



## תעשייה וחדשנות

# חרקים בשרות האדם רקע והמלצות לפעולה לעיר עפולה כמוקד לקידום התחום

ד"ר גלעד פורטונה  
עידן ליבס  
שירי פרוינד קורן



תשתיות  
פיזיות

בריאות

הון  
אנושי

השכלה  
גבוהה

חברה

חינוך

כלכלה

מדע  
וטכנולוגיה

סביבה  
ואנרגיה

תכנון  
ארוך טווח

אוקטובר  
2016

## אודות מוסד שמואל נאמן

מוסד שמואל נאמן הוקם בטכניון בשנת 1978 ביוזמת מר שמואל (סם) נאמן והוא פועל להטמעת חזונו לקידומה המדעי-טכנולוגי, כלכלי וחברתי של מדינת ישראל.

מוסד שמואל נאמן הוא מכון מחקר המתמקד בהתווית מדיניות לאומית בנושאי מדע וטכנולוגיה, תעשייה, חינוך והשכלה גבוהה, תשתיות פיסיות, סביבה ואנרגיה ובנושאים נוספים בעלי חשיבות לחוסנה הלאומי של ישראל בהם המוסד תורם תרומה ייחודית. במוסד מבוצעים מחקרי מדיניות וסקירות, שמסקנותיהם והמלצותיהם משמשים את מקבלי החלטות במשק על רבדיו השונים. מחקרי המדיניות נעשים בידי צוותים נבחרים מהאקדמיה, מהטכניון ומוסדות אחרים ומהתעשייה. לצוותים נבחרים האנשים המתאימים, בעלי כישורים והישגים מוכרים במקצועם. במקרים רבים העבודה נעשית תוך שיתוף פעולה עם משרדים ממשלתיים ובמקרים אחרים היוזמה באה ממוסד שמואל נאמן וללא שיתוף ישיר של משרד ממשלתי. בנושאי התוויית מדיניות לאומית שעניינה מדע, טכנולוגיה והשכלה גבוהה נחשב מוסד שמואל נאמן כמוסד למחקרי מדיניות המוביל בישראל.

עד כה ביצע מוסד שמואל נאמן מאות מחקרי מדיניות וסקירות המשמשים מקבלי החלטות ואנשי מקצוע במשק ובממשל. סקירת הפרויקטים השונים שבוצעו במוסד מוצגת באתר האינטרנט של המוסד. בנוסף מוסד שמואל נאמן מסייע בפרויקטים לאומיים דוגמת המאגדים של משרד התמ"ס - מגני"ט בתחומים: ננוטכנולוגיות, תקשורת, אופטיקה, רפואה, כימיה, אנרגיה, איכות סביבה ופרויקטים אחרים בעלי חשיבות חברתית לאומית. מוסד שמואל נאמן מארגן גם ימי עיון מקיפים בתחומי העניין אותם הוא מוביל.

יו"ר מוסד שמואל נאמן הוא פרופ' **זאב תדמור** וכמנכ"ל מכהן פרופ' **עמרי רנד**.



כתובת המוסד :

מוסד שמואל נאמן, קרית הטכניון, חיפה 32000

טלפון : 04-8292329, פקס : 04-8231889

כתובת דוא"ל : [info@neaman.org.il](mailto:info@neaman.org.il)

כתובת אתר האינטרנט : [www.neaman.org.il](http://www.neaman.org.il)

# חרקים בשרות האדם

## רקע והמלצות לפעולה לעיר עפולה כמוקד לקידום התחום

ד"ר גלעד פורטונה, עידן ליבס, שירי פרוינד קורן

- אוקטובר 2016 -

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך  
ציטוט של קטעים קצרים במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור.  
הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחבר/ים ואינן משקפות בהכרח את  
דעת מוסד שמואל נאמן.

# תוכן עניינים

1	תקציר מנהלים
5	הקדמה
6	סקירה עולמית
7	חרקים בחקלאות ולבריאות הציבור
10	חרקים כמקור מזון והזנה
12	מערכות וחומרים מבוססי חרקים
15	סקירת התחום בישראל
15	אקדמיה
20	תעשייה ויזמות
25	מיפוי האקו-סיסטם בישראל
25	הפוטנציאל לישראל
26	המלצות למדיניות לאומית
27	תוכנית פעולה
27	מיקוד תחומי הפעילות
28	חלופות אפשריות
30	עפולה כמרכז מחקרי-יזמי בתחום החרקים
31	תוכנית העבודה המוצעת
33	פעילויות משיקות
34	הערכה תקציבית
35	מדדים להצלחה
36	מקורות
37	נספח I - רשימת מרואיינים
38	נספח II - מוקדי מחקר ותעשייה בעולם



## תקציר מנהלים

לחרקים חשיבות מהותית במערכת האקולוגית בכדור הארץ וקיומם קריטי להישרדות האדם. החרקים ממלאים מגוון תפקידים בשרות האדם, כאשר מלוא הפוטנציאל של השימוש בנתיב זה, נמצא בשלבי מחקר שונים. באופן כללי, ניתן להעריך כי שוק יישומי החרקים לשירות האדם נמצא במגמת עלייה בעולם, וטומן בחובו פוטנציאל לצמיחה משמעותית בשנים הקרובות. לפי הערכות שונות, ישנן כ-150-300 חברות העוסקות בתחומי החרקים, חלקן הגדול סטארט-אפים אשר נפתחו בשנתיים האחרונות, רובם בארה"ב ובאירופה. עם זאת, התחומים השונים מתאפיינים ברמת בשלות ואופק התפתחות משתנים, בהתאם למאפיינים הייחודיים של הטכנולוגיות ושווקי המטרה אליהם הם פונים. במסגרת עבודה זו סווגו ההיבטים השונים של חרקים בשימוש האדם לכדי שלושה תחומים ראשיים:

### 1. חרקים בחקלאות ולבריאות הציבור

### 2. חרקים כמקור מזון והזנה

### 3. מערכות וחומרים מבוססי חרקים

תחום החרקים בחקלאות ולבריאות הציבור נחלק למספר תתי-תחומים, הכוללים האבקה, הדברה, מיצוי חומרים לרפואה וטיפול בפסולת. בעוד שמסתמן כי בהכללה תחומי ההאבקה והדברה נמצאים במצב יציב (steady state) באופן יחסי, עם כ-10 חברות מובילות עולמיות בתחומים אלו, יתר תתי-התחומים (כמו גם גישות חדשניות יותר בהדברה) נמצאים בשלבים מתקדמים של מחקר על סף פריצה מסחרית; שוק הפסולת הפריקה ביולוגית לבדו מוערך רמה העולמית בכ-750 מיליארד דולר בשנה.

תחום החרקים כמקור מזון והזנה הינו אחד התחומים המבטיחים ביותר ביישומי חרקים לשירות האדם, והוא מושך בתקופה האחרונה עניין גלובלי גובר והולך, כאשר רוב השחקנים הם מתחום המזון ולא בהכרח מגיעים דווקא מתחום החרקים לחקלאות. עפ"י מספר תחזיות, שוק החרקים למאכל עשוי להגיע לחצי ועד אחד וחצי מיליארד דולר תוך

5 עד 8 שנים; שוק הזנת בע"ח העולמי נאמד בכ-460 מיליארד דולר, כך שגם שוק זה מגלם פוטנציאל משמעותי ביותר. למרות זאת, יש לציין כי אעפ"י שחקים למאכל לכשעצמם אינם תופעה חדשה, עצם גידולם כענף חקלאי למזון צפוי לרגולציה בהיבט של בטיחות מזון – רגולציה שברובה עדיין בתחילת דרכה ולא ניתן עדיין להעריך באופן מלא את השפעותיה הפוטנציאליות על קצב גידול תחום זה.

יישומים של מערכות וחומרים מבוססי חרקים אינם תחום מובחן באופיו, וכמעט תמיד משתייכים לתחומי מדע רחבים בהרבה – כגון רובוטיקה, אלקטרוניקה, תוכנה, ביוכימיה והנדסת חומרים – בהם הם מהווים פתרון אחד מיני רבים לאתגרים שבכל אסכולה מדעית. בהתאמה, יישומים אלו פונים לטווח רחב של שווקי מטרה – מתעשייה וטקסטיל, ועד תחבורה ומערכות צבאיות – כך שקשה לאמוד היום את מלוא פוטנציאל השוק. יתרה מכך, ברובם של היישומים מדובר על פיתוחים הנמצאים בשלבי מחקר ואינם נמצאים בשימוש בהיקף מסחרי וחלקם הצבאי עדיין חסוי בחלקו הגדול.

בישראל, העיסוק בחרקים לשירות האדם מפוזר על פני מספר מוקדים קטנים באקדמיה, בתעשייה ובעולם היזמות. באקדמיה, ניכר כי בשטח מתקיימים מספר שיתופי פעולה בין האוניברסיטאות ומוסדות המחקר השונים, עם כי מנגד נראה שאלו בעיקר על בסיס אזורי ואין קשר שוטף בין המוסדות הצפוניים לבין אלו שבמרכז ובדרום הארץ. ניתן ליחס זאת לתחומי הידע הרחבים בהם נוגע התחום, אך גם לחסרונם של כנסים מדעיים ומקצועיים ברמה גבוהה המרכזים את העוסקים בתחום זה. מצד התעשייה, רובה ככולה של הפעילות המסחרית הינה בתחומי ההדברה וההאבקה, דהיינו יישומים מסורתיים יותר בתחום החקלאות אשר מתבצעים ע"י שחקנים מבוססים. חברות אלו הינן בשלות, ונראה כי הן פועלות להרחבת פעילותן – הן לשווקים גיאוגרפיים נוספים והן לתחומי פעילות חדשים – סביב השקעה במחקר ופיתוח. בתחום היזמי, ישנם ניצנים ראשונים של חברות הזנק המתמקדות ביישומים חדשניים בתחומי המזון וההזנה, וניכר כי קיימים עניין ומודעות לנושא מצדם של גורמי הון סיכון, שהינם סימנים חיוביים לתחילתה של היווצרות אקו-סיסטם מלא בתחום זה בישראל.



## מיפוי האקו-סיסטם בישראל

<b>מערכות</b> <b>מערכות, חומרים</b>	<b>מזון</b> <b>מזון לאדם, הזנה לבע"ח</b>	<b>חקלאות</b> <b>האבקה, הדברה, ברה"צ</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• טכניון</li> <li>• אוני' תל אביב</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• העברית, הפק' לחקלאות</li> <li>• טכניון</li> <li>• מכללת תל-חי</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• העברית, הפק' לחקלאות</li> <li>• אוני' חיפה, קמפוס אורנים</li> <li>• מכללת ספיר</li> </ul>	<b>אקדמיה</b>
-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• מיג"ל</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• מיג"ל</li> <li>• מו"פ צפון</li> <li>• וולקני</li> </ul>	<b>מחקר</b>
-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bio-bee</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bio-bee</li> <li>• יד מרדכי</li> </ul>	<b>תעשיה</b>
-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hargol Foodtech (Trendline)</li> <li>• Flying Spark (The Kitchen)</li> </ul>	-	<b>יזמות</b>

היישומים השונים של חרקים בשירות האדם מהווים דוגמא טובה לקו המקשר בין מספר מוקדים של יתרונות יחסים שיש לישראל, בכך שהם דורשים אינטגרציה וסינרגיה בין ידע שבמקור נועד לשרת את תחום החקלאות, לדוגמא, ובין ידע בתחומי הכימיה והרפואה; היכולת ליצור חיבור שכזה היא נקודת חוזקה מאפיינת של ישראל, וביכולתה להיות "game-changer" עולמי בתחומים בהם תמומש. במטרה לממש בישראל את הפוטנציאל העסקי והמדעי הגלום בפיתוח תחום החרקים בשירות האדם, ישנם תחומי פעילות בהם מומלץ להתמקד בטווח הקצר והבינוני. מהסקירה הבינלאומית שנערכה ומהראיונות שקוימו עם אנשי מפתח בתחום, ניכר כי **תחומי החקלאות והמזון הם בעלי הפוטנציאל הגדול ביותר בטווחי הזמן המידי עד הבינוני**. ראוי לציין שתחום המזון בישראל צפוי להיות מאד מוגבל מסחרית בגלל מגבלת כשרות של מירב סוגי המזון מחרקים.

