

יעקב בן-חיים

הקתדרה על שם יצחק מודעי
בטכנולוגיה וכלכלה, הטכניון – מכון
טכנולוגי לישראל

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

בן-חיים י. 2013. התמודדות עם
דילמת החדשנות בעיצוב מדיניות
באמצעות תורת פער-ידע – חקר
מקרה של טיפול במין פולש.
אקולוגיה וסביבה 4(4): 305–311.



מטע תפוחים במחוז El Dorado שבקליפורניה | צילום: © Stephen Curtin

התמודדות עם דילמת החדשנות בעיצוב מדיניות באמצעות תורת פער-ידע – חקר מקרה של טיפול במין פולש

1 בדצמבר, 2013

גיליון חורף 2013 / כרך 4(4)

[חזית המחבר](#)

על קצה המזלג

1. דילמת החדשנות משמעותה אי-ודאות חמורה ביחס לבחירה בין חלופה מוכרת לחלופה חדשנית עקב מגוון ההשלכות השליליות הבלתי-צפויות של כל חלופה.
2. המחברים מציעים להשתמש ב"תורת פער-ידע" לתמיכה בשיפוט ובהחלטות במצבי אי-ודאות, שקיים בהם פער בין מה שידוע לבין מה שצריך לדעת כדי לקבל החלטה מהימנה.
3. תורת פער-ידע מציעה שיטת מחקר לבחירה בין חלופות באמצעות ניתוח של העובדות: מה ידוע? מה לא ודאי? מה צריך להשיג?
4. אילו היו משתמשים בתורת פער-ידע בעת הטיפול במין הפולש 'עש התפוח' בקליפורניה, הדבר היה מסייע בקביעת הפעולות שיש לנקוט, בהתאם להגדרת דרישות הביצוע של מקבלי ההחלטות.
5. הכלי המוצג במאמר יכול לסייע בהחלטות רבות בתחום ניהול משאבי טבע וסביבה, שבחירה בין החלופות בהם מאופיינת באי-ודאות חמורה ומובנית.

תקציר

טכנולוגיות ורעיונות חדשניים מציגים לעתים שיפורים בהשוואה לשיטות קיימות. עם זאת, משהו חדש, מעצם הגדרתו, הוא גם מוכר פחות וגם בדוק פחות מן הישן. שיטות חדשות טומנות בחובן אפשרויות ליתרונות חדשים, אך טמונות בהן גם סכנות בלתי ידועות. מקבל החלטות או מעצב המדיניות, שצריך לבחור בין גישה חדשנית לבין גישה סטנדרטית, עומד בפני דילמת החדשנות: לבחור בחלופה החדשה והמבטיחה תוך הסתכנות בכך שהיא עלולה להיות טובה פחות מן החלופה המוכרת, או לא לבחור בה. נסביר את שיטת הטיפול בדילמת החדשנות בהתבסס על תורת פער-ידע לקבלת החלטות בתנאים של אי-ודאות חמורה. נדגים את השיטה על-ידי בחינת קבלת החלטות במקרה הספציפי של טיפול במין פולש בקליפורניה: עש התפוח (light brown apple moth).

מבוא

לעתים קרובות מעצב מדיניות צריך לבחור בין חלופות שונות כאשר אחת החלופות מוערכת כטובה מן האחרות, אבל היא גם מלווה בהרבה יותר אי-ודאויות, ולכן עלולה להתגלות כטובה פחות מן החלופות האחרות. הקושי מתעצם כאשר החלופה שנראית טובה יותר מתבססת על חידושים לא מוכרים ולא ודאיים בגלל חדשנותם. מקבל החלטה עומד אז בפני דילמת החדשנות. נתאר גישת טיפול בדילמת החדשנות הזו בהתבסס על תורת פער-ידע (info-gap theory) לקבלת החלטות בתנאים של אי-ודאות חמורה.

דילמות החדשנות נפוצות מאד בניתוח מדיניות. נדון במספר דוגמאות.

