה אפשרות שוב; במידה ולא, הוא יחליף אותה. הגרסא הנאיבית ביותר של מודל זה מסווג את תוצאת החלטה לאחת משתיים: "הצלחה" או "כשלון". במידה ואפשרות מסוימת הובילה לתוצאת "הצלחה", יש לבחור בה שוב; במידה ולא, יש להחליף אותה⁵. גרסאות שאינן מתייחסות לצעד האחרון בלבד מתעסקות בשאלה "מה הכוונה ב-'להיות מרוצה'?" כנאמר, הגרסא הנאיבית מגדירה "להיות מרוצה" כהצלחת ההחלטה בסיבוב האחרון בלבד. Posch הציע שימוש במודל הסתברותי, שמעניק "ציון" לכל אחת מן האפשרויות המורכב מההסתברות לתוצאת "הצלחה" בבחירה בהן, וכך לענות על השאלה "האם אני מרוצה?"

באופן מורכב יותר - למשל, אם בסיבוב האחרון בחרתי באפשרות שנכשלה, הציון שלה ייפגע אך ייתכן (בהינתן וגם לאחר הפגיעה בו הוא עדיין גבוה מציוני שאר האפשרויות) שאבחר בה שוב.⁶ מודל ה-WLS על גרסאותיו השונות נזכר בספרות בהקשרים של דילמת האסיר^{7,8} בתור דרך פעולה מומלצת, וכמו כן בהקשרי התנהגות בעלי חיים: אם בעל חיים מרגיש רע אחרי שאכל מאכל מסוים הוא ימנע ממאכלים בעלי טעם דומה בעתיד⁹. מסיבה זו הגרסא הפשטנית של המודל מכונה גם "המודל הפבלובי" (Pavlov).

2. **Cournot's Best-Response Model**. אנטוני אגוסטין קורנו (Antoine Augustin Cournot,)

1801-1877) היה מתמטיקאי ופילוסוף ממוצא צרפתי. בשנת 1838 בספרו *Recherches sur les principes mathématiques de la théorie des richesses* הוא תיאר מודל כלכלי המתאר תחרות בשוק ספציפי (קורנו השתמש בשוק מי המעיינות כדוגמא) כאשר יש בו שני יצרנים מובילים. הנחות המודל הינן: קיימת יותר מחברה אחת בשוק (ומספר החברות קבוע), כולן מייצרות מוצרים זהים ומתחרות על ייצור כמויות, הן אינן עובדות בשיתוף פעולה ומתנהגות באופן רציונלי בכך שכולן שואפות למקסם את הרווח שלהן. קורנו הציע "פונקציית רווח" לכל חברה, שמורכבת משקלול של מחירי המוצרים של כל אחת מהחברות, הכמות שיש לכל חברה להציע ברגע נתון והעלות השולית, שע"פ הנחות המודל זהה בין שתי החברות. ליבו של המודל טמון בנקודת שיווי המשקל בין מחירי המוצר של שתי החברות - נקודה זו מוגדרת על ידי נקודת שיווי המשקל של נאש (Nash Equilibrium), והמודל של קורנו חוזה כי החברות יבחרו במחירים המוגדרים על-ידי נקודה זו. זהו המצב האידאלי שכן שתי החברות ממקסמות את רווחיהן¹⁰. כך על פי קורנו, כל מקבל החלטה בוחן את שאירע בסיבוב הנוכחי, מניח שכל מתחריו ינהגו בסיבוב הבא כפי שנהגו עכשיו, ותחת הנחה זו מקבל את ההחלטה לגביי התנהגותו בסיבוב הבא.

3. **Selten's Learning Direction Theory**. תיאוריות הלמידה של זלטן (Reinhard Selten) הוצעה

לראשונה על ידיו במאמר משנת 1985 כמודל להתנהגות דילמת האסיר¹¹, ובהמשך הורחבה לתיאוריה כוללת יותר לגביי למידה במבחני קבלת החלטות בסדרת בחירות חוזרות. במילותיו של זלטן, ניתן להסביר את התיאוריה באופן הטוב ביותר באמצעות דוגמה: נחשוב על קשת שמנסה לפגוע בגזע עץ. אם החץ מחטיא את העץ משמאל, בניסיון הבא הקשת יכוון יותר ימינה; אם החץ מחטיא את העץ מימין, בניסיון הבא הקשת יכוון יותר שמאלה¹². שתי ההנחות העיקריות בתיאוריה הן: (1) לקשת יש ידע על העולם, ובפרט על מה שעליו לעשות כדי לשפר את סיכויי הפגיעה שלו (למשל לכוון עוד ימינה בעקבות החמצה משמאל של העץ); (2) הקשת מקבל היזון חוזר (feedback) לגביי תוצאות ההחלטה שלו.

בדומה ל-WLS, עיקרו של מודל מתבסס על השאלה "מה הכוונה ב'להיות מרוצה'?", הווה אומר להגדרת המושג "הצלחה". מה שמבדיל את המודל הזה ממודלים אחרים של קבלת החלטות הוא שהגדרתו ל"הצלחה" נובעת לא רק מהרווח שבתוצאה (זו שנבעה מההחלטה האחרונה), אלא הרווחים האחרים שיכלו להתקבל מההחלטות האלטרנטיביות שנלקחו בחשבון. כלומר, ההשוואה בין הרווחים ההיפותטיים לרווח בפועל.

חרטה ככוח המניע לקבלת החלטות

חרטה, בין אם כזו שנחוותה או כזו שנצפית, ידועה כבר שנים ככוח משמעותי בתהליך קבלת החלטות. נושא החרטה נחקר לפני ולפנים בספרות המקצועית. חרטה מוגדרת באופן הבא: כאשר מקבל ההחלטה משווה את תוצאת ההחלטה שלו לתוצאה שהייתה יכולה להתקבל לו היה בוחר באפשרות אלטרנטיבית, ומסתבר כי התוצאה השנייה עדיפה על הראשונה. על כן, יש להבחין בשתי נקודות חשובות: הראשונה היא שחרטה תלויה בקיומו של היזון חוזר של תוצאות הבחירה, ושל תוצאות הבחירות האלטרנטיביות. השנייה היא שלמרות שחרטה מוגדרת כתחושה שמתקבלת בעקבות היזון חוזר של תוצאות ההחלטה (לאחר-ההחלטה), פעולה מתוך חרטה מתרחשת לפני קבלת החלטה^{1,13}, הרי שכאשר מקבל ההחלטה מכיר את מגוון התוצאות הצפויות של הבחירות השונות הוא יודע איזו תוצאה עשויה לגרום לחרטה גדולה יותר - ולהימנע ממנה (כלומר להתנהל על-פי הרגש שהוא צופה שירגיש²⁸), כפי שמתואר בכלל ההחלטה להלן:

(RS) Regret - Shift, No-Regret - Stay. כלל החלטה זה שאנו מציעים יוגדר באופן הבא: כאשר מקבל ההחלטה מתחרט בעקבות ההחלטה שקיבל (הווה אומר, התוצאה שקיבל נחותה מתוצאה אלטרנטיבית שיכלה להתקבל בעקבות החלטה אחרת) עליו לנטוש את האפשרות המקורית שבה הוא בחר ולהחליף לזו האלטרנטיבית - ולהפך: במידה והתוצאה שהתקבלה בעקבות ההחלטה שהוא לקח היא התוצאה העדיפה (דהיינו, הוא אינו מתחרט), אזי עליו לבחור שוב באותה אפשרות. למרות שכלל זה קובע את ההחלטה לגביי הבחירה הבאה בלבד, המודל מנבא שינוי הדרגתי בהסתברות המצטברת להחלטה לאורך זמן. כלומר, המודל מנבא שההסתברות המצטברת לקבלת החלטה תגיע לערך אסימפטוטי, שהוא הערך שבו ההסתברות לבחור באפשרות כלשהי ולהתחרט עליה שווה להסתברות להתחרט על אי-הבחירה באפשרות זו.

לצד כל נקודות הדמיון ביניהם, מודל החרטה נבדל מכל אחד משלושת המודלים שהוזכרו לעיל. ההבדל בינו לבין הראשון (WSLS) הוא בנתון שעליו כל אחד מהמודלים מבססים את קבלת ההחלטה: בעוד שמודל ה-WSLS מבסס אותה על היות מקבל ההחלטה מרוצה (או לא מרוצה) מתוצאות הבחירה בסיבוב האחרון, מודל החרטה מבסס אותה על תוצאת הסיבוב האחרון אל מול התוצאה האלטרנטיבית שהייתה יכולה להתקבל אם מקבל ההחלטה היה בוחר באפשרות שונה מזו שבחר בלבד. ההבדל העיקרי בינו לבין המודל השני (Cournot's Best-Response Model) הוא ההתנהגות החזויה במצב של שוויון בין שתי האפשרויות: בעוד שהמודל של קורנוט מגדיר מצב כזה כתיקו (מצב לא מוגדר) שבו אין עדיפות לאפשרות אחת על פני האפשרות השנייה, מודל החרטה מגדיר עדיפות לבחירה חוזרת בבחירה הקודמת, היות ומקבל ההחלטות לא מתחרט על ההחלטה שביצע. ההבדל בינו לבין המודל השלישי (Selten's Learning Direction Theory) טמון בעוצמת הביטוי של תגובת מקבל ההחלטות לתוצאה כלשהי - בעוד שבתיאורית הלמידה של סלטן ההנחה היא שתוצאה של סיבוב מסוים תוסיף או תגרע משקלול כל תוצאות העבר (וכך נראה יחס ישר בין עוצמת הביטוי של תגובת מקבל ההחלטות לבין כמות התוצאות הקודמות שקיימות), במודל החרטה תוצאה של סיבוב מסוים

תשפיע באופן מיידי על הסיבוב שאחריו (וכך, בהתאמה, אין השפעה לכמות התוצאות הקודמות שקיימות).

שיחור (Foraging)

את מודל ה-RS בחרנו לבחון בסיטואציה של שיחור בקבוצות אחר משאב במחסור. שיחור בקבוצות אחר משאב במחסור הינה סיטואציה מוכרת בעולם המחקר - ובפרט מתחומי הביולוגיה. כל האורגניזמים בעלי יכולת התנועה משחרים (forage) בסביבתם אחר משאבים, למשל: שימפנזים משחרים אחרי פירות¹⁴, פרות משה רבנו משחרות אחרי כנימות עלה¹⁵, דבורים משחרות אחרי צוף¹⁶ וציפורים משחרות אחר טריטוריה למגורים¹⁷. ולא רק בעלי חיים: שבטי ציידים-לקטים כמו שבט ה-Ache' בפרגוואי משחרים אחר צמחי מאכל¹⁸, גולשי אינטרנט משחרים אחר מידע, תאגידי טבע משחרים אחר קרקע עשירה במינרלים ואפילו נהגי מוניות משחרים - אחר נוסעים פוטנציאליים. משאבים מטבעם נוטים להיות סופיים ומוגבלים (הרי קיים סוף לפירות, לכנימות העלה או לנוסעי המוניות באזור מסוים). כאשר קבוצת פרטים משחרת אחר אותו משאב, הפרטים בקבוצה מפתחים דפוס התנהגות מסוים בקבלת ההחלטות שלהם, שנובע מתוך התחרות להשגת המשאב.

תאוריית השיחור האופטימלי (Optimal Foraging Theory)

לפני שאגש לסקור את עיקרי המחקר בשיחור של בעלי חיים ובני אדם, אציג את רעיון השיחור האופטימלי. רעיון זה הוצג לראשונה על ידי MacArthur and Pianka בשנת 1966¹⁹, כשהעקרון שעומד בבסיסו הוא פשוט - הפקת תועלת אופטימלית הינה ביצוע מטלה מסוימת כל עוד הרווח שהיא מניבה גדול מההפסד (כאשר ה"רווח" מוגדר על ידי יחידת משאב לזמן). כלומר, כל עוד אין מקור למשאב אלטרנטיבי שיניב רווח גדול יותר, בעל החיים דובק באותו מקור. בשנת 1970 הציעו Fratwell ו-Calver את מודל הפיזור החופשי האופטימלי (Ideal Free Distribution או בקיצור IFD) שעקרונותיו נשענו על תיאוריית ה-OFT¹⁷. ההנחות שעומדות בבסיס המודל הינן:

- הפרטים המשחרים הינם בעלי יכולות זהות והם יכולים לנוע בחופשיות בין המקורות.
- לכל מקור יש ציון יחסי שנקבע ע"י ההפרש בין כמות יחידות המשאב למספר הפרטים שנמצאים בו.
- בהתאמה, גידול במספר הפרטים במקור מסוים מורידה מהציון שלו, ולהפך.
- הפרטים יודעים את הציון היחסי הנ"ל (כך הם יכולים לבחור במקור האופטימלי).
- כל הפרטים תחרותיים במידה שווה.
- כל יחידות המשאב זהות.

בהתבסס על הנחות אלו, ההתנהגות שמודל ה-IFD חוזה הינה שהפרטים יתחלקו בין המקורות באופן כזה שיושג מצב של שיווי משקל (equilibrium), כך שכל מקורות המזון יניבו רווח שווה לכל פרט. כלומר, במקור i (עבור $1 \leq i \leq n$) הרווח לכל פרט מוגדר על ידי W_i/n_i (כאשר W_i הוא מספר מנות המזון במקור i ו- n_i הוא מספר הפרטים במקור), ושוויון משמעותו: $\forall 1 \leq i, j \leq n, W_i/n_i = W_j/n_j$ ⁵.