במסגרת בניית תוכנית הפעולה, נבחנו מספר חלופות אפשריות להקמתו של מרכז לקידום פעילות חרקים בשירות האדם. עפולה, בהיותה מרכז עירוני המוקף בחקלאות, מתאימה להיות בסיס למרכז פעילות בנושא חרקים בשירות האדם, ואף הביעה נכונות ורצון לקדם נושא זה במסגרת המשך פיתוח פעילות מרכז היזמות שהקימה לאחרונה. עפולה היא עיר המתפתחת בשנים האחרונות בקצב מואץ, ובה מספר נכסים מקומיים ואזוריים שהמרכז יכול למנף לטובת פעילותו.

מן הסקירה העולמית עולה כי העיסוק במחקר ופיתוח של היבטים שונים של חרקים בשירות האדם נמצא במגמת עליה – ובתחומים מסוימים אף על סף פריצה – וזאת על רקע הפוטנציאל האדיר של החרקים כפלטפורמה ליצירת פתרונות למגוון של אתגרים בפניהם ניצבת האנושות כיום ובעשורים הבאים. לפיכך, ברורים חשיבותו של נושא זה לטווח ארוך והצורך בביסוס מדיניות לקידומו.

ברמה הלאומית, בחינת הזווית הישראלית מעלה כי העיסוק בחרקים לשירות האדם נמצא במומנטום חיובי ומציג סממנים – גם אם ראשוניים – של תמהיל בריא של מחקר, פיתוח ותעשייה. אף כי ישנו צורך לעבור תקופת פריצת הדרך שעשויה לארוך מספר שנים, ישראל ממוצבת היטב לבניית יכולות מובילות בתחום זה ברמה העולמית, הן במישור האקדמי והן במישור העסקי.

לאור מסקנות אלו, אלו הן המלצותינו למדיניות לאומית לישראל:

- 1. יש לתת משקל ותשומת לב מערכתית בישראל לקידום פעילות בנושא חרקים בשירות האדם.**
- 2. יש לפעול לכינון מרכז לאומי-עולמי בישראל לקידום מחקר ויזמות בנושא חרקים בשירות האדם.**

בהמשך להמלצות המדיניות, לתכנית הפעולה המוצעת ולנכונות ולעניין של העיר עפולה בקידום הנושא, האסטרטגיה המומלצת לעפולה הינה הקמתו של מרכז ידע שיוכל להתפתח בהמשך למרכז יזמות, תחת החזון **מרכז יזמות ותעשייה המשלב את הידע המדעי והעסקי בישראל בתחום חרקים בשירות האדם.**

## הקדמה

בארבע מאות מיליון שנות אבולוציה, התפתחו החרקים להיות המחלקה בעלת המספר הרב ביותר של מינים בטבע. רבים ממיני החרקים עדיין לא התגלו, אך הסברה הנהוגה היא כי קיימים בין שישה לעשרה מיליון מינים שונים, ובכך מהווים למעלה מ-90% מכלל צורות החיים על פני כדור הארץ. מתוך מיליון המינים המוכרים של חרקים, רק כחמשת אלפים עלולים להיות מזיקים לבני האדם, למשק החי וליבולים (FAO, 2013).

לחרקים חשיבות מהותית במערכת האקולוגית בכדור הארץ וקיומם קריטי להישרדות האדם. הם ניחנים בשלד חיצוני המגן עליהם מהסביבה, בעלי דם קר, מתרבים במהירות, בעלי עמידות לתנאי עודף- ותת-לחץ כמו גם קרינה (Delong, 1960). החרקים ממלאים תפקידים מרכזיים בטבע כגון בתהליך התרבות הצמחייה – כולל יבולים למאכל – כאשר רוב מוחלט של 98% מהמינים המאביקים (Pollinators) נמנים על מחלקת החרקים (Buchmann, 1996 & Ingram, Nabhan). החרקים ממלאים תפקיד חיוני בתהליכי ריקבון של פסולת – הם ניזונים מחלקים מתים של הצמחייה, מפרקים מולקולות אורגניות לרמה בה הן יכולות להתפרק על ידי פטריות וחיידקים ובכך מסייעים להחזרת מינרלים ונוטריינטים לאדמה, ומשם למחזור הזנת הצמחים. חרקים מסייעים גם בפירוק פגרי חיות וכן בפירוקם של גללי בעלי החיים, באופן המאפשר את החזרת החנקן, הפחמן והמינרלים שונים אל הקרקע כחומר הזנה לצמחים.

החרקים ממלאים מגוון תפקידים בשרות האדם, כאשר מלוא הפוטנציאל של השימוש בנתיב זה, נמצא בשלבי מחקר שונים. במסגרת עבודה זו סווגו ההיבטים השונים של חרקים בשימוש האדם לכדי שלושה תחומים ראשיים:

- 1. חרקים בחקלאות ולבריאות הציבור**
- 2. חרקים כמקור מזון והזנה**
- 3. מערכות וחומרים מבוססי חרקים**

## סקירה עולמית

השימושים הוותיקים ומזהים ביותר בחרקים לצרכי האדם הם לייצור דבש למאכל ולייצור משי. מוצרים נוספים שמקורם חרקים כוללים צבעי מאכל ובדים, רזלין (חלבון בעל תכונות אלסטיות) המשמש ברפואה לשיקום כלי דם פגועים, שעוות דבורים ועוד. שימושים אחרים בתחומי ההנדסה מחקים פתרונות מהטבע (תחום המכונה biomimicry) למגוון של יישומים, לדוגמה חיקוי של המבנה של תלי טרמיטים בתכנון מבנים לשם ייעול בקרת טמפרטורה בתכנונם של מבנים. גידול יעיל וכלכלי של חרקים (Insect Agriculture) הינו תחום חשוב ומעניין הן מבחינה מדעית והן מבחינה מסחרית לשם התפתחות הענף. על תהליכי הגידול לטייב את כמות ואיכות התוצר תוך התייחסות לגורמים כמו איכות ותמחור התזונה, טמפרטורה, סירקולציית האוויר, תאורה ותנאי גידול נוספים, ולפיכך עצם גידול החרקים מגלם פוטנציאל לפיתוחים וחדשנות.

באופן כללי, ניתן להעריך כי שוק יישומי החרקים לשירות האדם נמצא במגמת עלייה בעולם, וטומן בחובו פוטנציאל לצמיחה משמעותית בשנים הקרובות. לפי הערכות שונות, ישנן כ-150-300 חברות העוסקות בתחומי החרקים, חלקן הגדול סטארט-אפים אשר נפתחו בשנתיים האחרונות, רובם בארה"ב ובאירופה. עם זאת, התחומים השונים מתאפיינים ברמת בשלות ואופק התפתחות משתנים, בהתאם למאפיינים הייחודיים של הטכנולוגיות ושווקי המטרה אליהם הם פונים.

תחום החרקים בחקלאות ולבריאות הציבור נחלק למספר תתי-תחומים, הכוללים האבקה, הדברה, מיצוי חומרים לרפואה וטיפול בפסולת. בעוד שמסתמן כי בהכללה תחומי ההאבקה והדברה נמצאים במצב יציב (steady state) באופן יחסי, עם כ-10 חברות מובילות עולמיות בתחומים אלו, יתר תתי-התחומים (כמו גם גישות חדשניות יותר בהדברה) נמצאות בשלבים מתקדמים של מחקר על סף פריצה מסחרית; תחום הפסולת הפריקה ביולוגית לבדו מוערך רמה העולמית בכ-750 מיליארד דולר בשנה.

תחום החרקים כמקור מזון והזנה הינו אחד התחומים המבטיחים ביותר ביישומי חרקים לשירות האדם, והוא מושך בתקופה האחרונה עניין גלובלי גובר והולך, כאשר רוב השחקנים הם מתחום המזון ולא בהכרח מגיעים דווקא מתחום החרקים לחקלאות. עפ"י מספר תחזיות, שוק החרקים למאכל עשוי להגיע לחצי ועד אחד וחצי מיליארד דולר תוך 5 עד 8 שנים; שוק הזנת בע"ח העולמי נאמד בכ-460 מיליארד דולר, כך שגם שוק זה מגלם פוטנציאל משמעותי ביותר. למרות זאת, יש לציין כי אעפ"י שחרקים למאכל לכשעצמם אינם תופעה חדשה, עצם גידולם כענף חקלאי למזון צפוי לרגולציה בהיבט של בטיחות מזון – רגולציה שברובה עדיין בתחילת דרכה ולא ניתן עדיין להעריך באופן מלא את השפעותיה הפוטנציאליות על תחום זה.

יישומים של מערכות וחומרים מבוססי חרקים אינם תחום מובחן באופיו, וכמעט תמיד משתייכים לתחומי מדע רחבים בהרבה – כגון רובוטיקה, אלקטרוניקה, תוכנה, ביוכימיה והנדסת חומרים – בהם הם מהווים פתרון אחד מיני רבים לאתגרים שבכל אסכולה מדעית. בהתאמה, יישומים אלו פונים לטווח רחב של שווקי מטרה – מתעשייה וטקסטיל, ועד תחבורה ומערכות צבאיות – כך שקשה לאמוד את פוטנציאל השוק. יתרה מכך, ברובם של היישומים מדובר על פיתוחים הנמצאים בשלבי מחקר ואינם נמצאים בשימוש בהיקף מסחרי וחלקם הצבאי עדיין חסוי בחלקו הגדול.

## **חרקים בחקלאות ולבריאות הציבור**

### **האבקה**

מבין השירותים השונים שנותנים החרקים לאדם, אחד החשובים ביותר הינו בתחום התרבות הצמחים. מתוך כ-100,000 מינים מאביקים, 98% הינם חרקים ולמעלה מ-90% מכ-250,000 צמחים אשר פורחים תלויים במאביקים לשם התרבות, בהם כשלושת-רבעי מתוך 100 הזנים השונים המהווים את רובם של הגידולים החקלאיים למזון (Ingram, Nabhan & Buchmann, 1996).

דבורים מתורבתות אחראיות על האבקה של כ-15% מהגידולים החקלאיים, אך נבחן גם תירבות של מינים אחרים של חרקים למטרות האבקה. גידול מסחרי של דבורים

להאבקת יכולים הינו תחום עסקי עם נוכחות גלובלית המורכב משחקנים גדולים (החברות המובילות את התחום הן [Koppert](#) ו-[Bio best](#)), המפתחים ומשווקים דבורי דבש ודבורי בומבוס (הנקראות גם bumblebees) כחלק מערכת של שירותי האבקה.

בשנים האחרונות אוכלוסיית הדבורים באזורים רבים בעולם נמצאת במשבר, בין היתר על רקע של פגיעה בהן שמקורה ניאוניקוטינואידים - קבוצת חומרי הדברה שפועלת על מערכת העצבים המרכזית של חרקים וגורמת לשיתוק ומוות. משבר זה מאיים לפגוע ישירות בגידולים חקלאיים הנסמכים על שירותי ההאבקה של הדבורים, כמו גם בייצור הדבש, ומהווה תמריץ לפיתוח נוסף של תחום ההאבקה מחד, ולהרחבת השימוש בהדברה ביולוגית כתחליף לזו הכימית מנגד.

## **הדברה**

החרק יכול להיות מגורמי הנזק בצמח אך גם חלק מהפתרון, כאשר הנזק שגורם החרק מתחלק לנזק ישיר (תזונת החרק) ולנזק עקיף (גורמי מחלות כגון חיידקים, וירוסים ומחלות) המועברים על ידי החרק.

עמידותם ההולכת ומתפתחת של חרקים בפני חומרי הדברה, השינויים בסביבת בצומח, כולל חשיפה למזיקים ומחלות חדשות, התהדקות הרגולציה בנושא פיתוח ושימוש בחומרים חריפים ושארתיים והעובדה ששילוב אמצעים ומנגנוני פעולה שונים יעיל יותר לאורך זמן מעלים את הצורך בשימוש באסטרטגיות הדברה מתקדמות. זוגמא לאסטרטגיה בה נעשה שימוש העולה בהתמדה הינה Integrated Pest – IPM Management - שיטה ברת קיימא המתמקדת במניעה ארוכת טווח של הצורך בהדברה ובהקטנת נזקי ההדברה, על ידי שילוב אמצעים כגון בקרה ביולוגית, מניפולציה סביבתית, שינוי והתאמת שיטות פעולה ושילוב גורמי מניעה שונים. אמצעי נוסף ב-IPM להגנה על הצומח הוא השימוש בחרקים. הדברה ביולוגית באמצעות חרקים נעשית באמצעות גורמי מחלה, טורפים או טפילים המפוזרים באמצעות פיזורי זריעה ואקלום או בהצפה.

