

**שיפור השירותים האקולוגיים של ענף החקלאות:
ניתוח הנזקים הסביבתיים מכל תשומה
וקביעת סדרי עדיפויות להשקעה במחקר-
לצמצום הנזק הסביבתי בחקלאות קונבנציונלית
ובחקלאות אורגנית**

**פרופ' נאוה חרובי
שרית שלהבת**

-
- שאלות המחקר
 - האם החקלאות האורגנית ידידותית יותר לסביבה מהחקלאות הקונבנציונלית?
 - מהם ההבדלים בגורמי הייצור המשפיעים ביותר על הסביבה בחקלאות האורגנית לעומת החקלאות הקונבנציונלית?
 - מטרת המחקר
 - גיבוש סדרי עדיפויות להקטנת הנזקים הסביבתיים הנגרמים מגידולים חקלאיים.

ניתוח מחזור חיי מוצר

Life Cycle Impact Assessment

שיטה לכימות ההשפעות הסביבתיות הכרוכות במוצר או תהליך ייצור. מבוססת על הערכת כל החומרים והאנרגיה המשמשים במהלך הייצור והפליטות הנוצרות במהלך כל חיי המוצר- כולל ייצור החומרים והתשומות החל משלב כריית חומרי הגלם ועד סיום השימוש במוצר. הערכת ההשפעה של כל תשומה בנפרד- בהתבסס על מאגרי מידע עולמיים המפרטים עבור כל חומר או מכונה את כל ההשפעות הסביבתיות הכרוכות בשימוש בהם.

השיטה משמשת בדרך כלל ככלי לניתוח תהליך הייצור של מוצר מסוים- כדי לזהות את הנקודות המרכזיות לשינוי או להשוואה בין שני מוצרים אלטרנטיביים- כדי לבחור את המוצר הידידותי יותר לסביבה.

שיטה



גידולים

אורגניים מול קונבנציונליים- תפוחי עץ, שזיפים, משמש.

איסוף מידע

בהתבסס על המידע שנאסף בשה"מ- בנינו מודל המאפשר להשוות בין גידולים קונבנציונליים ואורגנים באותן קטגוריות.

המודל כולל מידע על- תשתיות, מיכון, זרעים, חומרי דישון וחומרי הדברה.

שאר המידע הנדרש התבסס על מקורות מידע בינלאומיים.

חישוב הפליטות לסביבה

התבססנו על מודלים קיימים המחשבים את הפליטות מכל חומר ותהליך עבודה בהתאם למצב בפועל.

ניתוח ההשפעות הסביבתיות

שימוש בתוכנה ייעודית לניתוח מחזור חיי מוצר.

קטגוריות כלליות ומדדים של השפעה סביבתית

- בריאות האדם –
- פגיעה פוטנציאלית בתוחלת החיים הממוצעת – ההפרש, במספר ימים, בין תוחלת החיים הצפויה ללא הגורם המזיק ואיתו (DALY: Disability Adjusted Life Years).
- מערכת אקולוגית –
- פגיעה פוטנציאלית במספר המינים בטבע בשנה (Potentially Disappearing Species).
- משאבי טבע מתכלים –
- גידול פוטנציאלי בעלות אספקת המשאב המתכלה, תוך התבססות על העיקרון של עלות שולית גדלה.
- לדוגמה, דלדול במשאבי הדלק בעולם יחייב קידוח במקומות שבהם הדלק פחות זמין, וכתוצאה לגידול בעלויות הקידוח.