המודל נבדק אמפירית בניסויים רבים, בבעלי חיים ובבני אדם. קיימים מחקרים המאששים את המודל (או לפחות מציגים התנהגות קרובה מאוד אליו). כבר בספרם המקורי של Fratwell ו-Calver¹⁷ הם הציגו

נתונים לגביי אופי השיחור של ציפורים, והראו שהוא מתאים למודל. מחקרים נוספים הינם למשל המחקר שפורסם במאמרו של Harper משנת 1982 שהראה כי ברכיות (ממשפחת העופות) מתחלקות בין שני מקורות מזון באופן שמתאים למודל, למרות שאת מהנחות המודל מופרות שכן יחידות המזון לא היו שוות²⁰. Bell ו-Baum איתגרו את המודל כשייצרו ליונים סביבה משתנה²¹ בכך ששינו במהלך הניסוי את פיזור המזון בין המקורות. גם כאן הם מצאו כי התוצאות שקיבלו תואמות בקירוב את המודל, אם כי הם המליצו על מחקרי המשך בסביבה משתנה עם פרדיגמה יעילה יותר. תוצאות דומות נמצאו גם בבני אדם: במאמר של Hawkes, Hill ו-O'Connell משנת 2008 הם מצאו כי בני שבט ה-Ache', ציידים-לקטים מיערות פרגוואי, מתחלקים באופן שתואם את מודל ה-IFD במסעות הציד שלהם¹⁸. Sokolowski, Tonneau ו-Baquet הראו כי גם כאשר בני אדם משחרים אחר כסף המפוזר בין שני מקורות, תוצאות ההתפלגות שלהם תואמות את מודל ה-IFD²², אם כי הניסוי שלהם היה נתון לביקורת רבה, בין השאר משום שהבחירה במקור הייתה על פי צבע קבוע (ירוק מול אדום) וידוע כי יש לצבעים אלו השפעה על קבלת החלטות שאינה תלויה במה שהם מייצגים. יש לציין כי במודל ה-IFD (ובפרט בכל המחקר שתומך בו) מידת המחסור במשאב (scarcity), ההפרש בין כמות הפרטים המשחרים לבין כמות המזון הכללית, אינה משחקת תפקיד.

undermatching. לצד ועל אף כל המחקר הנ"ל, נדמה כי הממצא העיקרי מהמחקר בנושא שיחור בקבוצות מצביע על undermatching (התאמת חסר). כ-4 שנים לאחר פרסום ספרם של Fratwell ו-Calver טען Baum²³ כי תיתכן אי התאמה כזו, כאשר טען כי תוצאות ניסוי על פי רוב מקיימות את המשוואה: $\log(W_i/n_i) = a \cdot \log(W_j/n_j) + \log k$, עבור W_i, W_j מספר מנזון המזון במקור, n_i, n_j הוא מספר הפריטים במקור ו- a, k קבועים כלשהם.

כאשר $a = k = 1$ נקבל את השוויון במודל ה-IFD, אך כפי שבאום כותב:

"In some experiments, a systematically falls short of one"

ומכנה את המצב המתקבל undermatching. בשלב שבו באום פרסם את המאמר הסיבות לתופעה עדיין לא היו ידועות לו (*"The reasons for undermatching are obscure at present"*), אך הוא מעלה מספר השערות: הראשונה היא שהפרטים המשחרים מתקשים לחשב את הציון היחסי של המקורות; השנייה היא תגובה איטית (changeover delay) של הפרטים, כלומר שלוקח לפרטים זמן מה להתכנס לחלוקה הצפויה, אם מתוך קשיי הסתגלות או חוסר אמונה בהיוון החוזר; השלישית, והיא החשובה מביניהן עבורנו, היא מחסור, או כפי שבאום מכנה אותה: *"deprivation"*. טענתו היא שמחסור בפריטי מזון במקור ביחס לכמות הפרטים המשחרים גוררת undermatching, ויתרה מכך, שככל שהמחסור קטן יותר, כך a שואף ל-1 (הווה אומר אפקט ה-undermatching קטן). בכך הניח באום את היסודות לתופעה ה-undermatching ביחס למודל ה-IFD בשיחור אחר משאב במחסור, שאותה ניסו חוקרים להסביר על ידי מספר מודלים, בעיקרם שלושת המודלים הראשונים שנסקרו בפרק הקודם.

במאמר משנת 2001 של Kraft, Baum ו-Burge²⁴ מתואר ניסוי המשחזר את הניסוי של Sokolowski, Tonneau ו-Baquet שהוזכר לעיל, רק שהפעם הראו החוקרים בבירור את תופעת ה-undermatching.

במאמר משנת 2002 תיארו Madden, Peden ו-Yamaguchi²⁸ שלושה ניסויים שגם הם היו גרסאות שחזור שונות של הניסוי של Baque ו-Sokolowski, Tonneau, ובשלושתם ניתן היה לראות בבירור את תופעת ה-undermatching. בסיום המאמר הם מחזקים את ההשערות של באום לגביי הסיבות לתופעה, אך הם אינם מציעים מודל על מנת לחזות את ההתנהגות. בשנים 2004, 2006 ו-2008 נדרש Goldstone לתופעה, בשלושה מאמרים בנושא. בראשון²⁵ (עם Ashpole) הוצגו תוצאות ניסוי של שיחור של בני אדם בקבוצות אחר משאב שאינו במחסור בין שני מקורות. בניסוי זה ניתן היה לראות בבירור את תופעת ה-undermatching במקור השופע ו-overmatching במקור הדליל. כותבי המאמר ציינו כי ניתן לראות תופעת נדידה של קבוצות פרטים בין שני המקורות, שגוררת מחסור מיידי באוכל שאליו נדדו, ובעקבותיה גוררת נדידה חזרה של קבוצת פרטים, וחזור חלילה. עוד הם ציינו כי זהו המאמר הראשון שמדווח בו על נדידה-מעגלית שכזו בבני-אדם. בשני המאמרים המאוחרים יותר^{26,27} (עם Roberts ו-Gureckis) מוצג מודל ממוחשב (בשם EPICURE) שמבקש להסביר את תופעת ה-undermatching בשיחור בקבוצות אחר מזון (תוך כדי התאמה גם לתופעת הנדידה המעגלית בין המקורות). המודל פועל באופן הבא: שדה המזון מחולק למטריצה בגודל 80×80 , והפרטים מחולקים באופן רנדומלי בין תאי המטריצה. המודל מתחשב בשישה פרמטרים: מרחק הפרט ממנת המזון, צפיפות המזון באזור התא, צפיפות הפרטים באזור התא, מציאת מזון בעבור באזור התא, אי-מציאת מזון בעבר באזור התא (או בעצם אכזבות מאי-מציאת המזון) ומרחק הפרט מהמשבצת שאליה הוא מתכוון לנוע, כאשר כל פרמטר מקבל משקל שונה והם נסכמים לכדי פונקציית ערך כוללת עבור כל תא (i, j) בזמן t נתון באופן הבא:

$$value(i, j, t) = \left(P_1 \cdot \frac{1}{food_distance} \right) + (P_2 \cdot food_density) \pm (P_3 \cdot agent_density) \\ + (P_4 \cdot rewards) + (P_5 \cdot penalties) + \left(P_6 \cdot \frac{1}{goal_distance} \right)$$