השימוש בחרקים כגורם מסייע בהקטנת אוכלוסיות חרקים מזיקים, הוא מגמה שהולכת ומתחזקת משנה לשנה. הדברה מסוג זה נעשית במגוון שיטות, הכוללות מניפולציות

בפרומונים (תחום הנחשב לבשל מסחרית בעולם), שימוש בחרקים מעוקרים (SIT) ואף בחרקים מהונדסים גנטית. תחום ה-SIT, שהינו פחות בשל, נמצא גם הוא בצמיחה וצובר תאוצה על רקע התפשטות מגיפה הזיקה הנישאת ע"י יתושים; לתחום זה פוטנציאל רב, בדגש על השוק האירופאי.

פיתוחים נוספים עושים שימוש בחרקים כווקטורים נושאי תכונות מרפא או לחילופין נטרול וקטור נושא מחלות בחרק תוקף. חייזקים הנמצאים ביחסי גומלין עם חרקים (סמביונטיים), יכולים לשמש כבסיס לפיתוח שיטות חדשניות להפחתת נזקים באמצעות פגיעה בפונדקאי או ביכולתו לשמש כווקטור למחלות צמחים וכן כמקור לחייזקים מועילים.

ככלל, ניכר כי המגמות שצוינו מצביעות על פוטנציאל לא מבוטל להגברת השימוש להדברה ביולוגית כאמצעי משמעותי מסך אמצעי ההדברה הננקטים.

## **בריאות הציבור**

ענף משנה נוסף בחקלאות הינו השימוש בחרקים בהקשר של בריאות הציבור (ברה"צ). כבר כיום, חרקים משמשים לייצור מוצרי רפואה (תחום הנקרא "Entomotherapy"), לדוגמה בהפקת פרופוליס – חומר אנטי-בקטריאלי, אנטי-פטרייתי ואנטי וויראלי טבעי – המופק על ידי דבורים, שימוש בארס חרקים לטיפול בדלקות, שימוש ברזילין (Resilin) – חלבון המאפשר לחרקים לקפוץ – לשם תיקון עורקים פגועים (Elvin, 2005) ועוד.

חרקים משמשים לתועלת ברה"צ גם ביכולותיהם בתחום הטיפול בפסולת אורגנית. תפקידם של החרקים בטיפול בפסולת קשות ומזוהמות רלוונטי מאוד לנושא ברה"צ וכולל, למשל, טיפול מקומי בפרש בני אדם כתחליף למערכות ביוב וסניטציה בחלל. בתחום הטיפול בפסולת חקלאיות, הפתרונות הנפוצים כיום לטיפול כוללים קומפוסטציה ועיכול אנאירובי. רף הדרישות של הרשויות הסביבתיות הולך ומאמיר, דבר המגדיל את ההשקעה הנדרשת ליישום שיטות אלה. במקומות רבים הפסולת מוטמנת, נשרפת או מפורזת אל מחוץ לשטחי הגידול, תוך גרימת מפגעים סביבתיים – זיהום אוויר, קרקע, קינון מזיקים וכיו"ב (אוסטרובסקי, 2011) – או מובלת לאתרי ריכוז מרוחקים.

כאלטרנטיבה, נבדקים כיום פתרונות העושים שימוש בחרקים לטיפול בפסולת אורגנית (ביומסה) כמקור הזנה לחרקים בשלב הלווילי, תהליך שתוצריו הפחתה משמעותית בנפח הפסולת והמרתה לדשן, הפחתה באוכלוסיית חיידיקים פתוגנים לאדם וחרקים היכולים להוות מוצר מזון עשיר בחלבונים להזנת בע"ח. (Diener, 2009) (Lock, 2014) (Yu, 2011)

## חרקים כמקור מזון והזנה

חרקים אכילים הינם מקור מזון בעל ערכים תזונתיים גבוהים, הן בעבור האדם והן כמזון לבקר, עוף ודגים. על-פי הערכות, לפחות 2 מיליארד איש צורכים חרקים כמזון באופן סדיר, חלקם הניכר בעולם המתפתח. בחלקים נרחבים באפריקה, אסיה ודרום-אמריקה אכילת חרקים הינה חלק מהתזונה הסדירה ואף נחשבת למעדן, ולא על רקע של מחסור בזמינותם של בשר בקר, עוף, דגים וכיו"ב. עם זאת, בתרבות המערבית אכילת חרקים לרוב נחשבת כטאבו.

אחת העבודות המשמעותיות ביותר בתחום החרקים כמזון בשנים האחרונות נערכה ע"י ארגון המזון והחקלאות של האו"ם (Food and Agriculture, FAO) בשיתוף עם המעבדה לאנטומולוגיה<sup>1</sup> שבאוניברסיטת וואכנינגן ההולנדית, שהינה מובילה עולמית בתחום זה. הדוח שפורסם מתווה את השימוש בחרקים כפתרון מרכזי למשבר המזון העולמי (FAO, 2013). מגמת גידול האוכלוסייה והעלייה ברמת החיים מחד, ומגבלות הקרקע החקלאית והמים מנגד, בצד שינויי אקלים, צפויים רק להעצים ביתר שאת את החסר התזונתי בו נמצאים כבר כיום כמיליארד איש ואת הצורך במציאת מקורות מזון בני-קיימא.

## מזון לאדם

למעלה מ-1,900 מינים של חרקים נמצאו כאכילים, ביניהם מינים ממשפחות החיפושיות, זחלים, דבורים, צרעות, נמלים, חרגולים, ארבה, צרצרים, ציקדות, טרמיטים, זבובים ועוד. לאכילת חרקים נודעים יתרונות בריאותיים, סביבתיים וחברתיים. חרקים הינם תחליף

---

<sup>1</sup> <http://www.wageningenur.nl/en/Expertise-Services/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology.htm>



מזין למזון מן החי (עוף, בקר ואפילו דגי ים) והינם עשירים בחלבונים, שומנים ומינרלים. מההיבט הסביבתי, גידול חרקים מאופיין ברמה נמוכה בהרבה של פליטות גזי חממה ביחס לגידול בקר לדוגמא, ואינו תובעני כמוהו מבחינת צריכת קרקע ומשאבים אחרים (הן ישירות לגידול החרקים עצמם והן לגידול המזון להאכלתם); להאכלתם ניתן לעשות שימוש בפסולת אורגנית, והם יעילים במיוחד בצריכת מזון. לגידול חקלאי של חרקים כענף משק (המכונה גם "minilivestock") חסמי כניסה נמוכים לאור ההשקעה הנמוכה הנדרשת, וככזה הוא יכול לספק תעסוקה הן במרחב העירוני והן בכפרי; למרות שמסורתית זוהי חקלאות "low-tech", קיים פוטנציאל רב לשכלול והכנסת שיטות חדשניות ומתקדמות לענף זה.

### **ערכים תזונתיים בחרקים**

רוב החרקים האכילים ניחנים בערכים תזונתיים טובים לאדם, הכוללים רמות גבוהות של חלבונים, חומצות אמינו ושומנים, כמו גם מינרלים וויטמינים:

- ✱ **חלבון** – ריכוז החלבון בחרקים גבוה באופן יחסי (בטווח רחב של 13%-77% על בסיס יבש, בהתאם לסוג החרק), ולכן יכול לשמש מקור תזונתי טוב לחלבון מן החי
- ✱ **חומצות אמינו** – מינים מסוימים של חרקים מתאפיינים בתכולה ניכרת של חומצות אמינו
- ✱ **שומן** – חרקים הינם מקור משמעותי לשומנים, בעיקר חד-רוויים, כמו גם אומגה 3 ואומגה 6 – במיוחד במדינות בהם ישנה גישה מוגבלת לדגים ומזון מן הים
- ✱ **מינרלים** – חרקים למאכל הינם מקור עשיר לברזל ואבץ (ברובם ישנו ברזל בכמות שווה או עדיפה ביחס לבקר), כמו גם נחושת, מגנזיום, מנגן, זרחן, סלניום ועיתים גם חומצה פולית
- ✱ **ויטמינים** – בעוד שרוב החרקים מכילים ויטמינים החיוניים לתהליכים במערכת העיכול ולחיזוק המערכת החיסונית, ברובם ויטמין B12 קיים בריכוז נמוך מאוד, ולפיכך נדרש מחקר נוסף על מנת לזהות חרקים אכילים שהינם עשירים יותר בוויטמינים מסוג B
- ✱ **סיבים תזונתיים** – קיימים בריכוז גבוה בחרקים

מחקר אשר השווה את הערכים התזונתיים של בקר עם אלו של תולעי קמח (Finke, 2002), מצא כי בעוד שבתולעי הקמח רמות דומות של נחושת, נתרן, אשלגן, ברזל, אבץ וסלניום לאלו שבבקר, הן מכילות פחות שומן ויותר ויטמינים – למעט ויטמין B12.

מקור: (FAO, 2013)

## הזנת בעלי-חיים

על פי הערכות, עד שנת 2050 ייצור הבשר מן המקורות השונים צפוי להכפיל את עצמו (IFIF, 2012). המזון לגידול בע"ח אלו, המורכב בעצמו לרוב מרכיבי בשר, דגים וסויה, לא רק שמהווה כ-60%-70% מעלויות הגידול, אלא גם נמצא במגמת עליית מחירים על רקע ביקושים גוברים וזמינות מוגבלת. מזון דגים (fishmeal), לדוגמא, נמצא במגמה מתמשכת של עליית מחירים וחוסר יציבות, בין היתר לאור לחץ של דייג-יתר ושינויי אקלים המשפיעים על תפוקות הדגה ממנה הוא מורכב. סביבת המחירים והביקושים הגדלים מהווים הזדמנות לשימוש בחלבון שמקורו בחרקים כתחליף מזון בר-קיימא להזנה. חרקים משמשים מקור מזון בטבע למספר רב של בע"ח, ומתאימים במיוחד לעופות ודגים. לבד מהערכים התזונתיים, לכיטין שבחרקים ישנה השפעה חיובית על המערכת החיסונית של העופות ושילובם בתזונה ביכולתו להפחית את הצורך באנטיביוטיקה. מגוון רב של חרקים נמצאו כמתאימים להזנה, ואף נמצאים בשימוש באופן חלקי במקומות שונים בעולם. ניסיונות שונים שנעשו להחלפת שיעור מסוים מהמזון בחרקים להזנת עופות ודגים הראו תוצאות טובות, המשתוות ואף עולות על ביצועי המזון הרגיל.