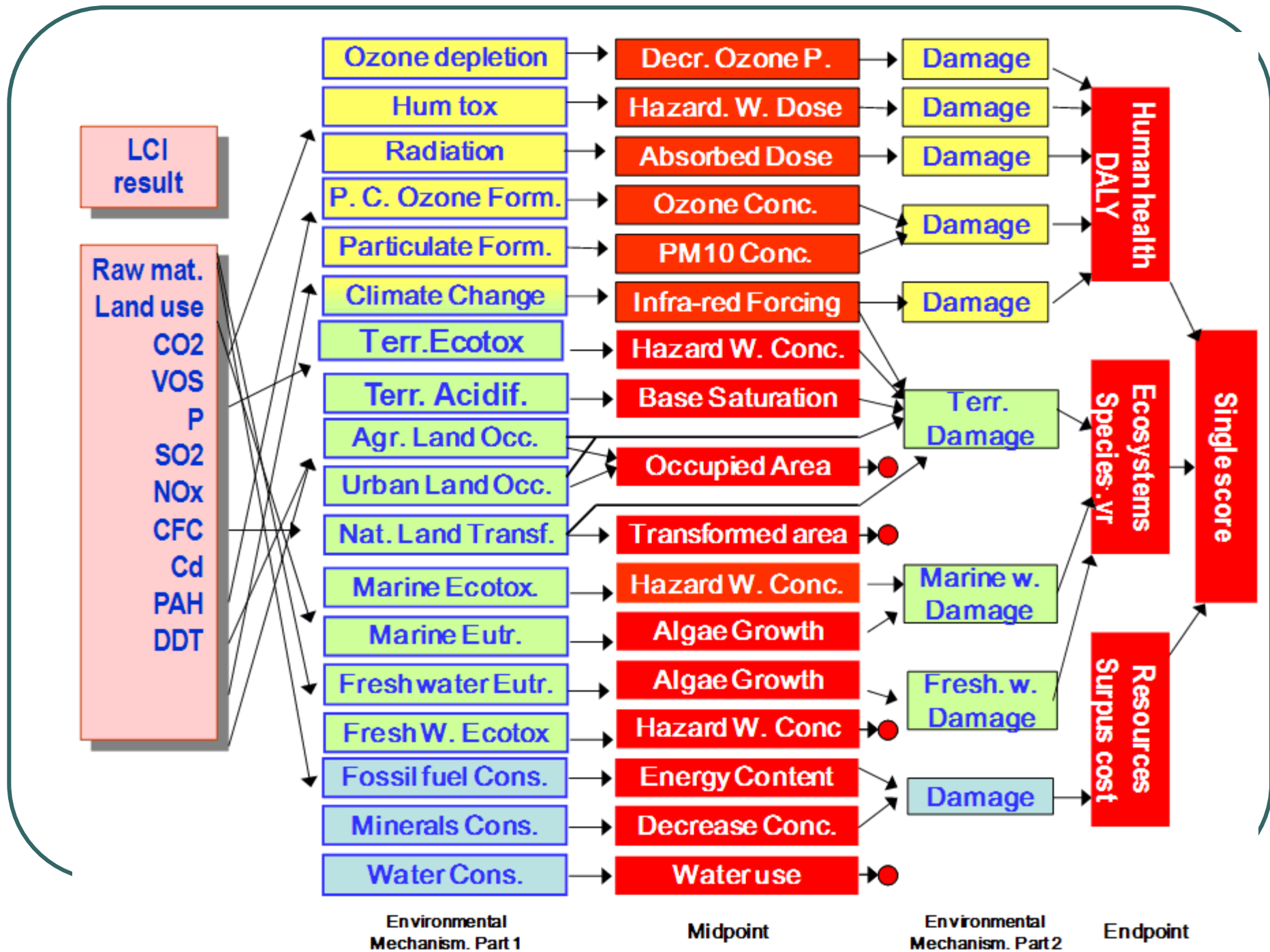
- קטגוריות ספציפיות
- כל קטגוריה כללית מורכבת ממספר תת-קטגוריות, שהעיקריות בהן הן:
- א. בריאות האדם:
- השפעת שינוי אקלים גלובלי על בריאות האדם (Climate change human health)
- התדלדלות שכבת האוזון (Ozone depletion)
- רעילות לבני אדם (human toxicity)
- היווצרות מחמצנים פוטוכימיקלים התורמים להיווצרות ערפיח (אובך) (photochemical oxidant formation)
- היווצרות חלקיקים באוויר החודרים לגוף דרך דרכי הנשימה לדוגמה, אסבסט (particulate matter formation)
- קרינה מייננת (ionising radiation).

- ב. המערכת האקולוגית:
- השפעת שינוי אקלים גלובלי על המערכת האקולוגית
- (Climate change ecosystem)
- התחממות הקרקע – לדוגמה, ירידת גשם חומצי גורמת לנזקים ביערות (terrestrial acidification)
- אאוטריפיקציה של מקורות מים - היווצרות מחסור בחמצן במקור מים
 - מתוקים (freshwater eutrophication)
 - ימיים (marine eutrophication)
- רעילות לצמחים ובעלי חיים
 - ביבשה (terrestrial ecotoxicity)
 - במים מתוקים (freshwater ecotoxicity)
 - בים (marine ecotoxicity)
- שימושי קרקע
 - חקלאיים (agricultural land occupation)
 - עירוניים (urban land occupation)
- שינוי יעוד הקרקע (natural land transformation).

-
- ג. דלדול משאבי טבע מתכלים:
 - דלדול מינרלים מתכלים - מתכות ומחצבים אחרים
(metal depletion)
 - דלדול משאבי אנרגיה מתכלים (fossil depletion)

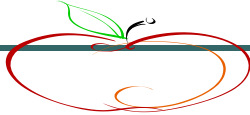
שקלול מקטגוריות ספציפיות לקטגוריות כלליות

- קיימים פערים בחשיבות של שינויים סביבתיים בקטגוריות שונות- רוב האנשים מייחסים חשיבות גדולה יותר לפגיעה בתוחלת החיים האנושית מאשר לפגיעה בסדר גודל דומה בתוחלת החיים של אצות בים.
- על מנת להשוות בין הקטגוריות השונות- יש צורך לייחס משקל לכל קטגוריה, ולנתח את החשיבות המשוקללת של קטגוריות שונות על אותה סקלה.
- יש שיטות שונות של שקלול- המבוססות על ראיון מספר גדול של מומחים בתחום ושקלול הערכותיהם בנושא, כאשר כל שיטות השקלול הן בהגדרה סובייקטיביות ותלויות במערכת הערכים האנושית.
- במחקר זה השתמשנו בשקלול בשיטה הנקראת ReCiPe- שהיא שיטה חדשה הנחשבת למועדפת ביותר כיום בתחום.
- פרטים על השיטה ניתן למצוא באתר <http://www.lcia-recipe.net>