לאחר הצגת המודל מציגים החוקרים תוצאות אמפיריות של ניסויים שהמודל חזוה בדיוק גבוה, ובפרט שהמודל חזוה גם את תוצאות הניסוי שביצע Goldstone ב-2004²⁵. תוצאות אלו מצביעות באופן מובהק על קיומה של תופעת ה-undermatching במקור השופע.

3. העבודה הנוכחית

מודל החרטה כהסבר להתנהגות בשיחור. כפי שהוזכר, אנו מעוניינים להציע מודל חדש שיוכל להסביר את תופעת ה-undermatching בשיחור בקבוצות אחר משאב במחסור. פורמלית, N פרטים משחרים אחר משאב (בכמות F , כאשר $F \leq N$, הווה אומר קיים מחסור במשאב) שמפוזר בין שני מקורות (L_1, L_2) , כך שב- L_1 יש f_1 יחידות מהמשאב, וב- L_2 את $f_2 = F - f_1$ יחידות המשאב הנותרות. כל פרט מתוך N הפרטים בוחר באופן בלתי תלוי בשאר הפרטים האם לחפש מהמשאב ב- L_1 או L_2 . יחידות המשאב הן בלתי נראות, וכל פרט יכול לקחת לכל היותר יחידה אחת.

תיאוריית ה-Optimal Foraging שהוצגה לעיל חזה כי הפרטים המשחרים יתפלגו לפי מודל ה-IFD,

כלומר: $P(\text{choose } L_i) = \frac{f_i}{F}$ (עבור $i = 1, 2$). בהתחשב בתוצאות הניסויים הקיימים לגבי תופעת ה-

undermatching, סביר להניח שנראה תופעה זו גם פה (כלומר כאשר i הוא המקור השופע מבין השניים

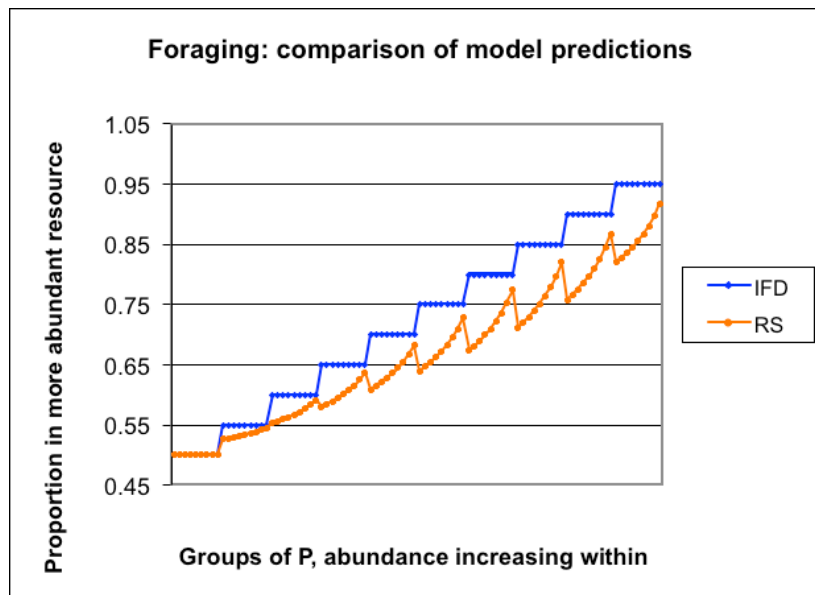
יתקיים: $P(\text{choose } L_i) < \frac{f_i}{F}$).

כאשר נחיל את מודל החרטה שהוצג לעיל (RS) על סיטואציה זו, נצפה לראות את ההתרחשות הבאה: ראשית, כל פרט יבחר מקור באופן שרירותי; לאחר מכן, בכל סיבוב, אם הפרט מצא יחידת משאב במקור שבו חיפש, הוא יבחר באותו מקור שוב; זהו הדין גם כאשר הפרט לא מצא יחידת משאב במקור שבו חיפש, אך גם במקור השני הוא לא נחשף לזכייה של פרט אחר (No-Regret - Stay). לעומת זאת, אם הפרט לא מצא יחידת משאב במקור שבו חיפש אך יסתבר לו שבמקור השני הייתה זכייה, בסיבוב הבא הוא יבחר במקור השני (Regret - Shift). ההסתברות לבחור במקור ה- i (עבור $i = 1, 2$) נתונה על ידי המשוואה הריבועית הבאה:

$$\left(1 - 2 \cdot \left(\frac{f_i}{F}\right)\right) \cdot P(\text{Choose } L_i)^2 + \left(2 \cdot \left(\frac{f_i}{F}\right) \cdot \left(1 - \left(\frac{N}{F}\right) + \left(\frac{f_1 \cdot N}{F^2}\right)\right)\right) \cdot P(\text{Choose } L_i) - \left(\left(\frac{f_i}{F}\right) \cdot \left(1 - \left(\frac{N}{F}\right) + \left(\frac{f_1 \cdot N}{F^2}\right)\right)\right) \cdot P(\text{Choose } L_i) = 0$$

בגרף הבא מוצגת ההסתברות לבחור בשדה השופע כפונקציה של יחס יחידות המשאב בו מתוך סך

היחידות $\frac{f_i}{F}$ (כאשר i הוא השדה השופע), ושל כמות המחסור במשאב:



גרף 1: ההסתברות לבחירה בשדה השופע כפונקציה של יחס יחידותיו וכמות המחסור במשאב, לפי RS ו-IFD