## מערכות וחומרים מבוססי חרקים

### מערכות

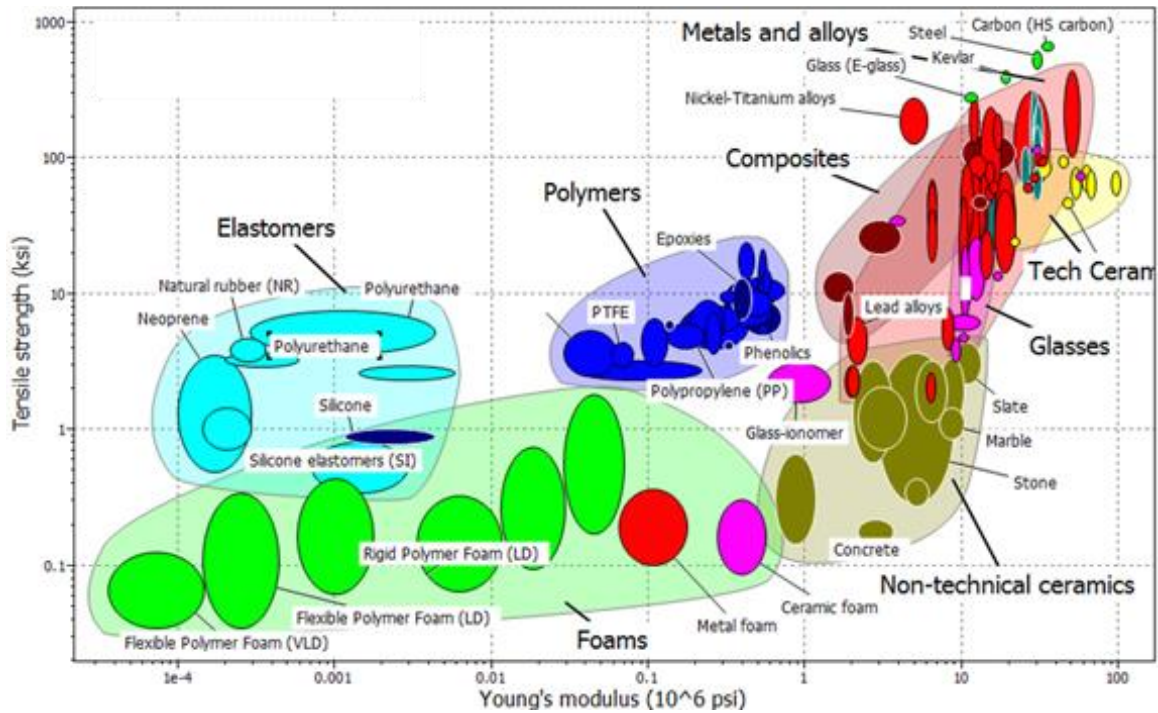
התחום הכולל טכנולוגיות מבוססות חרקים (Insect inspired technology) וטכנולוגיות משולבות חרקים (Cyborg insects) הוא רחב ומכיל מגוון גדול של תתי תחומים של מחקר ותעשייה. החל ממחקרים העושים שימוש בממשק בין מוח, מערכת עצבים או מערכות גוף אחרות של חרק לאלמנטים טכנולוגיים שונים לשם איסוף מידע על פעילות החרק או ניסיון להניע אותו לבצע פעולות שונות, פיתוח טכנולוגיות המבוססות על מידע שנרכש מצפיה במכניקה של חרקים שונים ועד פתרונות מתמטיים ואלגוריתמיים בהשראת פעילות מערכת העצבים של החרק. תת-תחום נוסף המשתייך למסגרת מגמה רחבה יותר של מחקר המנסה לקשור בין ריח ורובוטיקה, הינו בחינת מנגנוני קבלת החלטות על סמך חוש הריח.

יישומים אפשריים כוללים פיתוח מערכות תעופה למטרות צבאיות, חילוץ והצלה או חקלאות (האבקה למשל), שכלול בקרת תעופה, פיתוח גלאי תנועה ואלגוריתמים הקשורים לנהיגה אוטונומית או לטיסה אוטונומית, ועוד.

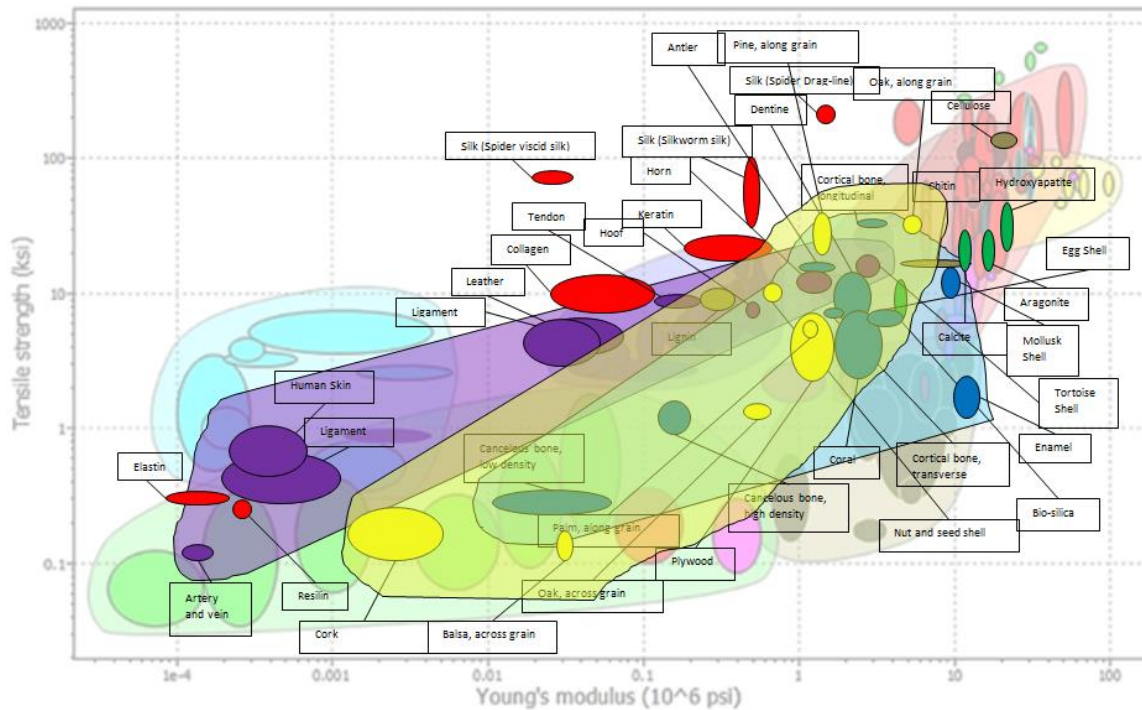
## **חומרים**

בשונה מחומרים מהונדסים, אשר ליצירתם נדרשים אנרגיה רבה, חום, לחץ ושימוש בכימיקלים, רוב החומרים ביולוגים נוצרים מטבעם בתנאי טמפרטורה ולחץ רגילים, ובמקרים רבים בסביבה מימית. כאשר משווים בין תכונות החומר של חומרים מהונדסים לחומרים ביולוגים, ניכר כי במקרים רבים משתווים – ואף מתעלים – החומרים הביולוגים לאלו המהונדסים, אעפ"י כי אלו הראשונים אינם עוברים תהליכים אינטנסיביים ליצירתם (ראה תרשים בעמוד הבא). תחום החומרים מחרקים עדיין נמצא בשלבי מחקר בסיסיים ונראה כי אינו בשל למסחור. אף על פי כן, בטווחי הזמן הרחוקים ביותר ניתן להעריך כי עם התפתחותם של תהליכים תעשייתיים ליצירת חומרים ביולוגיים, כמו גם פיתוח היכולת לחקות תכונות של חומרים אלו, תחום זה עשוי להפוך לבעל משמעות רבה במגוון רחב של יישומים ומגזרי תעשייה.

## תרשים תכונות חומרים מהונדסים



## תרשים תכונות חומרים ביולוגים (על רקע חומרים מהונדסים)



מקור: P. Karnstedt, <https://insectsdiditfirst.com/2015/09/10/the-insect-cuticle-5->

[/mild-synthesis-conditions](#)

## סקירת התחום בישראל

העיסוק בחרקים לשירות האדם בישראל מפוזר על פני מספר מוקדים קטנים באקדמיה, בתעשייה ובעולם היזמות.

באקדמיה, ניכר כי בשטח מתקיימים מספר שיתופי פעולה בין האוניברסיטאות ומוסדות המחקר השונים, עם כי מנגד נראה שאלו בעיקר על בסיס אזורי ואין קשר שוטף בין המוסדות הצפוניים לבין אלו שבמרכז ובדרום הארץ. ניתן ליחס זאת לתחומי הידע הרחבים בהם נוגע התחום, אך גם לחסרונם של כנסים מדעיים ומקצועיים ברמה גבוהה המרכזים את העוסקים בתחום זה. כלומר, ישנה פרגמנטציה במחקר וקשר בין החוקרים – גם כאשר קיים – ברובו אינו חזק ומתמשך, למעט דוגמאות בודדות.

מצד התעשייה, רובה ככולה של הפעילות המסחרית הינה בתחומי ההדברה וההאבקה, דהיינו יישומים מסורתיים יותר בתחום החקלאות אשר מתבצעים ע"י שחקנים מבוססים. חברות אלו הינן בשלות, ונראה כי פועלות להרחבת פעילותן – הן לשווקים גיאוגרפיים נוספים והן לתחומי פעילות חדשים – סביב השקעה במחקר ופיתוח.

בתחום היזמי, ישנם ניצנים ראשונים של חברות הזנק המתמקדות ביישומים חדשניים בתחומי המזון וההזנה, וניכר כי קיימים עניין ומודעות לנושא מצדם של גורמי הון סיכון, שהינם סימנים חיוביים לתחילתה של היווצרות אקו-סיסטם מלא בתחום זה בישראל.

### אקדמיה

מוקדי המחקר העיקריים שזוהו ונסקרו בישראל, נמצאים במכללת תל חי (כולל מיג"ל ומו"פ צפון), הפקולטה לחקלאות ברחובות (האוניברסיטה העברית), הטכניון, אוניברסיטת תל אביב, אוניברסיטת חיפה (קמפוס אורנים) וכמובן מכון וולקני הייעודי לתחום החקלאות כולל שלוחת נווה יער.

## חקלאות

ד"ר יעל חפץ, מהפקולטה לחקלאות ברחובות, חוקרת בתחום ההדברה הירוקה במטרה לטייב את שיטות ה-SIT (sterile insect technique) באמצעות יצירת חרקים טרנסגנים יעילים כך שתפחית את תדירות וכמות הפיזור. המחקר נערך על זבוב הפירות הים תיכוני ויהיה גנרי, בהמשך גם לזנים אחרים. בנוסף, מתבצע בפקולטה מחקר התחלתי בשיתוף חברת Hargol Foodtech בנושא ייעול גידול חרקים ומקסום הפקת החלבון מהם בשיטות גנטיות.

**במכון וולקני**, פרופ' אלי הררי, חוקרת שימוש בשיבוש תקשורת בין זכר לנקבה באמצעות פרומונים במטרה להקטין אפשרויות הזדווגות ומכאן – התרבות מזיקים. חוקרים נוספים במכון עוסקים במחקר בתחום ההדברה הירוקה, באמצעים הכוללים שימוש בשיטות גנטיות, חיידקים סימביוטים, חסמים פיזיקליים, פטריות, אנדוסימביונטים, אויבים טבעיים ועוד. בתחום חסמים פיזיים, מפותחות במסגרת פעילויות במכון וולקני מלכודות חרקים אוטומטיות, הכוללות מערכות צילום המאפשרות ספירת החרקים במלכודת על פיה ניתן לתת הנחיות לפעולות הדברה מתאימות; פיתוחים נוספים הנמצאים בשלב מתקדם הינם רשתות וכיסויים לצמחיה בצבעים ותכונות רפלקציה הזוחים מזיקים.

ד"ר עינת צחורי-פיין, ממרכז מחקר נווה יער של מכון וולקני (מינהל המחקר החקלאי), מתמקדת במחקרה בקשר שבין חיידקים סימביונטים לחרקים המארחים אותם, כבסיס ידע לפתרונות להפחתת נזקים בחקלאות. אפשר לחלק את הנזקים שחרקים גורמים, כאמור, לישירים (תזונת החרק) ולעקיפים (חיידקים, וירוסים ופטריות), כאשר ניתן לעשות שימוש בחיידקים הנמצאים ביחסי גומלין קרובים עם החרקים להפחתת נזקים. דוגמא אחת לכך מישראל הינה ציקדה אשר מעבירה מחלה לגפנים, וממנה בודד חיידק שעשוי לשמש כמדביר ביולוגי. נכון להיום לא ידוע על יישומים מסחריים בתחום זה בישראל, אם כי קיים פרויקט מו"פ בהשקעת קרן מסחרית וכן שיתוף פעולה של המרכז עם גורמים בתעשייה בניתוח המיקרוביום של חרקים בהם נעשה שימוש מסחרי, לזיהוי חיידקים מועילים ופתוגנים. ד"ר אריק פלבסקי, חוקר נוסף במרכז, עוסק באקריות טורפות המשמשות להדברה ביולוגית במערכות שונות (מטעים, לולים, דבורים וקרקע).