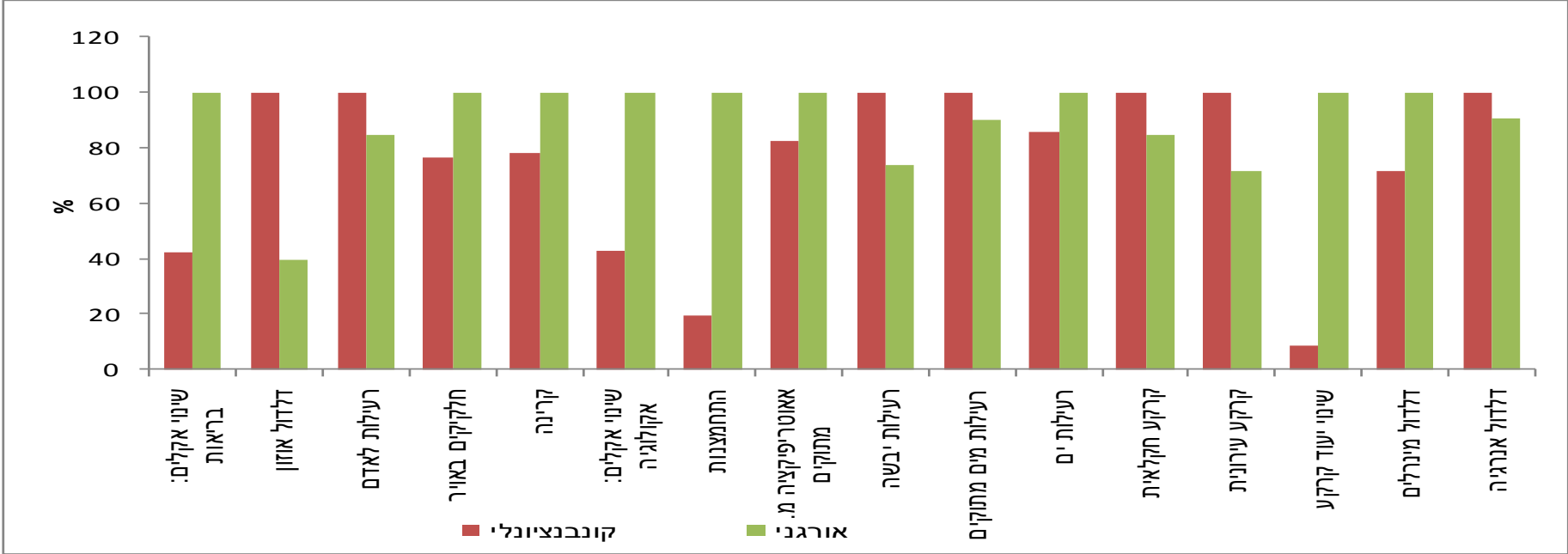
- ניתוח התרומה של התהליכים
- מספר מצומצם של תהליכים גורם לרוב ההשפעות הסביבתיות.
- ניתוח התרומה (contribution analysis) של כל תהליך וחומר להשפעה הסביבתית מאפשר לזהות את נקודות התורפה של המערכה (hot spots).
- ננתח כל גידול כדי להציע שיפורים לצמצום ההשפעות הסביבתיות של הגידול, בהתבסס על העלות של כל שיפור והשפעותיו הכלכליות והסביבתיות.
- ניתוח ההשפעות הסביבתיות
- הניתוח הרלוונטי של השפעות סביבתיות מתייחס להשוואת בין צריכת מוצרים שונים.
- לכן, ניתוח ההשפעה הסביבתית יתייחס ליחידת משקל- טון גידול, ולא ליחידת שטח- הקטר גידול.

● תפוחי עץ



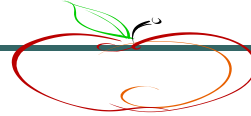
השפעה להקטר- ק. ספציפיות

איור 1. השפעה סביבתית של גידול תפוחי עץ להקטר – קטגוריות ספציפיות (יחסי- באחוזים מהמספר הגבוה ביותר בכל קטגוריה)