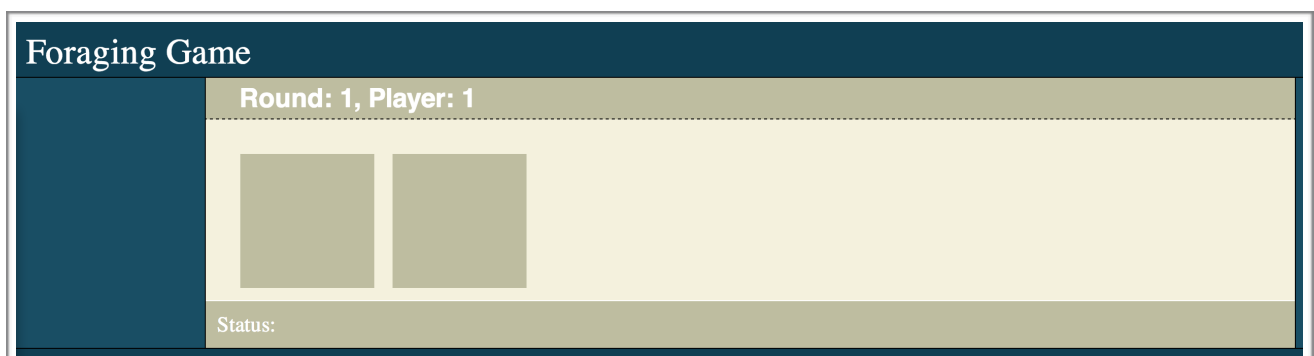
הגרף הכהה (הכחול) מתאר את תחזית ה-IFD בעוד שהגרף הבהיר (הכתום) מתאר את תחזית מודל ה-RS. בתוך כל יחס בין השדות המחסור משתנה מ-0.1 ל-0.9 בכיוון התקדמות הגרף (למשל, עבור יחס בין השדות של 20-80 (0.8 בציר y) עם 100 פרטים משחרים, הנקודה השמאלית ביותר במקטע זה בגרף הכתום מייצגת סיטואציה של 10 מנות מהמשאב בחלוקה של 2-8, והנקודה הימנית ביותר במקטע מייצגת סיטואציה של 90 מנות מהמשאב בחלוקה של 18-72). כפי שניתן לראות, ככל שגדל המחסור (פחות מנות מהמשאב באופן כללי, F קטן יותר באופן יחסי) כך ה-*undermatching* ביחס למודל ה-IFD גדול יותר.

4. תיאור הניסוי

השיטה. בכל הרצה של הניסוי משתתפים 12 נבדקים המגלמים סטודנטים בקורס, המבקשים להתקבל לתרגול מסוים. קיימות שתי קבוצות תרגול שמספר המקומות הכולל בהן קטן ממספר המעוניינים. הניסוי אורך 72 סיבובים בלתי תלויים כאשר מספר המקומות בכל קבוצה נשאר קבוע. בכל סיבוב כל נבדק בוחר באחת משתי הקבוצות: אם מספר הבוחרים באותה קבוצה קטן ממספר המקומות הפנויים בה, כל הבוחרים בה מתקבלים; אחרת המחשב מגריל באקראי אילו מהבוחרים בה יתקבלו. בסיום הניסוי כל נבדק מקבל תשלום בהתאם להצלחותיו, כאשר ערכה הכספי של בחירה מוצלחת נקבע בהתאם לכמות המקומות הפנויים הכוללת (מפורט בהמשך). הנבדקים מיועדים לגביי ערכה הכספי של בחירה מוצלחת, אך לא לגביי כמות המקומות הפנויים. הוראות הניסוי הוקראו לנבדקים לפני תחילת הניסוי, וחולקו דפים מודפסים שהנבדקים יכלו לחזור ולעיין בהם לאורך הניסוי. ניתן לראות את ההוראות בנספח א'.

חומרים. הניסוי התבצע במעבדות ה- Ratiolab באוניברסיטה העברית, על 12 מחשבים ניחים כאשר הניסוי מורץ מהאינטרנט. קיימות שתי קבוצות תרגול המיוצגות על ידי שני ריבועים זהים (תמונה 1). הבחירה בקבוצה מתבצעת על-ידי הקשה על הריבוע המתאים באמצעות העכבר. לאחר הבחירה, בעת ההמתנה לכל שאר הנבדקים מופיע בריבוע הנבחר עיגול כתום. לאחר שכל המשתתפים בחרו בקבוצה כלשהי, מתחלף העיגול הכתום ב-V בצבע ירוק במידה והנבדק התקבל או X בצבע אדום במידה ולא. בהתאמה, בקבוצת התרגול השנייה יופיע V ירוק או X אדום קטן יותר, המתאר משתתף רנדומלי מהקבוצה השנייה (תמונה 2).

משתתפים. בניסוי השתתפו 48 סטודנטים לתואר ראשון מהאוניברסיטה העברית, בטווח גילאים של 18-31 ($\mu = 24.2$), מתוכם 19 גברים ו-29 נשים, בין התאריכים 22.05-23.03 בשנת 2014. התקיימו 4 הרצות (72 סיבובים כל אחת), שתיים מתוכן בקמפוס גבעת רם ושתיים בקמפוס הר הצופים. בכל צמד הרצות התבצעה אחת שבה חלוקת המקומות הפנויים בין קבוצות התרגול היא 1-5 ואחת שבה החלוקה היא 2-6. בהתאמה, בניסוי הראשון על כל בחירה נכונה כל נבדק קיבל 1 ש"ח, ובשני 0.75 ש"ח. הנבדקים קיבלו 5 ש"ח נוספים על השתתפות.



תמונה 1: מסך הניסוי



תמונה 2: סימני האינדיקציה

5. תוצאות

הקדמה.

- בפרק זה אתייחס לתנאי ה- 5-1 כ"התנאי הראשון" ולתנאי ה- 6-2 כ"התנאי השני".
- קיימות ארבע אפשרויות לפידבק שנבדק מקבל בסיום תור (outcome), המורכבות מצמד הספרות 1,2 כאשר 1 משמעותו "לא התקבל" ו- 2 משמעותו "התקבל": 1-1 הנבדק לא התקבל וגם הנבדק הרנדומלי מהקבוצה השנייה לא התקבל, 1-2 הנבדק לא התקבל אך הנבדק מהקבוצה השנייה התקבל, 2-1 הנבדק התקבל אך הנבדק מהקבוצה השנייה לא התקבל, 2-2 הנבדק התקבל וגם הנבדק מהקבוצה השנייה התקבל.
- ערך swap - האם הנבדק החליף את בחירתו ביחס לתור הקודם. על-פי מודל ה-RS, הנבדק יחליף בוודאות את בחירתו עבור הפידבק 1-2 (הנבדק לא התקבל אך הנבדק הרנדומלי מהקבוצה השנייה שאליו נחשף הנבדק כן התקבל).
- היות וקיימות תלויות בין התצפיות השונות, בחרנו לנתח את הנתונים על-פי הרצות (שורה לכל הרצה), ולא לכל סיבוב או לכל נבדק. ובפרט, קובץ הנתונים ההתחלתי מכיל נתונים עבור כל סיבוב, עבור כל הנבדקים באותו הסיבוב (3456 שורות). לכל שורה כזו הוספנו outcome ו-swap. סכמנו את כל השורות של כל נבדק (864 שורות). כנאמר, היות והבחירות של כל נבדק תלויות בבחירות של שאר הנבדקים, סכמנו את כל הנבדקים מאותה הרצה (4 שורות), ואלו הנתונים שביצענו עליהם את הניתוחים שלהלן.