אימוץ של טכנולוגיות ייצור חקלאיות חדשות הקטין את הצורך בעבודה פיזית אבל הגדיל את השימוש בדשנים, בחומרי הדברה, במיכון ובזנים מהונדסים גנטית [13,34,42]. התפוקה החקלאית עלתה [1], אבל חלק מן החידושים גרמו לפגיעה בבריאות בני אדם, לזיהום מקורות מים, לעמידות של מזיקים לחומרי הדברה, ולירידת בטיחות של דברי מאכל [17,33]. ההחלטה אם להכניס טכנולוגיית ייצור חקלאית חדשה ובאילו אמצעים לנקוט בעת הכנסתה, כרוכה פעמים רבות בדילמת חדשנות. דילמות חדשנות עולות גם בסוגיות אחרות, כגון התערבות כדי לשמר מגוון ביולוגי, פיתוח עירוני באזור הצמוד לאזור טבעי, תכנון מערך לאומי של שמורות טבע ועוד. אימוץ של טכנולוגיות ייצור חקלאיות חדשות הקטין את הצורך בעבודה פיזית אבל הגדיל את השימוש בדשנים, בחומרי הדברה, במיכון ובזנים מהונדסים גנטית [13,34,42]. התפוקה החקלאית עלתה, אבל חלק מן החידושים גרמו לפגיעה בבריאות בני אדם, לזיהום מקורות מים, לעמידות של מזיקים לחומרי הדברה, ולירידת בטיחות של דברי מאכל [17,33]. ההחלטה אם להכניס טכנולוגיית ייצור חקלאית חדשה ובאילו אמצעים לנקוט בעת הכנסתה, כרוכה פעמים רבות בדילמת חדשנות. דילמות חדשנות עולות גם בסוגיות אחרות, כגון התערבות כדי לשמר מגוון ביולוגי, פיתוח עירוני באזור הצמוד לאזור טבעי, תכנון מערך לאומי של שמורות טבע ועוד.

סחר בין-לאומי במוצרים חקלאיים חדשים, כמו זנים מהונדסים, מוצרים אקזוטיים וכולי, יכול ליצור דילמות של חדשנות. סחר בין-לאומי עשוי להוריד מחירים ולהרחיב את מגוון הבחירות העומדות בפני צרכנים. עם זאת, סחר בין-לאומי עלול להעביר מזיקים פולשים ומחלות הפוגעות בבעלי חיים ובבני אדם. זוהי דילמת חדשנות.

גילוי זן פולש הוא תופעה שכיחה למדי. תכניות לבקרה או להכחדה של זנים כאלה מציבות דילמות חדשנות. מטרת תכניות אלה היא להגן על הייצור החקלאי ולמנוע נזק סביבתי. אך התוצאות הרצויות אינן ודאיות, היות שלעתים התכניות מצליחות פחות מהמצופה, ועלויות לגרום תופעות לוואי שליליות כגון פגיעה בבריאות הציבור או באיזון האקולוגי, והוצאות ציבוריות מיותרות. אחת החלטות הקשות שממשלות ניצבות בפניהן בהתייחסותן למינים זרים פולשים היא ההחלטה אם להתערב או לא להתערב. דוגמאות לתכניות שנויות במחלוקת בארה"ב הן הכחדה של מחלת נגע פרי הדר (citrus canker) במדינת פלורידה, ושל המינים פריזבוב ים תיכוני (*Ceratitis capitata*) ועש התפוח (*Epiphyas postvittana*, light brown apple moth) בקליפורניה [11,18,19].

הדוגמאות שהובאו מדגימות את דילמות החדשנות. בכלן קיימת דילמה: בחירת חלופה חדשה שעשויה להיות טובה יותר אבל כוללת יותר אי-ודאויות, או בחירת חלופה מוכרת יותר אבל אטרקטיבית פחות. התכונה הבולטת, המאפיינת את דילמת החדשנות, היא המחסור במידע חיוני או בהבנה של היבטים קריטיים של המצב. יתרה מכך, עקב היעדר מידע, אפילו התפלגויות ההסתברות של הגורמים שאינם ידועים – אינן ידועות.

בחלק הבא מוצגת סקירה קצרה של תורת פער-ידע, שהיא גישה לניהול אי-ודאות ועומדת בבסיס שיטת המחקר לניהול דילמות

החדשנות. לאחר מכן מוצגת הדוגמה של המין הפולש – עש התפוח בקליפורניה, שבעזרת דרכי הטיפול האפשריות בו מודגמת גישה זו.

תורת פער-ידע: גישה לניהול אי-ודאות

הכלכלן האמריקאי הנודע פרנק נייט (Knight) הבחין בין סיכון (risk), שהאירועים מתוארים בו על-ידי הסתברויות ידועות, לבין אי-ודאות אמיתית (true uncertainty), שההסתברויות בה אינן ידועות [27]. חוקרים רבים מתמקדים בסיכון, ורק מעטים חוקרים את אי-הודאות בעזרת טכניקות שונות. בהמשך נתמקד באי-ודאות אמיתית, שלפעמים מכנים אותה אי-ודאות עמוקה או חמורה.