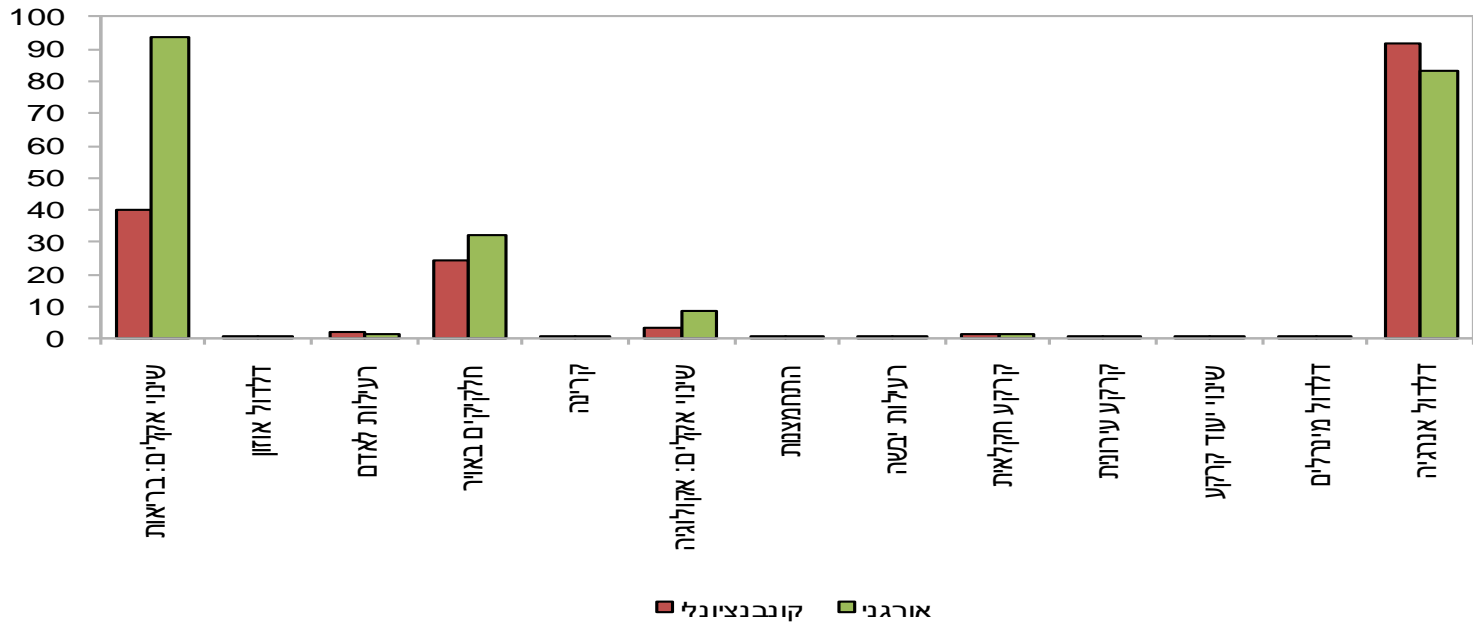


ההשפעה הסביבתית להקטר של תפוחי עץ קונבנציונליים גבוהה יחסית- רמת האוזון; רעילות לאדם, לקרקע ולמשאבי מים; ניצול שטח חקלאי ואורבני, וניצול משאבי אנרגיה מתכלים.

ההשפעה הסביבתית של תפוחי עץ אורגנים להקטר גבוהה יחסית- שינוי אקלים, יצירת חלקיקים (זיהום אויר), קרינה, חמצון מקורות מים, רעילות לבעלי חיים ימיים, שינוי בשימושי קרקע, וניצול מינרלים מתכלים.



איור 2. השפעה סביבתית משוקללת של תפוחי עץ להקטר-קטגוריות ספציפיות



ההשפעות הסביבתיות המשמעותיות ביותר- ניצול משאבי אנרגיה מתכלים, שינוי אקלים וזיהום אויר מחלקיקים. ניצול משאבי טבע- ההשפעה של תפוחי עץ קונבנציונלים גבוהה יחסית. שינוי אקלים וזיהום אוויר מחלקיקים- ההשפעה של תפוחי עץ אורגניים גדולה יותר.

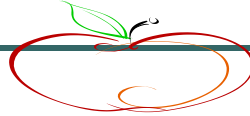


איור 3. סה"כ השפעה סביבתית משוקללת של תפוחי עץ להקטר- קטגוריות כלליות

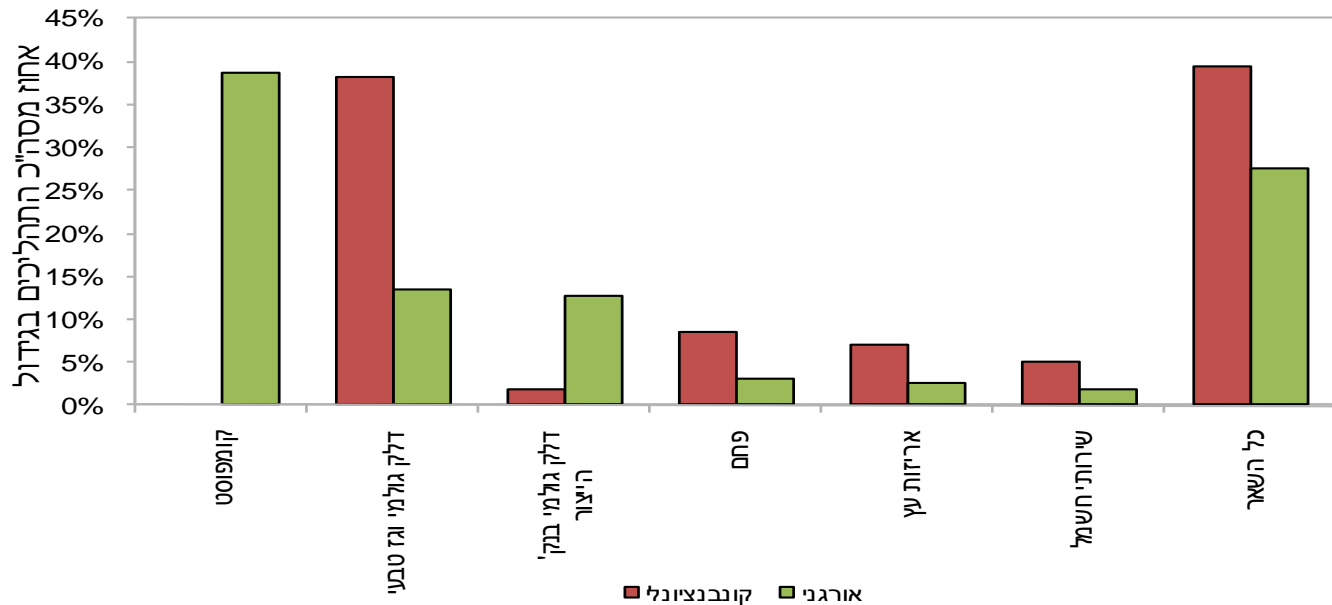


סך ההשפעה הסביבתית המשוקללת לפי קטגוריות עיקריות להקטר מראה כי- בתחום ניצול משאבים מתכלים- ההשפעה של תפוחי עץ קונבנציונלים גדולה יותר. בקטגוריות של בריאות האדם והמערכת האקולוגית- ההשפעה של תפוחי עץ אורגנים גדולה יותר.