ניתוח התוצאות.

1. מהו היחס בין שיעור הבוחרים בקבוצת התרגול ה"שופעת" (זו שיש בה יותר מקומות) ביחס

לצפי על-פי ה-IFD?

כנאמר בפרק הקודם, מודל ה-IFD חוזה שהנבדקים יתחלקו בין קבוצות התרגול באופן כזה שיושג מצב של שיווי משקל (equilibrium), כך שכל מקורות המזון יניבו רווח שווה לכל פריט, על פי החישוב:
$$\forall 1 \leq i, j \leq n, W_i/n_i = W_j/n_j$$
. הווה אומר, עבור התנאי הראשון (5-1), הצפי הוא שהנבדקים יתחלקו

10-2 לטובת השדה השופע ($\frac{5}{10} = \frac{1}{2}$), כלומר היחס בין כמות הנבדקים בקבוצה השופעת לסך כל

הנבדקים הוא $\frac{5}{6}$, ועבור התנאי השני (6-2) הצפי הוא לחלוקה של 9-3 עבור השדה השופע ($\frac{6}{9} = \frac{2}{3}$).

כלומר יחס של $\frac{3}{4}$.

כדי לבדוק האם מתקיים undermatching (בהתאמה לתחזית מודל ה-RS), הגדרנו משתנה חדש של הפרש ממוצע הבחירה באופציה השופעת בפועל מהצפי על-פי ה-IFD, וביצענו מבחן t למדגם יחיד בכדי לבדוק האם הערך שהתקבל שונה ונמוך מאפס. בשני המקרים יחד התקבל undermatching מובהק ($\mu = -0.631, t_{(3)} = -7.499, p = .005$) (טבלה 1).

t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
				Lower	Upper
-7.499	3	.005	-.0630867	-.089861	-.036312

טבלה 1: מבחן T למדגם יחיד עבור ההפרש בין ממוצע הבחירה בשדה השופע לבין הצפי לפי ה- IFD

2. דינאמיקת הבחירה: מה משפיע על ההחלטה להחליף את הבחירה?

ביצענו ניתוח שונות כדי לבדוק מהם האפקטים של קבלה לקבוצה / דחייה של הנבדק, קבלה לקבוצה / דחייה של הנבדק הרנדומלי שנצפה מהקבוצה השנייה והאינטרקציה ביניהם - על ההחלטה האם להחליף את הבחירה (הנתונה בערך swap). נמצא אפקט עיקרי מובהק לקבלת / דחיית הנבדק ($\mu_{accept} = .277$, $\mu_{reject} = .110$, $F_{(1,3)} = 62.903$, $p = 0.04$) כמו כן, נמצא אפקט עיקרי מובהק גם לקבלת / דחיית הנבדק הרנדומלי שנצפה ($\mu_{accept} = .164$, $\mu_{reject} = .224$, $F_{(1,3)} = 17.155$, $p = .026$) ויש ביניהם אינטרקציה ($F_{(1,3)} = 13.483$, $p = .035$). עוד ניתן לראות כי ממוצע ההחלפות הכולל עבור כל הנבדקים מתוך כלל הבחירות הינו $\mu = 0.194$, וכי קבלת / דחיית הנבדק הרנדומלי שנצפה משפיעה רק כאשר הנבדק לא זכה. ניתן לראות את התוצאות בטבלאות 2-5.

Source	MeFed	OtherFed	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
MeFed	Linear		.111	1	.111	62.903	.004	.954
Error(MeFed)	Linear		.005	3	.002			
OtherFed		Linear	.015	1	.015	17.155	.026	.851
Error(OtherFed)		Linear	.003	3	.001			
MeFed * OtherFed	Linear	Linear	.012	1	.012	13.483	.035	.818
Error (MeFed*OtherFed)	Linear	Linear	.003	3	.001			

טבלה 2: GLM עבור אפקט הקבלה / דחייה של הנבדק (MEFED), של נבדק רנדומלי מהקבוצה השנייה (OTHERFED) והאינטרקציה ביניהם

MeFed	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1	.277	.040	.150	.405
2	.110	.021	.042	.179

טבלה 3: ממוצעי החלפות עבור הנבדק (1 - לא התקבל, 2 - התקבל)

OtherFed	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1	.164	.027	.077	.250
2	.224	.035	.113	.335

טבלה 4: ממוצעי החלפות עבור נבדק רנדומלי מהקבוצה השנייה (1 - לא התקבל, 2 - התקבל)

MeFed	OtherFed	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
1	1	.220	.037	.102	.338
	2	.334	.046	.189	.479
2	1	.107	.023	.035	.179
	2	.114	.024	.036	.191

טבלה 5: האינטרקציה ביניהם (1 - לא התקבל, 2 - התקבל)

בדקנו גם האם יש השפעה לזמן במהלך הניסוי על ממוצע הבחירות בשדה השופע. חילקנו את הניסוי לארבעה רבעים $Q_1 - Q_4$ (כל אחד בן 18 סיבובים) וביצענו ניתוח שונות למדידות חוזרות. מצאנו אפקט לינארי מובהק של מרחק מה- IFD בין הרבעים ($\mu_{Q_1} = -.103$, $\mu_{Q_2} = -.066$, $\mu_{Q_3} = -.057$, $\mu_{Q_4} = -.025$), כלומר undermatching פוחת לאורך הניסוי. ניתן לראות את התוצאות בטבלה 6.

quarter	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1	-.103	.015	-.151	-.055
2	-.066	.006	-.084	-.048
3	-.057	.022	-.126	.013
4	-.025	.012	-.063	.014

טבלה 6: הפרש ממוצע הבחירות בשדה השופע מצפי ה- IFD בחלוקה לרבעים

בהינתן הנתונים הנ"ל נשאלת השאלה - על מה מעידה ההתקרבות למודל ה- IFD לאורך הרבעים? האם היא מעידה על ירידה ברצון הנבדק להחליף את בחירתו? על החלשות עוצמת אפקט הזכייה? בכדי לענות ביצענו ניתוח שונות תלת-מימדי (עבור רבעים, בחירת הנבדק ובחירת נבדק רנדומלי מהשדה השני).
האפקטים הקודמים והאינטרקציה ביניהם נמצאו, כמובן, גם בניתוח זה ($p_{MeFed} = .004$, $p_{OtherFed} = .028$), עם זאת, לא נמצא אפקט לינארי של הרבע על הנטייה להחלפה ($F_{(1,3)} = .608$, $p_{Interaction} = .014$).
כלומר לא ניתן להצביע על ירידה ברצון הנבדק להחליף את בחירתו, אך האינטרקציה בין תוצאת הבחירה לרבע כן מתקרבת למובהקות ($F_{(1,3)} = 5.510$, $p = .101$), כלומר ישנה החלשות של עוצמת אפקט הזכייה.
עוד אציין כי ניתן לראות אפקט ריבועי שקשה להסבירו לאורך הניסוי ($\mu_{Q_1} = .191$, $p_{Quadratic} = .025$), $\mu_{Q_2} = .203$, $\mu_{Q_3} = .215$, $\mu_{Q_4} = .165$. ניתן לראות את התוצאות בטבלאות 7,8.