תורת פער-ידע להחלטות [4] תומכת בקבלת החלטות שקיימת בהן אי-ודאות כפי שתיאר Knight. פער ידע הוא השוני בין מה שידוע לבין מה שצריך לדעת כדי לקבל החלטה אמינה. הכלי העיקרי התומך בהחלטה הוא פונקציית החסינות, המבוססת על שלושה רכיבים: מודל אי-ודאות, מודל המערכת שלגביה צריכים לקבל החלטה, ודרישות ביצוע. קיימות השוואות בין תורת פער-ידע לבין שיטות אחרות המפרטות את הייחוד של תורת פער-ידע [1].

מודל פער-ידע לאי-ודאות מייצג את אי-הודאות כאוסף לא חסום של קבוצות מקננות (nested sets). שיטה זו אינה הסתברותית, ובכך תואמת את תפיסתו של Knight. השיטה מתאימה למצבים שלא יודעים בהם עד כמה המצב יכול להיות חמור, ואילו דברים לא צפויים עלולים להתרחש. היא אינה מחייבת את זיהויו של המקרה החמור ביותר. ישנם מימושים רבים של מודלים לפער-ידע המותאמים לסוגים שונים של אי-ודאות [4].

מודל המערכת הוא שם כללי למידע, לתובנה, למשוואות וכדומה, המתארים את תכונות המערכת שבמסגרתה מקבלים החלטה. **דרישות הביצוע**, או דרישות לתוצאות, מגדירות את ההישגים שמקבל ההחלטה רוצה או חייב להשיג כדי שההחלטה תיחשב הצלחה, או לפחות לא תיחשב כישלון.

שלושת הגורמים – המודל לאי-ודאות, מודל המערכת ודרישת הביצוע – משולבים בפונקציית החסינות שתומכת בהחלטה. החלטה נחשבת חסונה אם היא תשיג את דרישת הביצוע למרות סטייה גדולה של המערכת האמיתית מההתנהגות הצפויה. השאיפה היא שההחלטה תהיה חסונה ככל האפשר. לכן, פונקציית החסינות קובעת את סדר העדיפויות של החלופות השונות.

תורת פער-ידע [4] יושמה לראשונה בהנדסה, עם יישומים לתחומים רבים כגון תכן מסבכים [26], אופטימיזציות מבנים [37] איתור תקלות [35] ניהול משאבי מים [25] וחישה אלחוטית [16] קיימים גם יישומים בתחומים רבים נוספים כגון מידול מערכות [8], חיזוי [5], מדיניות כלכלית [6], חקר התנהגות בעלי חיים [14], קביעת מדיניות שימור משאבי ים [21], שימור משאבים טבעיים [31], מדיניות שימור יערות [24], כלכלת אנרגיה [44], בידוק ביטחוני [29] או זנים פולשים [30] ואיתור מחלות אצל בעלי חיים [36].

נסכם את התכונות העיקריות של פונקציית החסינות של תורת פער-ידע, שהיא הכלי הבסיסי לקביעת סדר העדיפויות של החלופות הקיימות:

- **קיים שקלול תמורות (trade-off) בין חסינות לבין איכות התוצאה הנדרשת** [8,2] – השגת דרישות ביצוע גבוהות קשה יותר מהשגת דרישות צנועות יותר. לכן, השגת דרישות ביצוע גבוהות פגיעה ורגישה יותר להשפעה של תופעות בלתי צפויות. כמו כן, השגת דרישות גבוהות חסונה פחות למצבי אי-ודאות מאשר דרישות צנועות יותר.
- **חיזוי התוצאות לפי מודל המערכת איננו חסין בפני אי-ודאות** [3] – מודל המערכת אינו ודאי, ולכן חיזוי התוצאות לפיו אינו בהכרח אמין. אי לכך, אין זה אמין לבחור בחלופות לפי חיזוי מודל המערכת. יש להביא בחשבון את המגבלה הזו, ולקבוע את סדר העדיפויות לבחירה בחלופות לפי רמת חסינותן. כך ניתן להשיג את התוצאה הנדרשת ברמת אמינות גבוהה יותר.
- **סדר העדיפות של החלופות תלוי בדרישות הביצוע** – קביעת סדר העדיפויות לחלופות יכול להשתנות בהתאם לשינוי בדרישות. מצב כזה נקרא היפוך העדיפות. היפוך העדיפות מסביר התנהגות תמוהה כמו הפרדוקסים של Ellsberg ושל Allais לגבי קבלת החלטות אצל בני אדם [4], חידת פרמיית ההון בכלכלה [4] והתנהגות בעלי חיים המחפשים מזון [14]. היפוך העדיפות הוא מרכיב מרכזי בניהול דילמות החדשנות כפי שנראה בדוגמת עש התפוח בהמשך.
- **מודלים לאי-ודאות בתורת פער-ידע אינם הסתברותיים** – ניתן לבצע ניתוח חסינות לפי שיטת פער-ידע גם כאשר התפלגות ההסתברות אינה ידועה, ולכן תורת פער-ידע מתאימה למצבים של אי-ודאות חמורה.
- **שיטת פער-ידע שונה משיטת min-max ומשיטת ניתוח המקרה הגרוע ביותר** [5] – חישוב החסינות לפי שיטת פער-ידע לא מצריך את ידיעת המקרה הגרוע ביותר, בניגוד לשיטת min-max. בתנאים של אי-ודאות חמורה ידוע מעט מאוד אפילו על מקרים אופייניים, ולא ניתן לאפיין את המקרה הגרוע ביותר בצורה אמינה. שיטת פער-ידע כן מצריכה יכולת קביעת תוצאה קבילה (דרישת ביצוע), דבר שבדרך כלל ידוע בתהליך עיצוב