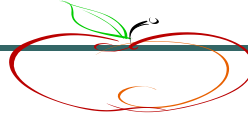
סך ההשפעה הסביבתית של תפוחי עץ להקטר- גדולה יותר בגידול אורגני.



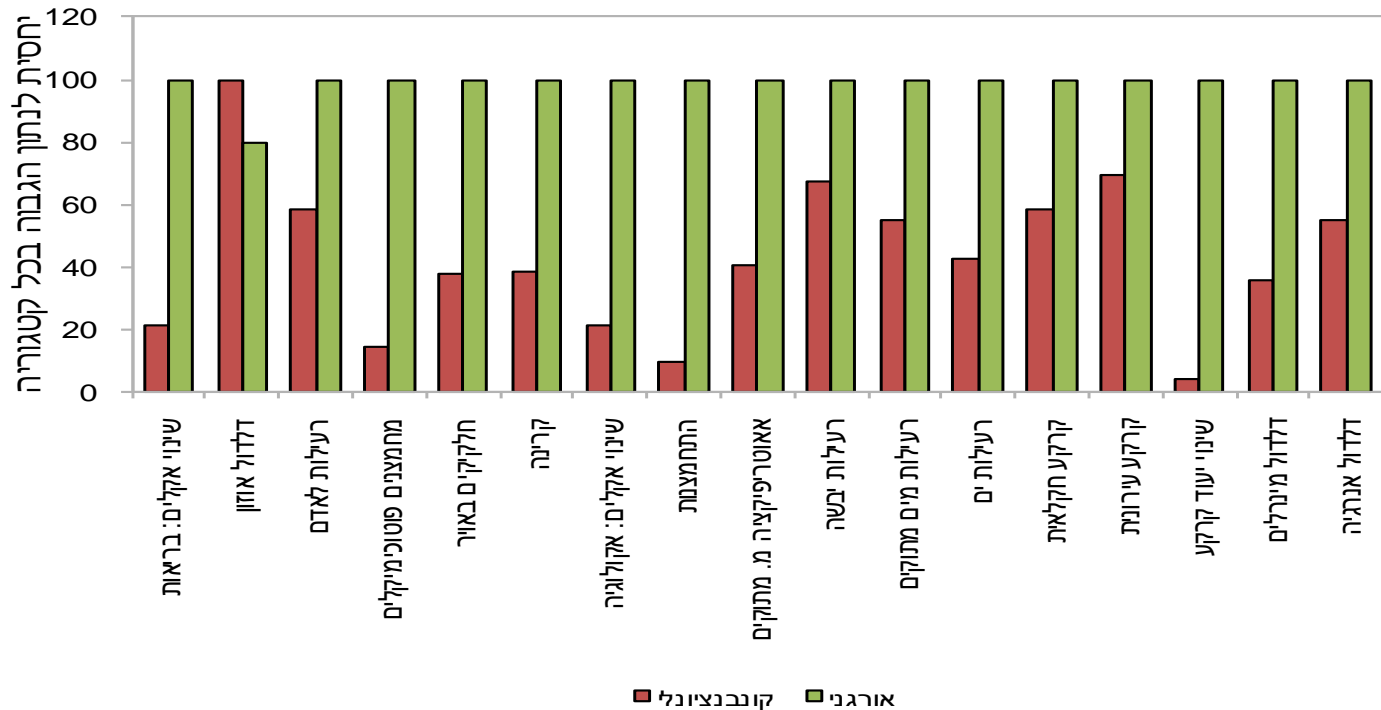
איור 4. תרומת תהליכי ייצור ספציפיים בתפוחי עץ בכל גידול להקטר - באחוזים מסה"כ ההשפעה הסביבתית של הגידול



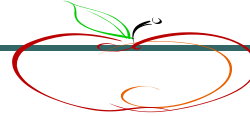
ניתוח תרשים זרימה של תהליכי הייצור מראה כי- בחקלאות קונבנציונלית - בערך 77% מסה"כ ההשפעה הסביבתית נגרמת בתהליך האריזה והקירור. בחקלאות האורגנית- יש השפעה גדולה יחסית גם לשימוש בקומפוסט (איסוף והובלה, ייצור ושימוש בדיזל).