פרופ' תמר קיסר, ראש החוג לביולוגיה וסביבה באוניברסיטת חיפה - **קמפוס אורנים**, עוסקת גם היא בתחום ההדברה הביולוגית, כמו גם בתחום ההאבקה. כארבעה עשר חוקרים עוסקים במסגרת החוג במחקרים שקשורים לתחום החרקים בשרות האדם – כאשר עבודת המחקר מתבצעת ברמה האקולוגית, כמו גם ברמת המיקרו – תאים ומאקרו-מולקולות. לדוגמא: מחקר בנושא האבקה מבוצע על דבורי בר, מחקרים נוספים נעשים בתחום ההדברה הביולוגית - באמצעות צרעות טפיליות, לימוד נושא החרקים כווקטורים למחלות ועוד.

### **אתגרים במחקר בתחום החקלאות:**

- ✿ ישנם פערי ידע (כגון, בתחום ה- gene expressions) כמו גם צורך בפלטפורמה לשיתופי ידע
- ✿ קיים מחסור בתשתיות, כולל לגידול חרקים (כלובי אקלים)
- ✿ קיים מחסור במימון למחקרים
- ✿ שיטות ה-SIT הן יקרות ליישום ונשענות על תמיכה ממשלתית
- ✿ לפתרונות האבקה ביולוגית ישנה היתכנות רק במקרה של כשל בפתרון הנוכחי שהינו דבורים
- ✿ יש קונפליקט בין התעשייה לאקדמיה על רקע של שמירה על הידע (IP), היות וקשה או לא ניתן להגן בפטנט על פיתוח של צורות חיים. יתרה מכך, עבודה עם גופי המחקר מחייבת התקשרות דרך יחידות היישום שלהם (TTO)
- ✿ קיימת אי וודאות רגולטורית וחסימים פוטנציאליים בנוגע למניעת זליגה בנושא טרנסגנטיקה

### **מזון**

**בטכניון** בפקולטה להנדסת מזון וביו-טכנולוגיה, נערכים מחקרים בנושא חרקים למזון והזנה. במעבדתו של פרופ' אבי שפיגלמן מתבצע מחקר על עיבוד החלבונים למאכל שמקורם בחרקים ועל איכותם ומאפייניהם. במעבדתו של פרופ' אורי לזמס מתבצע מחקר על מגוון חרקים אכילים שמתייחס לניתוח ההרכב התזונתי של קמחי חרקים, לשינויים החלים בהם במהלך בישול ואפייה ולזמינות הביולוגית של חלבוני החרקים באדם.

במעבדת המחקר של **המכללה האקדמית תל-חי** נערך מחקר בנושא חרקים למזון והזנה, בשיתוף ד"ר אופיר בנימין, ד"ר איציק מרטינז וד"ר עדי יונס – **מתל חי וממיג"ל**.

המחקר נערך על דבורי דבש<sup>2</sup>, חגבים וזבוב החייל השחור (Black soldier fly, BSF). ד"ר מרטינז מתמחה בגידול החרקים, ד"ר בנימין באנליזה סנסורית (חישה) מתקדמת ופונקציונליות של התוצרים, בין היתר באמצעות ציוד מעבדה מתקדם כגון "לשון" אלקטרונית ייחודית, ומתקן פיילוט מזון חדיש. ד"ר יונס חוקרת את הנושא מכיוון ביוטכנולוגיה-ביוכימיה של מזון. פרופ' דורון לביא חוקר את ההיבטים הכלכליים – ניתוח מחזור החיים (LCA). ד"ר ליאורה שתיאל-הרפז חוקרת בשיתוף הצוות **במו"פ צפון** את נושא הטיפול בפסולת חקלאית באמצעות BSF והעברת החרקים כחומר להזנת עופות בהמשך, כאשר שאריות הפסולת, הופכים לקומפוסט, במטרה ליצור מערכת אקולוגית שלמה.

#### **אתגרים במחקר בתחום המזון:**

- ✿ ישנם פערי ידע לכל אורך השרשרת – "farm-to-fork"
- ✿ יש צורך בפיתוח תהליכי גידול יעילים, הגייניים וכלכליים
- ✿ אפיון והתאמת תזונת החרקים לערכים התזונתיים וזמינותם בתוצר הסופי
- ✿ פיתוח שיטות הפקה יעילות וכלכליות
- ✿ יצירת יישומי מזון פונקציונליים ורכיבים לתעשיית המזון, כגון קמחים, מסמיכים, שמנים וכו'
- ✿ בחינת מידת התחרות בין גידול חקלאי ל-Food לבין גידול חקלאי ל-Feed

#### **מערכות**

בתחום המערכות, רובו של המחקר עוסק בניתוח, שליטה וחיקוי של מנגנוני התנועה של החרקים<sup>3</sup>. במחלקה לזואולוגיה באוניברסיטת תל אביב במעבדתו של פרופ' גל ריבק, נערכים מחקרים בביו-מכניקה השוואתית. בין היתר נחקרות תופעות הקשורות למבנה ומכניקה של חרקים שונים, בהקשר של מכניקה אווירודינמית למשל.

<sup>2</sup> לגידול דבורים למטרת מאכל ישנם מספר יתרונות – ראשית, התדמית הציבורית של דבורים בקרב העולם המערבי טובה יותר וקלה יותר ל"עיכול"; שנית תהליך הגידול מוכר, צפוי ומתבצע מזה מאות שנים; ניתן לראות את השימוש בדבורים לחלבון כמוצר משלים למוצרים המסורתיים בענף; כמו כן, פיתוח זה משתלב עם מגמת גידול הדבורים בתוך המרחב העירוני שצוברת תאוצה ועם הצורך לתמוך באוכלוסיית הדבורים הנמצאת במשבר ע"י גידול חקלאי שלהן מעבר להיקפים הנוכחיים.

<sup>3</sup> התחום מכונה גם "Motion detection in insect orientation and navigation".



במחקר משותף שערך פרופ' ריבק עם פרופ' דני וייס **בטכניון**, בוצעו מניפולציות במערכות התעופה והנווט של חגבים. המטרה הסופית עשויה להיות יצירת חרק רובוטי ("Cyborg insect") או שליטה בחרקים למטרות שונות כגון האבקה, פעילות מודיעינית וכו'. מחקר נוסף שנערך במעבדתו של פרופ' וויס שואב השראה מכנפי חרקים קטנים ומבנה אבקני סביון לבניית מיקרו גלאים נישאי אוויר. עוד מחקר התמקד בבניית גלאים המונחתים מהאוויר שביכולתם להתהפך למנח הנדרש, תוכננה באמצעות מנגנון המחה מנגנון דומה המצוי בחיפושית ה-Click-beetle. מנגנון נוסף לבקרת מנח תעופה/נחיתה נחקר בכנימות. כמו כן, נערכים מחקרים בעולם המתייחסים לשיטות הסוואה (Cloaking) בהשראת מנגנונים בהם עושים החרקים השימוש.

#### **אתגרים במחקר בתחום המערכות:**

- ✿ התאמת מקור אנרגיה למגבלות גודל ומשקל המיקרו-רובוט
- ✿ מזעור אלמנטים מכניים במיקרו-רובוט כגון חיישנים, מערכות חישוב, רכיבי תקשורת ופעלנים (actuators)
- ✿ טווחי הזמן הארוכים לפיתוח ויישום
- ✿ תקופת ההכשרה הארוכה של החוקרים, הנובעת מהיותו של התחום מולטי-דיסציפלינרי - בתחום יש גם ביולוגים וגם מהנדסים
- ✿ האתגר באספקה היעילה של החרק הנחקר, פעמים רבות באמצעות מחקר נפרד ויישום תהליך גידולו במעבדה (רוב החרקים למחקר מגודלים על ידי החוקר עצמו)
- ✿ אתגרים רגולטוריים הקשורים בנושאי מניפולציות גנטיות של חרקים
- ✿ באופן כללי, רובטיקה היא תחום בעייתי יישומים הקשורים בחרקים – המסחריות מוגבלת וקשה למצוא שוק אמיתי.
- ✿ יש מחסור ידע בנושא האווירודינמיקה של חרקים

## תעשייה ויזמות

מספר החברות הפעילות באופן מסחרי בתחום החרקים בשרות האדם בישראל הינו מצומצם ונחלק לתעשייה ותיקה ובה שני שחקנים דומיננטיים ולתעשיית ינוקא הכוללת מספר מיזמים חדשניים בשלבי בשלות ראשוניים.



### BioBee

BioBee הינה חברה ישראלית וותיקה ומבוססת בתחומי ייצור חרקים להאבקה והדברה ביולוגית, שבימים אלה מתרחבת לתחומים נוספים. BioBee נוסדה ב-1983 על ידי קיבוץ שדה אליהו, ופועלת תחת שת"פ צמוד עם חברת [Koppert Biological Systems](#) ההולנדית, שהינה מהמובילות בעולם בפיתוח ושיווק של פתרונות ביולוגים למגזר החקלאי.

החברה פעילה, דרך חברות בנות באחזקה מלאה או חלקית וצורות אחרות של שת"פ, במדינות צ'ילה, קולומביה, רוסיה, הודו ודרום אפריקה; בשל המאפיינים הייחודיים של כל שוק יעד הן מההיבט החקלאי, הן בהיבטים הסביבתיים והן מבחינת הרגולציה המקומית, ניתן להעריך כי קודמת לכניסה לכל שוק מטרה עבודה הכנה ופיתוח לא מבוטלת – מעבר לפיתוח עסקים רגיל.

כ-280 איש מועסקים ע"י ביו-בי, כ-220 מתוכם בישראל, כולל מחלקת מו"פ של כ-25 חוקרים וצוות.

כ-70% מפעילות החברה הינו ייצוא לחו"ל, עם שווקים ב-32 מדינות כיום. העיקור מתבצע באמצעות קרינה, במסגרת פעילות אנרגיה אטומית לצרכי שלום.

לחברה מספר תחומי פעילות מרכזיים:

☛ **הדברה ביולוגית** – הפחתת הצורך בריסוס ותחליפים לכימיקלים להגנת הצומח

באמצעות הדברה ביולוגית ע"י פרוקי רגלים, ובכך לאפשר לחקלאי לעמוד

בסטנדרטים בריאותיים של שאריות חומרי הדברה בתוצרת החקלאית; כמו כן,

הדברה ביולוגית משרתת את תחום החקלאות האורגנית. ככלל, חרקים ופרוקי

רגליים מהווים נתח שוק של כ-10%-5 מתוך שוק ההדברה הביולוגית העולמי של \$2B, המהווה בעצמו חלק קטן יחסית מתוך סך שוק ההדברה המוערך ב-50-60 מיליארד דולר בשנה. עיקר הפעילות מושתת על ייצור זבוב הפירות הים-תיכוני, אשר עובר תהליך של עיקור הזכרים ע"י קרינה, למטרת הדברה תחת הקונספט של Sterile insect technique (SIT). כמו כן, מחזיקה החברה בפתרונות נוספים לשווקים ייעודיים כגון עכביש טורף המיועד להפחתת מזיקים בגידול וורדים בקולומביה. משך הזמן הנדרש למחקר ופיתוח של מוצר הדברה ביולוגית חדש הינו 3 שנים.

✿ **האבקה** – האבקה ע"י דבורי בומבוס, המתאימות בעיקר למזג אוויר קר ולחממות. המודל העסקי נחלק לאספקת שירותי האבקה (pollination services) על בסיס שטח הגידול, ולמכירה של כוורות מוכנות להאבקה. הידע הטכנולוגי הוא בעיקר בגידול הדבורים באופן המוני, בדגש על גידול המלכות ושימורן לאורך שרשרת ההפצה. אי אפשר לייצא את דבורי הבומבוס למדינה בהן הן אינם מין המופיע באופן טבעי; לפעמים המגבלה היא אפילו ביחס להמצאות הזן הספציפי לאותו האזור. הנושא של המין יחסי הגומלין שלו עם המינים המקומיים הוא סוגיה מהותית ביכולת לייצא, לאור מגבלות רגולטוריות. כמו כן, הפתרון הטכנולוגי עובר התאמה בעבור כל תת-מין.

✿ **פעילות resale - ביו-תי"מ ("תכשירים ירוקים משתלבים")**: שיווק והפצה של מוצרי מדף שהינם משלימים למוצרי החברה, לדוגמא bio-pesticides, שמנים, חומרי הדברה על בסיס צמחי, פרומונים, חומרים מיקרוביאליים וכו'.