מדיניות ומהווה את המניע העיקרי להחלטה. לאור זאת יש לשיטת פער-ידע יתרון כפול: היא אינה מצריכה את מה שבדרך כלל אינו ידוע (המקרה הגרוע), והדבר שכן נדרש על-ידה – דרישת הביצוע – בדרך כלל ידוע למקבל ההחלטה.

החסינות של תורת פער-ידע שקולה, לעתים קרובות, להסתברות להשיג את דרישת הביצוע [8,4]. לעתים קרובות האופציה החסינה יותר היא גם בעלת הסיכוי הגבוה יותר לעמוד בדרישות. התוצאה המעשית של קביעת סדר עדיפויות לחלופות לפי חסינותן היא השגת ההסתברות הגבוהה ביותר לעמידה בדרישות, וזאת מבלי שיש צורך לדעת את התפלגות ההסתברות. תכונה זו מסבירה הישרדות בתחרות בתנאים של אי-ודאות בבילוגיה, [14] בכלכלה [4] ובתחומים נוספים [7].

הדגמת שיטת פער-ידע לניהול דילמת החדשנות באמצעות המקרה של עש התפוח [9]

המחלוקת בקשר לעש התפוח

עש התפוח הוא עש עלים נפוץ במדינות רבות בעולם, וגם בישראל. עש התפוח ניזון מיותר מ-250 סוגי צמחים, בהם עצים, פרות ויבולים חקלאיים אחרים. באוסטרליה הוא נשלט בעיקר על-ידי טורפים טבעיים [22]. עש התפוח הוא מזיק זר בניו זילנד, שם שולטים בו בעיקר באמצעות שחרור טורפים ושימוש בקוטלי חרקים ובפרומונים כדי להפסיק את התרבותו. הוא נמצא גם בקלדוניה החדשה, בהוואי ובאנגליה [41].

עש זה נראה לראשונה בארה"ב בשנת 2007 בברקלי שבקליפורניה, עם עדות לקיומו שם כנראה מ-2006. כדי למנוע נזק ליבולי קליפורניה והטלת איסורי מסחר מצד רשויות אחרות, הכינו פקידי מדינת קליפורניה ומשרד החקלאות הפדרלי בארה"ב (USDA) תכנית של חיסול והסגר, שכללה סקירות תיחום, פיזור מדבירי מזיקים (פרומונים) מהאוויר ופיתוח שיטות שליטה נוספות. הציפייה הייתה שהמזיק יחוסל עד שנת 2011, ואז ייושמו פעילויות בקרה ושליטה [38,39]. התכנית אפשרה לקנדה, למקסיקו ולמדינות אחרות בארה"ב לאפשר יבוא גידולים שעלולים לשאת את העש מאותם מחוזות בקליפורניה שהמזיק לא נמצא בהם. בשלהי 2007 הוערך שהפסדי היבולים יגיעו לכדי 2.6 מיליארד דולר אם לא ישתלטו על העש, ואם הוא יתפשט לאזורים חקלאיים נוספים בקליפורניה. בשנים 2007–2008 הקצה משרד החקלאות של ארה"ב 90 מיליון דולר בתקציב חירום לתכנית השליטה בעש התפוח.

באותו זמן לא הסכימו כמה חוקרי חרקים מאוניברסיטת קליפורניה עם ההערכה הרשמית. הם קבעו כי תפוצת העש על פני מאות קמ"ר מצביעה על כך שהוא היה קיים בקליפורניה במשך עשרות שנים, שאי אפשר לחסל אותו, ושהוא לא גורם נזק ליבולים [15,12]. סלידה ציבורית מפיזור אווירי של מדבירים באזורים שהתגוררו בהם תושבים אמידים, הובילה לעתירות רבות לשר החקלאות בדרישה שלא יגדיר את העש כמזיק שאפשר לפעול נגדו [23]. בהמשך לתביעות משפטיות פסק בית המשפט באביב 2008 שיש להשהות את תכנית הריסוס האווירי [40].