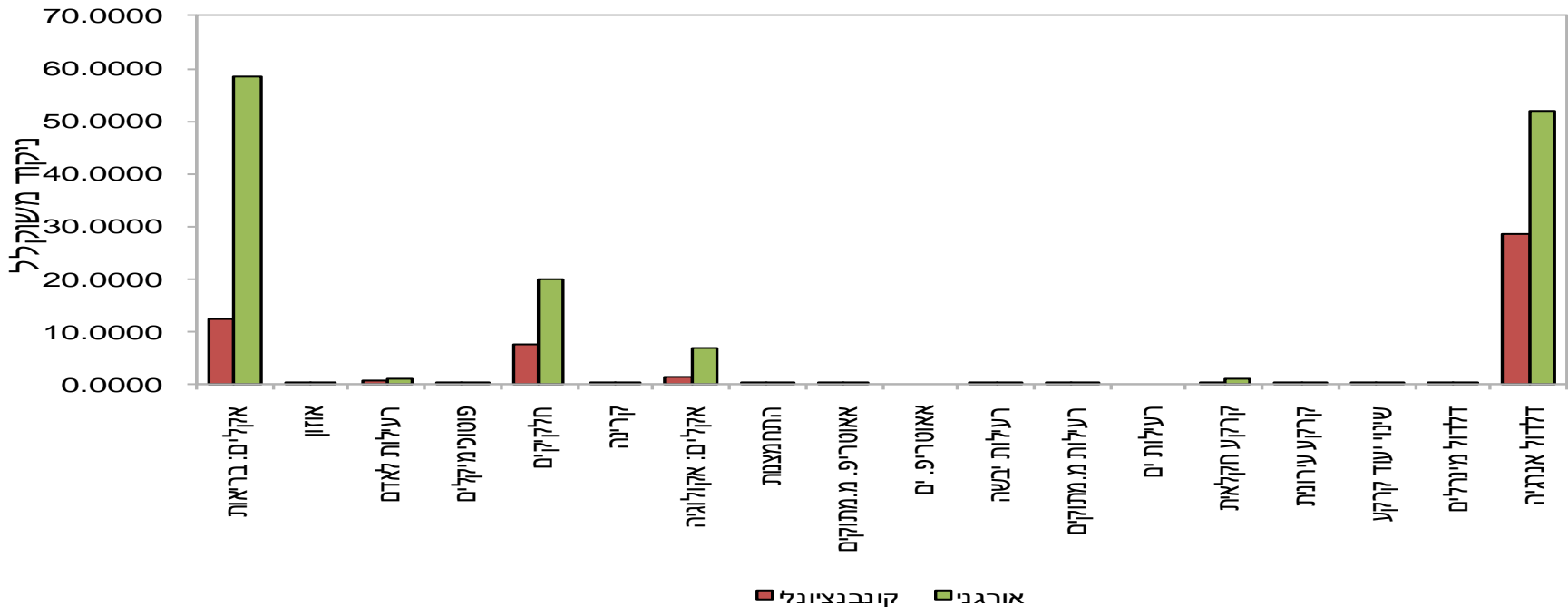
איור 5. השפעות סביבתיות לטון גידול תפוחי עץ – קטגוריות ספציפיות- הצגה יחסית



ההשפעות הסביבתיות של גידול תפוחי עץ לטון- גבוהות יותר עבור גידול אורגני בכל הקטגוריות, חוץ מקטגורית ההשפעה על רמת האוזון. יבול להקטר נמוך יותר, לכן שטח גדול יותר נדרש לקבלת יבול נתון.



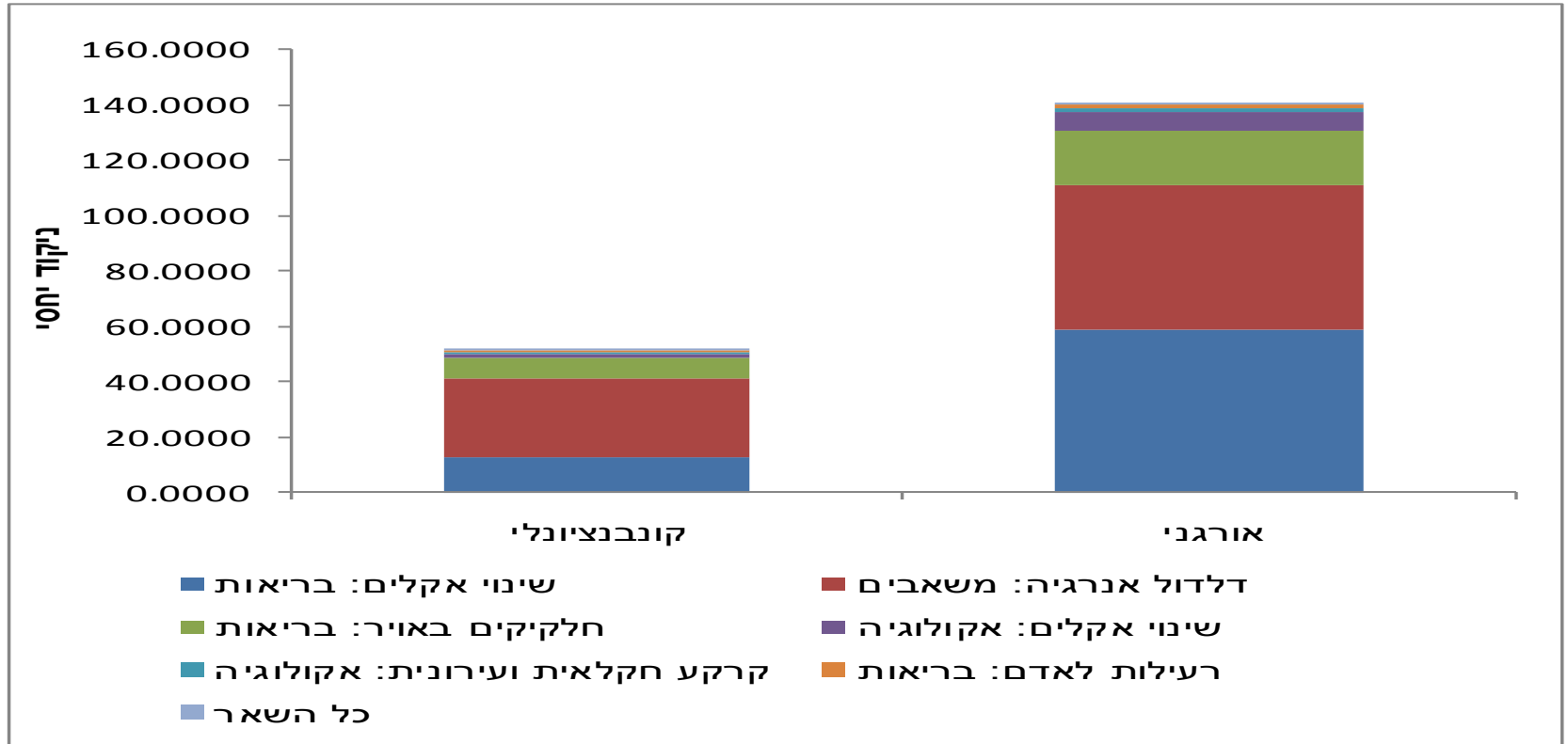
איור 6. סה"כ השפעה סביבתית לטון תפוחי עץ לפי סוג גידול- קטגוריות ספציפיות (דירוג משוקלל)