✿ **חרקים למזון (Food) והאבסה (Feed)**: ייצור זבוב כפרוטאין לדגים (נמצא כרגע בשלב פיילוט). הזבוב מסוג black soldier fly (BSF) יכול לשמש גם לטיפול בפסולת אורגנית, בשל יכולתו לצמצם נפח של פסולת אורגנית פי 10 בתוך שבועיים; ניתן לשלב את עיכול הפסולת האורגנית כחלק מגידול הזבוב למטרת מזון, אם הפסולת נוצרת כחלק מתהליך ייצור מזון מבוקר. על פי ההערכות הקיימות, בשיטה זו ניתן להפוך 100 ק"ג של פסולת אורגנית פריקה ל-10 ק"ג של דשן ועוד 10 ק"ג של "קמח" BSF.



### שירותי-האבקה יד-מרדכי

שירותי-האבקה יד-מרדכי (1995) בקיבוץ יד-מרדכי, נוסדה בשנת 1992 (חברה עצמאית משנת 1995) והיא מתמחה בגידול המוני של מושבות דבורי בומבוס-האדמה, אספקת שירותי האבקה ופתרונות האבקה מתקדמים למגוון גידולים חקלאיים. בנוסף, החברה מייצרת חרקים מועילים להדברה ביולוגית של מזיקי גידולי חממה. "שירותי האבקה יד-מרדכי" פועלת בשת"פ עם [Bio best](#) - חברה בלגית שהינה מהמובילות בתחומי ההאבקה וההדברה הביולוגית, הראשונה שהחלה לספק דבורי בומבוס באופן מסחרי. לחברה שני תחומי פעילות עיקריים:

✿ **שירותי האבקה** - כשליש מהגידולים החקלאיים בעולם תלויים בהאבקה על-ידי חרקים, בעיקר דבורים, לייצור יכולי ירקות ופירות כמזון לאדם. חברת "שירותי האבקה יד-מרדכי" מתמחה במתן פתרונות האבקה לגידולים שונים, כולל גידולים ייחודיים כייצור זרעי-מכלוא ועוד.

✿ **הדברה ירוקה** - החברה מייצרת אויבים טבעיים למספר מזיקים ומתמחה ביישומם. שימוש באויבים טבעיים להדברת המזיקים לגידולי תרבות שונים, בדרך כלל גידולים חקלאיים, משתלב במגמה העולמית לצמצום שימוש בתכשירי-הדברה ואספקת תוצרת חופשיה מרעלים.

**FLYING SPARK**  
The Future of Food

[Flying Spark](#)

Flying Spark היא חברה צעירה העוסקת בהפקת חלבונים מרימות זבוב הפירות הים תיכוני העשירות מאוד בחלבונים המכילים מגוון רב של חומצות אמינו חשובות. חלבון זה שלישי באיכותו אחרי חלבון ביצה וחלבון ממקור מי גבינה (Whey protein). לטענת

החברה, ללרבות הזבובים יתרונות רבים גם אל מול חלופות אחרות של חרקים למאכל, וביניהן יחס חלבון לשומן גבוה יותר, מדרך אקולוגי (ecological footprint) מינימלי, מחזור גידול קצר ביותר ועמידות לתנאי קיצון; לפיכך, סוג זה של חרק זה מתאים במיוחד לגידול בהיקפים מסחריים משמעותיים. המוצרים הסופיים שמתכננת להפיק החברה הינם אבקות ("קמח") בדרגות עיבוד שונות, לרעה מיובשת ושמן.



חברת Flying Spark פועלת במסגרת חממת [The Kitchen](#) – חממת מדען ראשי המנוהלת ע"י קבוצת שטראוס ועוסקת בתחום המזון.



### **Hargol FoodTech (לשעבר Steak TzarTzar)**

חברת Hargol Foodtech עוסקת בפיתוח שיטות מתקדמות לגידול חגבים באופן מסחרי, ועיבודם לכדי מוצרים סופיים ובהם חגב שלם, אבקה ("קמח") ותוספי מזון. בחגבים יש כ-70% פרוטאין לעומת 20%-25% בדגים, ויחס המרת המזון בגידולם עומד על כ-1.7-2 ק"ג מזון ל-1 ק"ג תוצר אכיל.

החגבים, הנאכלים כיום לרוב כשהם שלמים במדינות שונות במזרח אסיה ובאפריקה, לרוב נאספים בטבע ולרוב אין גידול חקלאי בהיקף משמעותי, מלבד ניסיונות לא מקצועיים בגידולם. זאת, בשל הקושי בגידול הנובע מרגישותם ופוטנציאל יצירת זיהום במזון, בשל טכנולוגיות גידול לא יעילות וללא הסניטציה הנדרשת לגידול מזון לבני-אדם. Hargol FoodTech מתמקדת כרגע בפיתוח תהליכי הגידול, בהם כבר השיגה לטענתה 30% התייעלות לעומת מגדלים בארה"ב (ברובם חצי-חובכים), וצופה התייעלות של כ-40% נוספים.

החברה בוחנת שלושה שווקי יעד למוצריה:

☛ **הזנת בע"ח (feed)** – בעיקר לחקלאות מים (aquaculture) כתחליף לחלבון מן החי במזון דגים (fishmeal). למטרה זאת מתאימים בעיקר חרקים שהינם יעילים בהפקת חלבון, למשל בהיבט של יעילות תהליך הפרדת השומן שכרגע הוא יקר (כיום מתאימים לכך בעיקר זבובים וזחלי קמח).

☛ **מזון לבני-אדם** – או כמוצר שלם (בעיקר לעולם שלישי), או כמוצר טחון (לעולם המפותח). כאינדיקציה למחירי השוק של חגבים, מדובר על כ-\$12 לק"ג טרי ו-\$50 לק"ג קמח, כאשר במדינות מסוימות מחיר השוק של חגבים עשוי להיות פי 2 עד פי 10 ממחיר ק"ג בשר בקר. שוק אבקת החלבון מחרקים מוערך ב-\$20M-\$40M בשנה בארה"ב, כ-\$50M בעולם, והוא משמש לרוב כמוצר נישה בתחום תוספי התזונה ומשפרי הביצועים לספורטאים.

☛ **מזון לחיות מחמד** – מוצר שלם וחי (להאכלת זוחלים כגון איגואנות וכו') או כחומר גלם במזון מיובש (חתולים וכלבים).



קרבן הון הסיכון [Trendlines Agtech](#) השקיעה בחברת Hargol FoodTech, והחברה אף זכתה לאחרונה בתחרות Agro Innovation Lab.

## מיפוי האקו-סיסטם בישראל

<b>מערכות מערכות, חומרים</b>	<b>מזון מזון לאדם, הזנה לבע"ח</b>	<b>חקלאות האבקה, הדברה, ברה"צ</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• טכניון</li> <li>• אוני' תל אביב</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• העברית, הפק' לחקלאות</li> <li>• טכניון</li> <li>• מכללת תל-חי</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• העברית, הפק' לחקלאות</li> <li>• אוני' חיפה, קמפוס אורנים</li> <li>• מכללת ספיר</li> </ul>	<b>אקדמיה</b>
-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• מיג"ל</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• מיג"ל</li> <li>• מו"פ צפון</li> <li>• וולקני</li> </ul>	<b>מחקר</b>
-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bio-bee</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bio-bee</li> <li>• יד מרדכי</li> </ul>	<b>תעשיה</b>
-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hargol Foodtech (Trendline)</li> <li>• Flying Spark (The Kitchen)</li> </ul>	-	<b>יזמות</b>

## הפוטנציאל לישראל

ישראל ניחנה בשילוב ייחודי של מעלות ומגבלות, אשר לאורך שנות קיומה יצר כר פורה לפיתוחים ועשייה שאינם ברורים מעליהם. המצוינות האקדמית וההובלה הטכנולוגית, לצד - ואולי בעקבות - מגבלות משאבי הקרקע והמים, כמו גם שוק מקומי קטן ועם סחר אזורי מוגבל, הביאו את ישראל במרוצת השנים לכדי מעמד של מובילה עולמית בידע בתחומים רבים כגון טיפול במים, חקלאות מתקדמת, מערכות תקשורת, רפואה, מחשוב, סחר ועוד. אעפ"י כי תחומים אלו מגיעים לכאורה מדיסציפלינות שונות, יש ביניהם נקודות השקה אפשריות, כאלו הטומנות בחובן פוטנציאל ליצירת פתרונות חדשניים ומוצרים בעלי ערך גבוה. היישומים השונים של חרקים בשירות האדם מהווים דוגמא טובה לקו המקשר בין מספר מוקדים של יתרונות יחסים שיש לישראל, בכך שהם זורשים אינטגרציה וסינרגיה בין ידע שבמקור נועד לשרת את תחום החקלאות, לדוגמא, ובין ידע בתחומי הכימיה והרפואה; היכולת ליצור חיבור שכזה היא נקודת חוזקה מאפיינת של ישראל, וביכולתה להיות "game-changer" עולמי בתחומים בהם תמומש.

## המלצות למדיניות לאומית

מן הסקירה העולמית עולה כי העיסוק במחקר ופיתוח של היבטים שונים של חרקים בשירות האדם נמצא במגמת עליה – ובתחומים מסוימים אף על סף פריצה – וזאת על רקע הפוטנציאל האדיר של החרקים כפלטפורמה ליצירת פתרונות למגוון של אתגרים בפניהם ניצבת האנושות כיום ובעשורים הבאים. לפיכך, ברורים חשיבותו של נושא זה לטווח ארוך והצורך בביסוס מדיניות לקידומו.

ברמה הלאומית, בחינת הזווית הישראלית מעלה כי העיסוק בחרקים לשירות האדם נמצא במומנטום חיובי ומציג סממנים – גם אם ראשוניים – של תמהיל בריא של מחקר, פיתוח ותעשייה. אף כי ישנו צורך לעבור תקופת פריצת הדרך שעשויה לארוך מספר שנים, ישראל ממוצבת היטב לבניית יכולות מובילות בתחום זה ברמה העולמית, הן במישור האקדמי והן במישור העסקי.

לאור מסקנות אלו, אלו הן המלצותינו למדיניות לאומית לישראל:

- 1. יש לתת משקל ותשומת לב מערכתית בישראל לקידום פעילות בנושא חרקים בשירות האדם.**
- 2. יש לפעול לכינון מרכז לאומי-עולמי בישראל לקידום מחקר ויזמות בנושא חרקים בשירות האדם.**

בהמשך למסקנות אלו, הצעדים המתבקשים הם:

1. גיבוש תכנית פעולה מקדמית
2. מציאת בעל-עניין לבעלות על הנושא, שהינו מסור ומחויב לכך
3. הוצאה לפועל



## תוכנית פעולה

קידום אפקטיבי של תחום החרקים בשירות האדם בישראל מצריך תוכנית פעולה סדורה. על תוכנית זו לאזן בין הצורך לתת מרחב חופשי להתפתחויות בכיוונים שונים ובין ההכרח להתמקד על מספר מצומצם של נתיבים שהינם בעלי סיכוי הצלחה. על התוכנית גם לתאר מודל פעולה פרקטי, כזה אשר ניתן להוציאו אל הפועל בהשקעה סבירה ובאופן אשר ייתן מענה איכותי לצרכים של הגורמים הרלוונטיים בתעשייה המתהווה. יתרה מכך, ראוי כי התוכנית תתייחס הן לטווח הזמן המיידי והן לזה הרחוק יותר, תוך שהיא נותנת מתווה עם אופק של מספר שנים.

### מיקוד תחומי הפעילות

במטרה לממש בישראל את הפוטנציאל העסקי והמדעי הגלום בפיתוח תחום החרקים בשירות האדם, ישנם תחומי פעילות בהם מומלץ להתמקד בטווח הקצר והבינוני. מהסקירה הבינלאומית שנערכה ומהראיונות שקוימו עם אנשי מפתח בתחום, ניכר כי תחומי החקלאות והמזון הם בעלי הפוטנציאל הגדול ביותר בטווחי הזמן המיידי עד הבינוני.

תחום החקלאות, בדגש על הדברה והאבקה, הינו הבשל ביותר בעולם מבחינה מסחרית וכולל ידע אקדמי רב ואקו-סיסטם מפותח של חברות וותיקות, תאגידיים וחברות חדשניות; עם זאת, יש עדיין פוטנציאל לא מבוטל להמשך פיתוח, במיוחד של פתרונות הדברה נוספים.