מאמצי החיסול המשיכו בפיזור חומרי הדברה קרקעיים (פרומונים וחומרי הדברה אורגניים) באזורים שנמצא בהם ריכוז גבוה של זחלים. נשקלו גם שימוש בבקרה ביולוגית ופיתוח מואץ של טכנולוגיה ליעוקר החרקים. בשנת 2009 הוערך כי העש נמצא ב-15 מחוזות בקליפורניה (מתוך 58), אבל חוסל במחוזות לוס אנג'לס וסן לואיס אוביספו.

בגלל העתירות וחילוקי הדעות, יצר משרד החקלאות האמריקאי קשר עם האקדמיה הלאומית למדעים (NAS) כדי להעריך את המצב. אנשי האקדמיה הגיעו למסקנה כי למשרד החקלאות יש סמכות לסווג את העש כמזיק שאפשר לפעול נגדו, אבל פקפקו בתהליך קבלת ההחלטות שהוביל לתכנית החיסול [32]. בתגובתו, העריך משרד החקלאות כי אם לא ישלטו בעש, הוא יגרום לאבדן ייצור שנתי של כ-700 מיליון עד 1.6 מיליארד דולר בכל ארה"ב, מהם כ-220 עד 500 מיליון דולר בקליפורניה [40]. מאוחר יותר קבעו הפקידים כי חיסול העש אינו ישים יותר כתוצאה מהמשך התפשטותו, אבל מעמדו כ"ניתן לטיפול" נשאר, ותכנית השליטה בו או ההכחדה שלו נמשכה. נכון לשנת 2011 הכניס משרד החקלאות האמריקאי 16 מחוזות בקליפורניה להסגר.

הפולמוס הקשור בתכנית חיסול העש מדגים את הקושי של מעצבי מדיניות כאשר הם נתקלים בדילמת חדשנות. מצד אחד, היו מומחים שטענו כי יש סיכוי לנזק חמור כתוצאה מהמזיק החדש, בעוד מומחים אחרים טענו כי הוא אינו מזיק ואפילו אינו זן פולש חדש. היו כאלה שטענו שהתערבות יכולה להציל מצב מסוכן, אבל אי-הוודאות העלתה את האפשרות שהתערבות תגרום יותר נזק מחוסר התערבות. היו אחרים שהמליצו על המשך השגרה, כלומר לא להתערב, כי אין כלל סכנה. דילמות כאלה נפוצות גם לגבי מזיקים פולשים אחרים, כגון תולעת שורשי התירס (*Diabrotica virgifera virgifera*) באירופה [43].



תושבים החוששים להיחשף ישירות לחומרי הדברה למיגור עש התפוח, מפגינים נגד הריסוסים מהאוויר. גשר שער הזהב, מאי © Kevin Krejci | 2008

יתוח חסינות לתכנית לחיסול עש התפוח

סביר כעת איך ניתן היה לנהל את מקרה פלישת עש התפוח באמצעות תורת פער-ידע.

השפעה הכלכלית של עש התפוח מלווה באי-ודאיות, ומומחים שונים מחזיקים בדעות שונות. **האופטימיסטים** טוענים כי הזן אינו מזיק ואין צורך בהתערבות. **האקטיביסטים** טוענים כי הזן אכן מזיק אבל אפשר לחסל אותו או לשלוט בו דרך פעולות שיעלו פחות מנזקי האבדן הפוטנציאלי. הפסימיסטים מסכימים שהזן מזיק אבל טוענים שלהתערבות לא תהיה השפעה מועילה. כל הטענות אינן ודאיות. **הפסימיסטים** טוענים כי האבדן השנתי יהיה 1.1 מיליארד דולר. האקטיביסטים טוענים כי תכנית שעולה 0.09 מיליארד דולר תגביל את האובדן השנתי ל-0.55 מיליארד דולר, והאופטימיסטים טוענים שבכל מקרה לא יהיה כל אבדן. כל המספרים מאופיינים באי-ודאות רבה, אך בטענה של האקטיביסטים יש יותר אי-ודאיות מאשר באחרות: היא כרוכה באפשרות של נזק נוסף, כך שסך הנזק עלול לעלות על החיזוי הפסימי.

בשלוש העמדות – האופטימית, האקטיביסטית והפסימיסטית – תומכים מומחים שונים, וקובע המדיניות חייב להחליט לפני שהוויכוח בין המומחים נפתר.