ההשפעות הסביבתיות הגבוהות ביותר-
ניצול משאבי אנרגיה מתכלים, השפעת שינוי האקלים הגלובלי על בריאות
האדם ועל המערכת האקולוגית, ויצירת חלקיקים באוויר החודרים לגוף
באמצעות דרכי הנשימה ופוגעים בבריאות האדם.



איור 7. סה"כ השפעה סביבתית השוואתית של הגידולים לטון- לפי קטגוריות ספציפיות וכלליות

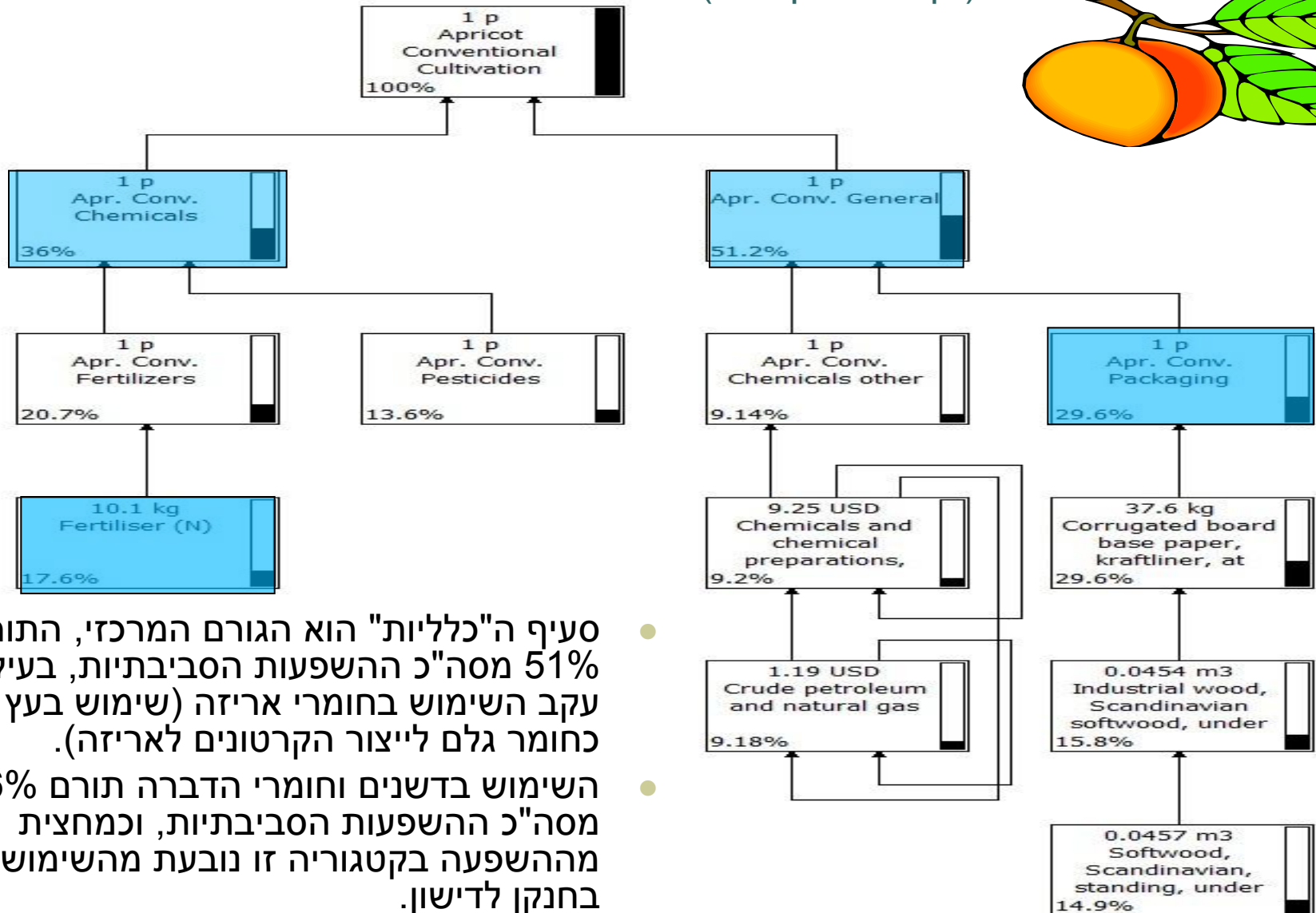


סך ההשפעה הסביבתית המשוקללת לטון- גדולה בהרבה עבור תפוחי עץ אורגניים מאשר תפוחי עץ קונבנציונליים (פי 2.72, לעומת יחס של פי 1.35 בהשפעות ליחידת שטח).