תחום המזון נמצא בראשית הדרך אך מושך עניין רב. הפוטנציאל המיידי נמצא בפיתוח פתרונות להזנת בעלי חיים, לאור עלויות מאמירות של חלופות ההזנה הקיימות וחסמים נמוכים יותר להטמעת מוצרים מחרקים לעומת תחום המזון לבני האדם. חרקים כמקור חלבון לבני אדם, גם הוא תחום שמעורר עניין מדעי ומסחרי, אך אנו סבורים שהיישומים שלו עדיין נמצאים בחיתוליהם. ראוי לציין שתחום המזון בישראל צפוי להיות מוגבל מסחרית בגלל מגבלת כשרות של מירב סוגי המזון מחרקים.

מערכות מבוססות חרקים הוא תחום בעל פוטנציאל לא מבוטל, אך נמצא ברובו תחת תחומי התמחות שונים הן מבחינה מדעית והן מבחינה תעשייתית. מאחר ומסחריות של יישומים אלה צפויה להיות בטווח רחוק יותר, לא מומלץ לשים את הדגש על תחום זה במסגרת תוכנית הפעולה.

## **חלופות אפשריות**

במסגרת בניית תוכנית הפעולה, נבחנו מספר חלופות אפשריות להקמתו של מרכז לקידום פעילות חרקים בשירות האדם. החלופות נבחנו תוך הערכת סיכויי ההצלחה אל מול ההשקעה הנדרשת והערך המוסף הצפוי בכל אחד מהמודלים המוצעים. מובן כי הצלחתו של מרכז כזה כרוכה ביצירת חיבור מוצלח בין אקדמיה, מימון ותעשייה, וכמובן בבחירת מוביל מתאים.

כל אחת מהחלופות המוצעות להלן מדגישה אחד מההיבטים האלו ומייצגת תמהיל שונה של סיכון, השקעה נדרשת ותפוקות פוטנציאליות.

### **חלופה 1. מרכז ידע**

- ✦ **מטרות:** ייזום שיתופי פעולה מחקריים בין הגורמים השונים בתחום, ריכוז פעילות של בעלי עניין, יצירת מקום מפגש מגבש וקיום כנסים בנושא, ליווי שיתופי פעולה, עידוד העברת ידע מהאקדמיה לתעשייה, ייעוץ רגולטורי
- ✦ **שיטה:** פרויקטור מוביל, שטח משרדי מצומצם עם צוות קטן, שירותי מידענות וייעוץ
- ✦ **מקורות תקציביים:** בתחילה בעיקר מהעירייה, קולות קוראים ומענקי מחקר, תרומות
- ✦ **יתרונות:** עלות וסיכון נמוכים באופן יחסי
- ✦ **חסרונות:** קצב התפתחות איטי, ייצור מוגבל של נכסים אסטרטגיים, עוגן גאוגרפי מוגבל

## חלופה 2. מרכז יזמות

- ✦ **מטרות:** יצירת ממשק בין ידע לאפליקציות, התנעת אקו-סיסטם יזמי בתחום כאבן שואבת למיזמים, מתן תמיכה, הנחיה וליווי
- ✦ **שיטה:** מבנה רעיוני ופיזי של אקסלרטור ו/או חממה, הובלת צוות ניהולי ומערך יעוץ מקצועי
- ✦ **מקורות תקציביים:** עירייה, הון סיכון, תכניות חממה לאומיות, משרדי מדע"ר, קרנות בינלאומיות.
- ✦ **יתרונות:** פוטנציאל גבוה להתפתחות סטארט אפים ותעשייה צעירה, אימפקט תדמיתי משמעותי, סינרגיה לנכסים אזוריים מבחינת מחקר ופיתוח
- ✦ **חסרונות:** תחרות מול הון סיכון וחממות קיימות, קושי ביצירת Dealflow אטרקטיבי בטווח הקצר, רמת סיכון בינונית

## חלופה 3. מרכז מו"פ יישומי

- ✦ **מטרות:** אספקת תשתיות מו"פ כשירות לתעשייה והיזמות בתחום, ביסוס המרכז כשילוב של מוקד ידע ופעילות מחקרית יישומית, הענקת גישה לשירותי מעבדה מתקדמים שיוכל להוות גרעין מגבש ליצירת פעילות יזמית ותעשייתית
- ✦ **שיטה:** הקמת מעבדות כימיות וביולוגיות (הכוללות ציוד בדיקת פרופיל חלבונים, GCMS, ציוד אנליטי, ציוד תהליכי וציוד GRAS), הקמת תשתיות גידול חרקים (בתי גידול לחרקים, מתקן בידוד, חממות לגידול חומרי הזנה), הקמת פיילוט מזון (בעל ציוד לפיתוח תהליכים, עיבוד חומרים, שיטות ייצור ואנליזה של מזון), גיבוש צוות מומחים בעלי אוריינטציה אפליקטיבית וצוות טכני להפעלת המעבדות והציוד
- ✦ **מקורות תקציביים:** קרנות השקעות, השקעות אסטרטגיות מבעלי עניין, מענקים ממשלתיים, תרומות. צפויות גם הכנסות שוטפות ממתן שירותי מעבדה ומחקר.
- ✦ **יתרונות:** עוגן גאוגרפי משמעותי, נכסים תשתיתיים, זריקת עידוד מעשית לתחום בכללותו
- ✦ **חסרונות:** עלות הקמה ותפעול גבוהות, תחרות ישירה מול גופי מחקר אחרים באזור

## עפולה כמרכז מחקרי-יזמי בתחום החרקים

עפולה, בהיותה מרכז עירוני המוקף בחקלאות, מתאימה להיות בסיס למרכז פעילות בנושא חרקים בשירות האדם, ואף הביעה נכונות ורצון לקדם נושא זה במסגרת המשך פיתוח פעילות מרכז היזמות שהקימה לאחרונה. עפולה היא עיר המתפתחת בשנים האחרונות בקצב מואץ. בעיר ישנם מספר נכסים מקומיים ואזוריים שהמרכז יכול למנף לטובת פעילותו:

- # עפולה שוכנת במיקום אסטרטגי בצפון מדינת ישראל, אך בנגישות גבוהה לנתיבי התחבורה למרכז הארץ. היא נמצאת בדרך, בין מרכזי התעשייה והמחקר במרכז הארץ (ובראשם מכון וולקני) לבין מוקדי מחקר חשובים קרובים ובראשם הטכניון (הפקולטה למזון וביוטכנולוגיה) ובצפון הרחוק (תל חי ומיג"ל).
- # מיקומה של עפולה בלב עמק יזרעאל, מוקפת פעילות חקלאית ענפה הופך אותה ליעד טבעי לפעילות משיקה לבחינת יישומים חקלאיים בנושא "חרקים בשירות האדם"
- # באזור קיימת תעשיית מזון ענפה ומבוססת של הגדולות בחברות המזון בישראל, היכולה גם היא לסייע ביצירת שיתופי פעולה
- # בית חולים העמק נמצא בעפולה ומהווה מקור ידע מחד ומרכז המאפשר נגישות למגוון מעבדות ולביצוע ניסויים קליניים, מאידך.
- # מכללת עמק יזרעאל ממוקמת בפאתי העיר עפולה, המכללה עשויה להיות בעתיד, אם יפותחו נתיבי לימוד ומחקר רלוונטיים לנושא ה"חרקים בשרות האדם", גורם אקדמי נוסף אשר יהווה מקור לכוח אדם איכותי ובעל ידע
- # עפולה הביעה עניין בפיתוח תחום פעילות חדשני וייחודי, תוך מחויבות להשקעת המשאבים לתשומת הלב הנדרשים ולטווחי זמן ארוכים. המרכז ליזמות שנחנך בעפולה לפני כחצי שנה נותן תשתית יסוד להתנעת פעילות מובילה.
- # מיקומה של עפולה יאפשר שילוב אוכלוסייה ערבית באזור הצפון, במסגרת מינוף היכולות בתחומים אלה בקרב האוכלוסייה הערבית לכלכלה אחודה.

## **תוכנית העבודה המוצעת**

בהמשך להמלצות המדיניות, לתכנית הפעולה המוצעת ולנכונות ולעניין של העיר עפולה בקידום הנושא, להלן האסטרטגיה המומלצת לעפולה להקמת מרכז חרקים בשירות האדם. התכנית הינה הקמתו של מרכז ידע שיוכל להתפתח בהמשך למרכז יזמות, תחת החזון **מרכז יזמות ותעשייה המשלב את הידע המדעי והעסקי בישראל בתחום חרקים בשירות האדם.**

בשל גודל ההשקעה הניכר ובשללות התחום שבחלקה לפחות נמצאת בשלבים ראשוניים, לא מומלץ להקים תשתיות מו"פ כשלב ראשון, אלא רק לאחר התבססות המרכז ובהתאם לצרכים בפועל של המיזמים שיקומו. תוכנית פיתוח הדרגתית כזו, מגבילה את הסיכון בכל שלב ומאפשרת לממש את הנכסים של מרכז הידע ולמנפם ליישומים מסחריים ויצירת אקו-סיסטם לאומי בהמשך הדרך.

להלן המשימות המרכזיות לכל שלב בהתפתחותו של המרכז, על פני תקופה של השנתיים הראשונות לפעילותו:

### **הקמה: דרישות מקדימות**

- # **איתור מרחב פיזי להפעלת המרכז** – מעבר לשטח משרדי, על המקום לאפשר קיום מפגשים, ימי עיון ואף כנסים (גם אם ע"י גישה למרחב המשותף לפעילות סמוכה אחרת), כולל כל הציוד הנדרש.
- # **גיוס מוביל למרכז** – יש לאתר אדם בכיר ומנוסה לניהול והובלה של המרכז לתקופה של שנתיים לכל הפחות, אשר יהווה גורם מפתח בפיתוחו וקידומו בארץ ובחו"ל. **יש לאפשר הבטחת שכירתו לפחות לשנתיים מראש**, המינימום הנדרש להצלחה ולאפשר הבאת מוביל מתאים.
- # **הבטחת מקורות תקציביים** – גיוס ושריון התקציב הנדרש להפעלתו של המרכז לתקופה מינימלית של שנתיים, בהתאם לתקציב המתוכנן.

## שנה ראשונה: ביסוס מרכז הידע

- ✿ ביסוס מרכז אינטר-דיסציפלינרי המאגד את הידע בתחום ברמה הלאומית
- ✿ סקירה שוטפת ומיפוי של התחום בעולם ובישראל
- ✿ יצירת גרעין ידע שהולך ומתפתח
- ✿ בניית פלטפורמה המרכזת את התחום ומאפשרת החלפת ידע ורעיונות, יצירת שיתופי פעולה וקידום התחום במסגרות של קבלת החלטות – שולחנות עגולים, כנסים, ימי עיון – הזמנת מומחים מהתחום למתן הרצאות וסמינרים, אירוח משלחות – עבודה יד ביד עם מכון היצוא בנושאים הרלוונטיים.
- ✿ לפעול להקמת מאגד (קונסורציום) במסגרת מגנ"ט בשיתוף גורמים מהאקדמיה, כגון-מכון וולקני, מכללת תל חי, מכון מיג"ל ומו"פ צפון, הפקולטה ברחובות וגורמים מהתעשייה, כגון- חברות מזון, חברות בתחום החקלאות ומכוני המחקר התעשייתיים. המאגד יהיה אמון על פיתוח תשתיות ידע שביכולתן לשרת את כלל הגורמים המשתתפים או לפתור בעיות ספציפיות בתהליך הייצור. נושאי מחקר לדוגמה הם השפעת תזונת החרק על הערכים התזונתיים שבו, פיתוח תהליכי טיפול בפסולת אורגנית ע"י חרקים ויעול תהליכי הפרדת השומן מהחלבון.
- ✿ הגשת הצעות מחקר לקולות קוראים בתחומי המזון והחקלאות, תוך חבירה למכוני מחקר, חוקרים עצמאיים, חברות ייעוץ וחברות מהתעשייה.
- ✿ עריכה והגשה של הצעות למסלולי מחקר ופיתוח במסגרות בחו"ל, כולל תכנית Horizon 2020 וקרנות דו-לאומיות
- ✿ יצירת התקשרויות עם שחקנים אסטרטגיים בחו"ל – גורמי שלטון מקומי, חברות גדולות, מכוני מחקר מובילים וכיו"ב.
- ✿ שתדלנות בתחום הרגולציה ותקנים לבטיחות למזון, כולל חיבור למשרדי הממשלה ובראשם משרד הבריאות.