אימוץ עמדת האופטימיסטים יחסוך את עלות התכנית, אבל עלות זו פחותה מסך הנזק שמנבאים הפסימיסטים. לכן, אילולא היו שיקולים אחרים, מדיניות זהירה תהיה לאמץ את עמדת האקטיביסטים. החלטה זו קשה יותר, מכיוון שהאקטיביסטים מסכימים שהתערבות עלולה לגרום לאבדן כללי בלתי ידוע ובלתי ודאי מעבר לאבדן הישיר שמנבאים הפסימיסטים. למשל, תכנית החיסול עלולה לגרום סנקציות כלכליות או פגיעה בבריאות הציבור. במקרה זה, הבחירה הזהירה כביכול – התערבות – אינה כל כך זהירה בגלל האפשרות שתגרום נזק רב מעבר להערכת הפסימיסטים. לפי הפסימיסטים, התוצאה של חוסר התערבות היא חמורה, אבל ניתנת לניבוי. לפי האקטיביסטים, התוצאה של התערבות צפויה להיות טובה יותר, אבל היא הרבה פחות ודאית ואולי אפילו תהיה גרועה יותר מהחיזוי הפסימי.

הדילמה העומדת בפני קובע המדיניות היא זאת: אם, מצד אחד, האקטיביסטים צודקים, אזי חייבים לנקוט פעולה, והתוצאה תהיה טובה יותר מהחיזוי הפסימי. מצד שני, אם הפסימיסטים צודקים, אזי התערבות פעילה לא יכולה לעזור ואפילו עלולה להרע את המצב. במילים אחרות, אקטיביות יכולה להיות טובה יותר או גרועה יותר מפסימיות. יתרה מכך, אי-הוודאות חמורה

ובלתי מובנית: התפלגויות ההסתברות אינן ידועות, ולקובע המדיניות יש הבנה לקויה באשר להיבטים חשובים של הנושא. אי-ודאות כזה הוא פער-ידע: הפער בין מה שידוע ומה שצריך לדעת כדי לקבל החלטה מהימנה.

לבעיה זו נעשה ניתוח חסינות כמותית בתרחישים שונים^[9]. באחד התרחישים נמצא שהמלצת האקטיביסטים חסינה יותר בפני אי-ודאות מאשר המלצת הפסימיסטים, כל עוד דרישת הביצוע היא לאבדן שלא עולה על 1.3 מיליארד דולר. כלומר, התערבות עדיפה על אי-התערבות אם מקבלי החלטות מוכנים לספוג עלות עד סכום זה. לעומת זאת, המלצת הפסימיסטים (לא להתערב) חסינה יותר מהמלצת האקטיביסטים אם מקבלי החלטות מוכנים לספוג עלות שגבוהה מ-1.3 מיליארד דולר. אנו עדים כאן לתופעת החלפת ההעדפה שנידונה קודם. קביעת סדר עדיפויות לחלופות, לפי מידת חסינותן, תלוי בדרישת הביצוע. דרישות מחמירות (להפסד שלא עולה על 1.3 מיליארד דולר) יושגו בחסינות גבוהה יותר על-ידי התערבות, אבל דרישות מחמירות פחות (הפסד שיכול לעבור את הרף של 1.3 מיליארד) יושגו בחסינות גבוהה יותר אם לא מתערבים. החלפת ההעדפה היא תוצאה של אי-הוודאות הרבה, ואופיינית לדילמת החדשנות. חישובים כאלה מאפשרים למקבל החלטה לבחור את החלופה שמשיגה את דרישת הביצוע שלו בצורה החסינה ביותר.



גש התפוח (*Epiphyas postvittana*, light brown apple moth) | צילום: © David Short

סיכום

לעתים קרובות מציעים טכנולוגיות חדשניות בגלל השיפורים שהן מציגות כביכול בהשוואה לשיטות או לכלים קיימים. בדרך כלל חידושים הם אכן שיפורים. אולם מה שחדש הוא לרוב פחות ידוע ועבר פחות בדיקות מטכנולוגיה מוכרת. מגוון ההשלכות השליליות הבלתי צפויות של חלופה חדשנית יכול לעלות על מגוון ההשלכות השליליות הבלתי צפויות של חלופה קיימת ומוכרת. קובע המדיניות, שחייב לבחור בין חדשני לסטנדרטי, עומד בפני דילמת חדשנות.

בבסיס דילמת החדשנות מונחת אי-ודאות חמורה ובלתי מובנית. אי-הוודאות נובעת מאי-הכרה של מנגנונים, קשרי גומלין או נסיבות המקרה. קיימים מודלים ונתונים, אבל שימושיותם מוגבלת בגלל אי-הוודאות. תורת פער-ידע מתאימה במיוחד לתמיכה בשיפוט ובהחלטות במצבי אי-ודאות כאלה. היתרונות העיקריים של תורת פער-ידע לבחירת חלופה, כאשר עומדים בפני דילמת חדשנות, הם יכולתה לשלב בפונקציית החסינות את הדרישות לגבי התוצאות, וכן העובדה שהיא אינה מחייבת לדעת את התפלגות ההסתברות.