Source	quarter	MeFed	OtherFed	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
quarter	Linear			.004	1	.004	.608	.492	.168
	Quadratic			.016	1	.016	17.351	.025	.853
	Cubic			.003	1	.003	.324	.609	.097
Error(quarter)	Linear			.018	3	.006			
	Quadratic			.003	3	.001			
	Cubic			.028	3	.009			
MeFed		Linear		.437	1	.437	68.487	.004	.958
Error(MeFed)		Linear		.019	3	.006			
OtherFed			Linear	.064	1	.064	16.221	.028	.844
Error(OtherFed)			Linear	.012	3	.004			
quarter * MeFed	Linear	Linear		.000	1	.000	.020	.897	.007
	Quadratic	Linear		.001	1	.001	.856	.423	.222
	Cubic	Linear		.002	1	.002	.282	.632	.086
Error (quarter*MeFed)	Linear	Linear		.016	3	.005			
	Quadratic	Linear		.003	3	.001			
	Cubic	Linear		.021	3	.007			
quarter * OtherFed	Linear		Linear	.011	1	.011	1.849	.267	.381
	Quadratic		Linear	.002	1	.002	.280	.633	.085
	Cubic		Linear	.000	1	.000	.065	.816	.021
Error (quarter*OtherFed)	Linear		Linear	.018	3	.006			
	Quadratic		Linear	.019	3	.006			
	Cubic		Linear	.018	3	.006			
MeFed * OtherFed		Linear	Linear	.049	1	.049	27.108	.014	.900
Error (MeFed*OtherFed)		Linear	Linear	.005	3	.002			
quarter * MeFed * OtherFed	Linear	Linear	Linear	.003	1	.003	5.510	.101	.647
	Quadratic	Linear	Linear	.003	1	.003	.684	.469	.186
	Cubic	Linear	Linear	.001	1	.001	.385	.579	.114
Error (quarter*MeFed*OtherFed)	Linear	Linear	Linear	.002	3	.001			
	Quadratic	Linear	Linear	.015	3	.005			
	Cubic	Linear	Linear	.008	3	.003			

טבלה 7: GLM בחלוקה לרבעים עבור הנבדק (MEFED) ועבור נבדק רנדומלי מהקבוצה השנייה (OTHERFED)

quarter	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1	.191	.023	.117	.265
2	.203	.031	.106	.301
3	.215	.047	.064	.366
4	.165	.035	.055	.275

טבלה 8: ממוצעי החלפות בחלוקה לרבעים

6. מסקנות ודיון

כמשתמע מהתוצאות ובהתאם להשערותנו, ניתן לראות undermatching מובהק בין כמות הבוחרים בקבוצה ה"שופעת" בפועל לבין התחזית לפי ה-IFD, שניתן להסבירו על-ידי מודל ה-RS – כאשר תוצאות הבחירה שלי פחות טובות מתוצאות של בחירה אלטרנטיבית שלי, אם תינתן לי האפשרות להחליף את הבחירה שלי, אעשה זאת. ניתן לשים לב לשיקול נוסף שייתכן ומעורב בתהליך קבלת ההחלטות - שיקול האכזבה; בהינתן שתוצאת הבחירה שלי אינה מוצלחת (הווה אומר לא התקבלתי לקבוצת התרגול, בלי קשר למה קרה לנבדקים האחרים), אם תינתן לי האפשרות להחליף את הבחירה שלי, אעשה זאת. התשובה לשאלה לגביי משמעותיות האפקט הזה בקבלת ההחלטות נשארת בסימן שאלה, ונציע כי כדאי לחקור אותה בעתיד.

מצבי קבלת החלטה בסדרת בחירות חוזרות קיימים גם מחוץ לתנאי המעבדה: ההחלטה על נתיב נסיעה מהבית לעבודה, האם להתנדב "לסגור שבת", הבחירה בין שני דוכני הפלאפל שקרובים למקום העבודה ועוד. עם זאת, במקרים רבים המצב אינו כך; למשל בבחירה של מקצוע לימוד, בן/בת זוג או מקום עבודה, כאשר קיימים יותר משני מקורות וקיימת אינדיקציה מיותר מפרט אחד. בעינינו שאלות אלו ראויות למחקרי המשך – ניסויים לגביי שיחור ביותר משני מקורות, וניסויים שבהם הנבדק מקבל אינפורמציה שונה, למשל את פירוט הקבלה והדחייה בקבוצה שלא בחר בה /או את אותו הפירוט עבור הקבוצה בה בחר.

7. נספחים

נספח א': הוראות

* הוראות אלו הן עבור תנאי ה- 5-1. עבור תנאי ה- 6-2 הסכום לקבלה לקבוצת תרגול הוא 0.75 ש"ח.

הוראות הניסוי

במשחק זה אתם סטודנטים בקורס, המבקשים להתקבל לקבוצת תרגול. קיימות שתי קבוצות תרגול, אך מספר המקומות הפנויים עדיין עלול להיות קטן ממספר המעוניינים, שהוא 12 (מספר הנבדקים במעבדה). במשחק 72 סיבובים בלתי תלויים. בתחילת כל סיבוב עליכם להחליט לאיזו קבוצת תרגול להירשם – לזו שבשמאל או בימין. הבחירה מתבצעת ע"י הקשה על הריבוע המתאים. אחרי שכל השחקנים בחדר בחרו באחת מן האפשרויות, המחשב קובע אם הצלחתם להתקבל או לא בדרך הבאה: אם מספר הנרשמים לקבוצת תרגול קטן או שווה למספר המקומות הפנויים בה, התקבלתם לקבוצה. אם מספר הנרשמים לקבוצת תרגול גדול ממספר המקומות הפנויים בה, המחשב קובע באקראי מי מבין הנרשמים התקבל לקבוצה ומי לא. מספר המקומות בכל אחת מן הקבוצות אינו בהכרח שווה, אך הוא נשאר קבוע לאורך כל המשחק. כל קבלה לקבוצת תרגול מזכה אתכם ב- 1₪. בסיום המשחק תקבלו את הסכום שהצטבר לזכותכם. בנוסף על כך תקבלו 5 שקלים עבור השתתפות בניסוי. בתום כל סיבוב תקבלו את המידע הבא:

1. האם הצלחתם או לא הצלחתם להתקבל. מידע זה יופיע בתוך עיגול גדול, המסמל אתכם. במקרה שהצלחתם יופיע הסימן "V" בתוך עיגול ירוק; במקרה שלא הצלחתם יופיע הסימן "X" בתוך עיגול אדום.
2. מידע לגבי הצלחה או אי-הצלחה של שחקן אחד מקבוצת התרגול האחרת. שחקן זה ייבחר באקראי מבין כל הנרשמים לאותה קבוצה. המידע אודות השחקן האחר יופיע בתוך עיגול קטן יותר מזה שלכם, בריבוע המציין את הקבוצה האחרת. אם אף אחד לא בחר בקבוצה האחרת באותו סיבוב, לא יופיע מידע לגבייה.

אם יש לכם שאלה הרימו יד ונסיין יגש אליכם.

1. Damghani, K. Khalili, M. T. Taghavifard, and R. Tavakkoli Moghaddam. "Decision Making Under Uncertain and Risky Situations." *Enterprise Risk Management Symposium Monograph Society of Actuaries-Schaumburg, Illinois*. (2009).
2. Battalio, Raymond C., John H. Kagel, and Komain Jiranyakul. "Testing between alternative models of choice under uncertainty: Some initial results." *Journal of Risk and Uncertainty* 3.1 (1990): 25-50.
3. Mongin, Philippe. "Expected utility theory." *Handbook of economic methodology* (1997): 342-350.
4. Charness, Gary, and Dan Levin. "When optimal choices feel wrong: A laboratory study of Bayesian updating, complexity, and affect." *American Economic Review* (2005): 1300-1309.
5. Posch, Martin, Alexander Pichler, and Karl Sigmund. "The efficiency of adapting aspiration levels." *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 266.1427 (1999): 1427-1435.
6. Posch, Martin. "Win–Stay, Lose–Shift strategies for repeated games—memory length, aspiration levels and noise." *Journal of Theoretical Biology* 198.2 (1999): 183-195.
7. Milinski, Manfred, and Claus Wedekind. "Working memory constrains human cooperation in the Prisoner's Dilemma." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95.23 (1998): 13755-13758.
8. Nowak, Martin, and Karl Sigmund. "A strategy of win-stay, lose-shift that outperforms tit-for-tat in the Prisoner's Dilemma game." *Nature* 364.6432 (1993): 56-58.
9. Revusky, Sam, and John Garcia. "Learned associations over long delays." *The Psychology of Learning and Motivation* 4 (1970): 1-84.
10. Varian, Hal R., and Jack Repcheck. "Intermediate microeconomics: a modern approach." Vol. 6. New York, NY: WW Norton & Company, 2010.
11. Selten, Reinhard, and Rolf Stoecker. "End behavior in sequences of finite Prisoner's Dilemma supergames. A learning theory approach." *Journal of Economic Behavior & Organization* 7.1 (1986): 47-70.
12. Selten, Reinhard, Klaus Abbink, and Ricarda Cox. "Learning direction theory and the winner's curse." *Experimental Economics* 8.1 (2005): 5-20.
13. Loomes, Graham, and Robert Sugden. "Regret theory: An alternative theory of rational choice under uncertainty." *Economic Journal* 92.368 (1982): 805-824.
14. Hashimoto, Chie, et al. "How fruit abundance affects the chimpanzee party size: A comparison between four study sites." *Primates* 44.2 (2003): 77-81.
15. Kareiva, Peter, and Garrett Odell. "Swarms of predators exhibit "preytaxis" if individual predators use area-restricted search." *American Naturalist* (1987): 233-270.

16. Chittka, Lars, Andreas Gumbert, and Jan Kunze. "Foraging dynamics of bumble bees: Correlates of movements within and between plant species." *Behavioral Ecology* 8.3 (1997): 239-249.
17. Fretwell, Stephen Dewitt, and James Stevan Calver. "On territorial behavior and other factors influencing habitat distribution in birds." *Acta Biotheoretica* 19.1 (1969): 37-44.
18. Hawkes, Kristen, Kim Hill, and James F. O'Connel. "Why hunters gather: optimal foraging and the Ache of eastern Paraguay." *American Ethnologist* 9.2 (1982): 379-398.
19. MacArthur, Robert H., and Eric R. Pianka. "On optimal use of a patchy environment." *American Naturalist* (1966): 603-609.
20. Harper, D. G. C. "Competitive foraging in mallards: 'Ideal free' ducks." *Animal Behaviour* 30.2 (1982): 575-584.
21. Bell, Kenneth E., and William M. Baum. "Group foraging sensitivity to predictable and unpredictable changes in food distribution: Past experience or present circumstances?" *Journal of the Experimental Analysis of Behavior* 78.2 (2002): 179-194.
22. Sokolowski, M. B. C., F. Tonneau, and E. Freixa i Baqué. "The ideal free distribution in humans: An experimental test." *Psychonomic Bulletin & Review* 6.1 (1999): 157-161.
23. Baum, William M. "On two types of deviation from the matching law: bias and undermatching." *Journal of the Experimental analysis of Behavior* 22.1 (1974): 231-242.
24. Kraft, John R., William M. Baum, and Mark J. Burge. "Group choice and individual choices: Modeling human social behavior with the Ideal Free Distribution." *Behavioural Processes* 57.2 (2002): 227-240.
25. Goldstone, Robert L., and Benjamin C. Ashpole. "Human foraging behavior in a virtual environment." *Psychonomic Bulletin & Review* 11.3 (2004): 508-514.
26. Roberts, Michael E., and Robert L. Goldstone. "EPICURE: Spatial and knowledge limitations in group foraging." *Adaptive Behavior* 14.4 (2006): 291-313.
27. Goldstone, Robert L., Michael E. Roberts, and Todd M. Gureckis. "Emergent processes in group behavior." *Current Directions in Psychological Science* 17.1 (2008): 10-15.
28. Madden, Gregory J., Blaine F. Peden, and Tetsuo Yamaguchi. "Human group choice: Discrete-Trial and free operant tests of the ideal free distribution." *Journal of the Experimental Analysis of Behavior* 78.1 (2002): 1-15.
29. Mellers, Barbara, Alan Schwartz, and Ilana Ritov. "Emotion-based choice." *Journal of Experimental Psychology: General* 128.3 (1999): 332.