## שנה שניה: קידום פעילות יזמית

- ✿ הקצאת מקום למרכז היזמות בעל מתחמי עבודה נפרדים ומשותפים
- ✿ ניהול קשרי משקיעים – משיכה של משקיעים אופציונליים – קרנות הון סיכון, אנג'לים, קרנות השקעה, משקיעים אסטרטגיים וחשיפתם למיזמים הפעילים בתחום.
- ✿ גיבוש צוות מנחה של מנטורים מהאוניברסיטאות ומכוני המחקר, מהתעשייה ומעולם היזמות אשר יעניק הנחיה, סיוע ולווי למיזמים צעירים
- ✿ השתתפות בתערוכות וכנסים
- ✿ סיוע ביצירת קשרי תעשייה במטרה לאתר ספקים, לקוחות ושותפים פוטנציאליים למיזמים.
- ✿ בהינתן היווצרות Deal Flow משמעותי, ניתן לשקול מעבר למודל חממה טכנולוגית, על בסיס שילוב של הון ציבורי ופרטי.

## **פעילויות משיקות**

- על המרכז להיות גורם משתף-פעולה ומחבר עם פעילויות משיקות, מתוך מטרה לחזק ולתחזק מהנעשה במרחב ולא להתחרות בגופים אחרים.
- ✿ **מכון מזון** – אם וכאשר ייקום, יוכל מכון כזה להסתייע במרכז בעפולה בפעילות בתחום מזון מחרקים
  - ✿ **מכון וולקני** – רצוי כי הפעילות במסגרת המכון הנוגעת לתחומי החרקים תתבסס בשלוחה הצפונית שלו
  - ✿ **משרד החקלאות** – יש להעלות את הצורך בקולות קוראים בנושא היבטי חרקים בחקלאות, הן ליזמות והן לניהול מרכז מידע (גם זאת ניתן לבצע תוך שת"פ עם מכון וולקני)
  - ✿ **אגודת הגליל** – מרכז מחקר ופיתוח אזורי מצטיין בשפרעם המתמחה בצמחים, מים ואיכות סביבה, היוצר הזדמנות לשלב ניסיון אקדמי באוכלוסייה הערבית.
  - ✿ **מוסד שמואל נאמן** – מוסד נאמן יכול לתת מניסיונו בתחומי המידענות, ניהול מאגדי מגנ"ט, יזמות, קשרים לקרנות מימון וזיהוי שותפים אפשריים

## הערכה תקציבית

להלן פירוט הערכת התקציב המינימלי הדרוש להפעלת המרכז, בכפוף לתכנית העבודה שהוצגה, למשך תקופה של שנתיים הראשונות לפעילותו. הערכת העלויות היא ללא שינוי בין השנה הראשונה לשנייה, מאחר ולא צפויים שינויים בהיקף הפעילות (בהיבט של כ"א, נסיעות, אירועים וכיו"ב) אלא רק בתוכנה ובמיקוד.

### הערכת עלויות שנתית

\$100,000	עלות שכר ותנאים
\$25,000	שירותי משרד והנה"ח
\$15,000	שכירות משרד
\$5,000	אירוח
\$15,000	נסיעות בארץ והשתתפות בכנסים
\$10,000	נסיעות לחו"ל
\$10,000	הפקת אירועים
\$15,000	ייעוץ
\$5,000	בצ"ח
<b><u>\$200,000</u></b>	<b><u>סה"כ שנתי</u></b>

עפ"י פירוט תקציבי זה, מסתכם סך התקציב הנדרש לשנתיים הראשונות לכדי 1.52 מלש"ח (לפי 3.8 ₪ ל- $\$$ ).

ההערכה שהכנסות ממקורות תקציביים נוספים ובהם מענקי מחקר כגון מגנט ו היענות לקולות קוראים יאפשרו לתמוך בהבאת מיזמים ראשונים אל מרכז הידע והיזמות. בתום השנתיים הראשונות לפעילותו של המרכז יש להעריך את הישגים והחסמים, כמו גם השינויים בהערכות לגבי המגמות הגלובליות, ולקבוע את המשך דרכו של המרכז בהתאם.



## מדדים להצלחה

ההצלחה של המרכז תימדד ביחס להשגתם של היעדים הבאים:

1. נושא החרקים בשירות האדם יוכר כתחום חיוני למגזר החקלאות והמזון בישראל ויושגו המשאבים הנדרשים לקידומו העסקי.
2. המרכז יוכח כזרז העיקרי לקידום ההצלחה העסקית בנושא בישראל וייתפס כגורם מפתח ע"י יתר המוקדים הפועלים בתחום זה.

מידת ההצלחה בתום השנתיים תוכל להימדד על פי מספר קריטריונים איכותיים:

- ✎ התרחבות המחקר והמיזמים בישראל בנושא
  - ✎ הקמת קונסורציום מגנט ושילוב ידע חדש משותף בנושאים שהוגדרו
  - ✎ מספר המיזמים המשתלבים במרכז
  - ✎ כנסים מוצלחים המושכים מיטב העוסקים במקצוע
  - ✎ נוכחות כמרכז מוביל בתחום בעיני התעשייה הקיימת
  - ✎ הכרה ושתוף פעולה ממוסדות המחקר בארץ
  - ✎ הכרה כמוקד משיכה ליזמויות וזמינות משאבים לתמיכה בהתפתחותם
- מוצע שעם ההחלטה על הקמת מרכז המידע ייבחנו וייקבעו גם ערכים כמותיים להצלחה.

- Delong, D .(1960) .'Man in a world of insects .*The Ohio Journal of Science* ,(4)60 ,  
.206–193
- Diener, S .(2009) .'Conservation of organic material by black soldier fly larvae:  
establishing optimal feeding rates .*Waste managment & research*603- ,  
.610
- Elvin, C' C .(2005) .'Synthesis and properties of crosslinked recombinant pro-resilin .  
*Nature*.1002–999 :437 ,
- FAO .(2013) .*Edible insects - future prospects for food and feed security* .
- IFIF .(2012) .International Feed Industry Federation: [www.ifif.org](http://www.ifif.org)
- Ingram, M', Nabhan, G' P & ,Buchmann, S' L .(1996) .'Our forgotten  
pollinators:protecting the birds and bees .*Global Pesticide Campaigner* :(4)6 ,  
.1-12
- Ingram, M., Nabhan, G.P & .Buchmann, S. L .(1996) .Our forgotten pollinators:  
protecting the birds and bees .*Global Pesticide Campaigner*.12–1 ,(4)6 ,
- Lock .(2014) .Insect meal: a promising source of nutrients in the diet of Atlantic  
salmon .*International Conference Insects to Feed the World* .(עמ' 67) ,  
Washington.
- Yu, G' e .(2011) .'Inculating poultry manure with companion bacteria influences  
growth and development of black soldier fly larve .*Environmentral  
Entomology*.30-35 ,
- אוסטרובסקי, ג'. (2011). פסולת אורגנית ורקבובית, מסמך מדיניות. אדם טבע ודין.

## נספח I - רשימת מרואיינים

ד"ר אבי פרל, משרד החקלאות  
פרופ' אבי שפיגלמן, טכניון  
ד"ר אופיר בנימין, מכללת תל חי  
פרופ' אורי לזמס, טכניון  
ד"ר איציק מרטינז, מיגל  
פרופ' אלי הררי, מכון וולקני  
פרופ' גל ריבק, אוניברסיטת תל אביב  
ד"ר דוד ניני, חממת The Kitchen  
פרופ' דן וייס, טכניון  
פרופ' יגאל אלעד, מכון וולקני  
ד"ר יעל חפץ, הפקולטה לחקלאות  
ד"ר ליאורה שתיאל-הרפז, מו"פ צפון  
יעקב מועלם, מכון וולקני  
ד"ר ניצה קרדיש, Trendlines Agtech  
ד"ר עינת צחורי-פיין, נווה יער, מכון וולקני  
ד"ר שמעון שטיינברג, Biobee  
דרור תמיר, Hargol FoodTech  
פרופ' תמר קיסר, מכללת אורנים

# נספח II – מוקדי מחקר ותעשייה בעולם

## יישום 1. מזון והזנה

✂ **Vageningen** – מכון מחקר מזון בהולנד

✂ **DIL** – מכון מחקר בגרמניה

✂ **IFR** – אנגליה

✂ **Insecta** - [/http://www.insecta-conference.com](http://www.insecta-conference.com)

✂ **(DTI)** Danish Technological Institute

מכון טכנולוגי בדנמרק ובו תשתיות גידול חרקים ומעבדות לאנליזה שלהם ושל מוצרים מבוססי חרקים. למכון ניסיון בגמלון של תהליכי ייצור חרקים לכיוון של רמה תעשייתית, ועוסק במתן שירותי פיתוח עסקי, ניתוח מקורות מזון לחרקים מתוצרי לוואי תעשייתיים, אופטימיזציה תהליכים באמצעות אוטומציה ומיכון, ניתוח ערכים תזונתיים ופונקציונליות של חרקים כמזון, מיקרו-ביולוגיה ובטיחות מזון, היבטים רגולטוריים, הערכות רעלנים ואלרגניים, ותפיסה חושית אצל הצרכנים.

✂  **AgriProtein** technologies

✂ **AgriProtein** – חברה גדולה בתחום ה-feed:

*AgriProtein is leading a new industry called nutrient recycling. Using fly larvae fed on abundant waste nutrient sources, AgriProtein has developed and tested a new large scale and sustainable source of natural protein. The nutrient recycling bioconversion process utilizes waste food as raw materials and generates valuable feed components: an insect based protein meal - MagMeal™, an extracted fat - MagOil™ and a nutrient rich soil conditioner - MagSoil™. AgriProtein has been developing its insect based protein feed, extruded oil, and fertilisers since 2009. Following five years of parallel academic and manufacturing research, AgriProtein has raised \$11 million from strategic partners to commercialise and globalise its IP. The company broke ground on its first industrial scale factory 'F1' in May 2014. The plant will come on line in 2015 and produce 7 tonnes of MagMeal™, 3 tonnes of MagOil™ and 20 tonnes of MagSoil™ per day. Locations for the second factory are currently under evaluation.*

✂ **IPPIF** – Food / Feed

## יישום 2. חקלאות

✂ **IBMA** – הדברה ביולוגית

✂ **University of Padova** – איטליה

✂ **Helmholtz Jena research institute** – גרמניה

✂ **Oxford** - אנגליה

### יישום 3. מערכות

Boston dynamics 🌐

DARPA 🌐

הרווארד – רון ווד Robo-bee 🌐

Mike Dicenston 🌐

### כללי (ללא סיווג ליישומים)

**כנס** [International Symposium on Insects as Feed, Food and Non-Food](#) 🌐

עוסק בחזית טכנולוגית החרקים, בהיתכנות השימוש בהם כמזון לאדם ולבע"ח ושימושים אחרים. סוקר היבטים טכניים, מסחריים, אקולוגיים, פוליטיים ואתיים, בהקשר האירופאי. מכסה את נושאי מערכות הייצור/גידול, אפליקציות שונות של מזון, בטיחות מזון, תפיסה צרכנית, הערכות כלכליות וסביבתיות, חקיקה, ביו-פולימרים, טיפול בפסולת ועוד.

**Oxitech** – חברה בריטית העושה שימוש בחרקים מהונדסים גנטית. נקנתה ע"י 🌐

[intrexon](#) כמו גם חברת [EnviroFlight](#)

**LAYI** – כותב מאמר חשוב בנושא 🌐

**ICIPE** – מרכז מחקר לחרקים בקניה 🌐



# תעשייה וחדשנות



**מוסד שמואל נאמן**  
למחקר מדיניות לאומית

טל. 04-8292329 | פקס. 04-8231889  
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל  
קרית הטכניון, חיפה 3200003  
[www.neaman.org.il](http://www.neaman.org.il)