השתמשנו במקרה של עש התפוח כדי להדגים איך פונקציית החסינות תומכת בקבלת החלטות בדילמת חדשנות. קביעת סדר העדיפויות לבחירה בחלופות מבוסס על שלוש תכונות של פונקציית החסינות של תורת פער-ידע: (א) שקלול תמורות של חסינות כנגד תוצאה נדרשת; (ב) חיזוי תוצאות לפי מודל המערכת איננו חסין בפני אי-ודאות; (ג) סדר העדיפויות של החלופות

תלוי בדרישות הביצוע. הבחירה בין החלופות תתבצע באמצעות ניתוח של העובדות: מה ידוע, מה לא ודאי, ומה צריך להשיג. גישת פער-ידע מספקת מסגרת גמישה לקבלת החלטות לנוכח דילמות חדשנות.

המאמר קוצר ותורגם. פורסם לראשונה ב:

Ben-Haim Y, Osteen CD, and Moffitt LJ. 2013. Policy dilemma of innovation: An info-gap approach *Ecological Economics* **85**: 130–138.

מקורות

1. Ball VE, Bureau JC, Nehring R, and Somwaru A. 1997. Agricultural productivity revisited. *American Journal of Agricultural Economics* **79**: 1045–1063
2. Ben-Haim Y. 2000. Robust rationality and decisions under severe uncertainty. *Journal of the Franklin Institute* **337**: 171–199
3. Ben-Haim Y. 2005. Info-gap decision theory for engineering design. In: Nikolaides E, Ghiocel DM, and Singhal S (Eds). *Engineering design reliability handbook*. Boca Raton: CRC Press
4. Ben-Haim Y. 2006. *Info-gap decision theory: Decisions under severe uncertainty*, 2nd ed. London: Academic Press
5. Ben-Haim Y. 2009. Info-gap forecasting and the advantage of sub-optimal models. *European Journal of Operational Research* **197**: 203–213
6. Ben-Haim Y. 2010. *Info-gap economics: An operational introduction*. London: Palgrave-Macmillan
7. Ben-Haim Y. 2011. [When is non-probabilistic robustness a good probabilistic bet?](#) Working paper
8. Ben-Haim Y and Hemez F. 2012. Robustness, fidelity and prediction-looseness of models. *Proceedings of the Royal Society A* **468**: 227–244
9. Ben-Haim Y, Osteen CD, and Moffitt LJ. 2013. Policy dilemma of innovation: An info-gap approach. *Ecological Economics* **85**: 130–138
10. Burgman M. 2005. *Risks and decisions for conservation and environmental management*. Cambridge: Cambridge University Press
11. Carey JR. 1992. The Mediterranean fruit fly in California: Taking stock. *California Agriculture* **46**(1): 12–17
12. Carey JR, Zalom FG, and Hammock BD. 2008. Concerns with the eradication program against the Light Brown Apple Moth in California. Personal communication
13. Carlson GA and Castle EN. 1972. *Economics of pest control, pest control strategies for the future*. Washington (D.C.): National Academy of Sciences
14. Carmel Y and Ben-Haim Y. 2005. Info-gap robust-satisficing model of foraging

- .behavior: Do foragers optimize or satisfice? *American Naturalist* **166**: 633–641
- Chen I. 2010. From medfly to moth: Raising the buzz of dissent. *Science* **327**(5962): 134–136 .15
- Chinnappen-Rimer S and Hancke GP. 2011. Actor coordination using info-gap decision theory in wireless sensor and actor networks. *International Journal of Sensor Networks* **10**(4): 177–191 .16
- Fernandez-Cornejo J, Jans S, and Smith M. 1998. Issues in the economics of pesticide use in agriculture: A review of the empirical evidence. *Review of Agricultural Economics* **20**(2) 462–488 .17
- Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry. 2004. [Citrus Canker Response Program](#). Viewed 3 Jul 2011 .18
- Garvey KK. 2008. Plans to control Light Brown Apple Moth stir controversy. *California Agriculture* **62**(2): 55–56 .19
- Hall JW, Lempert RJ, Keller K, et al. 2012. Robust climate policies under uncertainty: A comparison of robust decision making and info-gap methods. *Risk Analysis* **32** (10): 1657–1672 .20
- Halpern BS, Regan HM, Possingham HP, and McCarthy MA. 2006. Accounting for uncertainty in marine reserve design. *Ecology Letters* **9**: 2–11 .21
- Harder D and Rosendale J. 2008. [Integrated Pest Management practices for the Light Brown Apple Moth in New Zealand: Implications for California](#). Viewed 24 Jul 2011 .22
- Harder D, Kimes K, Upton R, and Casper L. 2009. [Light Brown Apple Moth \(LBAM\) eradication program: Formal petition to reclassify LBAM as a non-quarantinable pest: Summary of findings](#). Viewed 3 Jul 2011 .23
- Hildebrandt P and Knoke T. 2009. Optimizing the shares of native tree species in forest plantations with biased financial parameters. *Ecological Economics* **68**(11): 2825–2833 .24
- Hine D and Hall JW. 2010. Information gap analysis of flood model uncertainties and regional frequency analysis. *Water Resources Research* **46**, .doi:10.1029/2008WR007620 .25
- Kanno Y and Takewaki I. 2006. Robustness analysis of trusses with separable load and structural uncertainties. *International Journal of Solids and Structures* **43**(9): 2646–2669 .26
- Knight FH. 1921. Risk, uncertainty, and profit. Boston and New York: Houghton Mifflin .27
- Knoke T. 2008. Mixed forests and finance – Methodological approaches. *Ecological Economics* **65**(3): 590–601 .28
- Moffitt LJ, Stranlund JK, and Field BC. 2005. Inspections to avert terrorism: Robustness under severe uncertainty. *Journal of Homeland Security and Emergency Management* **2**: Article 3 .29

- Moffitt LJ, Stranlund JK, Field BC, and Osteen CD. 2007. Robust inspection for .30
invasive species with a limited budget. In: Lansink AO (Ed). *New approaches in the*
economics of plant health. New York: Springer
- Moilanen A and Wintle BA. 2006. Uncertainty analysis favours selection of spatially .31
.aggregated reserve structures. *Biological Conservation* **129**: 427–434
- National Academy of Sciences. 2009. Board on agriculture and natural resources, .32
review of the U.S. Department of Agriculture's Animal and Plant Health Inspection
Service response to petitions to reclassify Light Brown Apple Moth as an actionable
.pest
- Osteen C and Padgitt M. 2003. Economic issues of U.S. agricultural pesticide use. In: .33
Plimmer JR, Gammon D, and Ragsdale NN (Eds). *Encyclopedia of agrochemicals*.
.New York: John Wiley and Sons
- Osteen C and Szmedra P. 1989. Agricultural pesticide use trends and policy issues, .34
Resource and Technology Division, Economic Research Service, Agricultural
.Economics Report No. 622
- Pierce SG, Worden K, and Manson G. 2006. A novel information-gap technique to .35
assess reliability of neural network-based damage detection. *Journal of Sound and*
Vibration **293**(1–2): 96–111
- Souza-Monteiro DM, Carrasco LR, Moffitt LJ, and Cook AJC. 2012. Robust .36
surveillance of animal diseases: An application to the detection of bluetongue
.disease. *Preventive Veterinary Medicine* **105**: 17–24
- Tang Y, Chen J, and Wei J. 2012. A sequential algorithm for reliability-based robust .37
design optimization under epistemic uncertainty. *ASME Journal of Mechanical*
Design **134**(014502): 1–10
- United States Department of Agriculture. 2008. USDA budget explanatory notes for .38
.the committee on agriculture for FY 2009, FY 2010, and FY 2011
- United States Department of Agriculture. 2011. [Importation of plants for](#) .39
[planting](#). Viewed 2 Jul 2011
- United States Department of Agriculture. Animal and Plant Health Inspection Service, .40
2010. [APHIS draft response to petitions for the reclassification of Light Brown Apple](#)
[Moth \[Epiphyas postvittana \(Walker\)\] as a non-quarantine pest](#), revision January 14,
.2010. Viewed 2 Jul 2011
- United States Department of Agriculture. 2011. [Light Brown Apple Moth](#). Viewed 2 Jul .41
.2011
- Weibe K and Gollehon N (Eds). 2006. [Agricultural resources and economic indicators](#). .42
Economic Research Service, USDA, Washington (D.C.), Economic Information Bulletin
.No. (EIB-16), July 2006
- Wesseler J Fall EH. 2010. Potential damage costs of *Diabrotica virgifera* .43
virgifera infestation in Europe – The 'no control scenario'. *Journal of Applied*

Entomology **134**: 385–394

Zare K, Moghaddam MP, and El Eslami MKS, 2010. Demand bidding construction for a .44
large consumer through a hybrid IGDT-probability methodology. *Energy* **35**: 2999–
.3007