משמש •

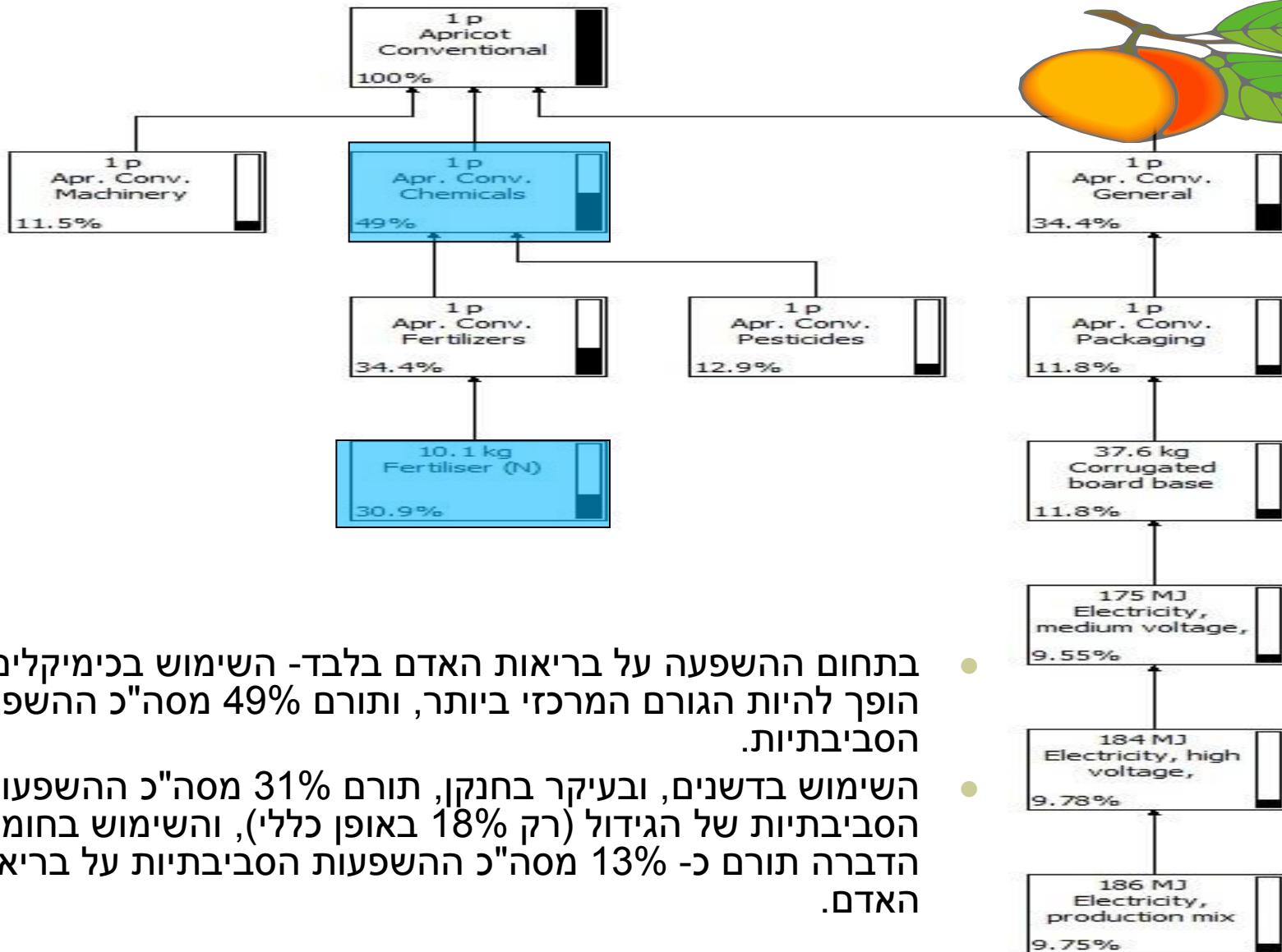
תרומה- רגיל- סה"כ

איור 8. תרשים זרימה של תרומת תהליכי הייצור של גידול משמש קונבנציונלי לכלל
 בהשפעות הסביבתיות (נקודת חיתוך 9%)



סעיף ה"כלליות" הוא הגורם המרכזי, התורם 51% מסה"כ ההשפעות הסביבתיות, בעיקר עקב השימוש בחומרי אריזה (שימוש בעץ כחומר גלם לייצור הקרטונים לאריזה). השימוש בדשנים וחומרי הדברה תורם 36% מסה"כ ההשפעות הסביבתיות, וכמחצית מההשפעה בקטגוריה זו נובעת מהשימוש בחנקן לדישון.

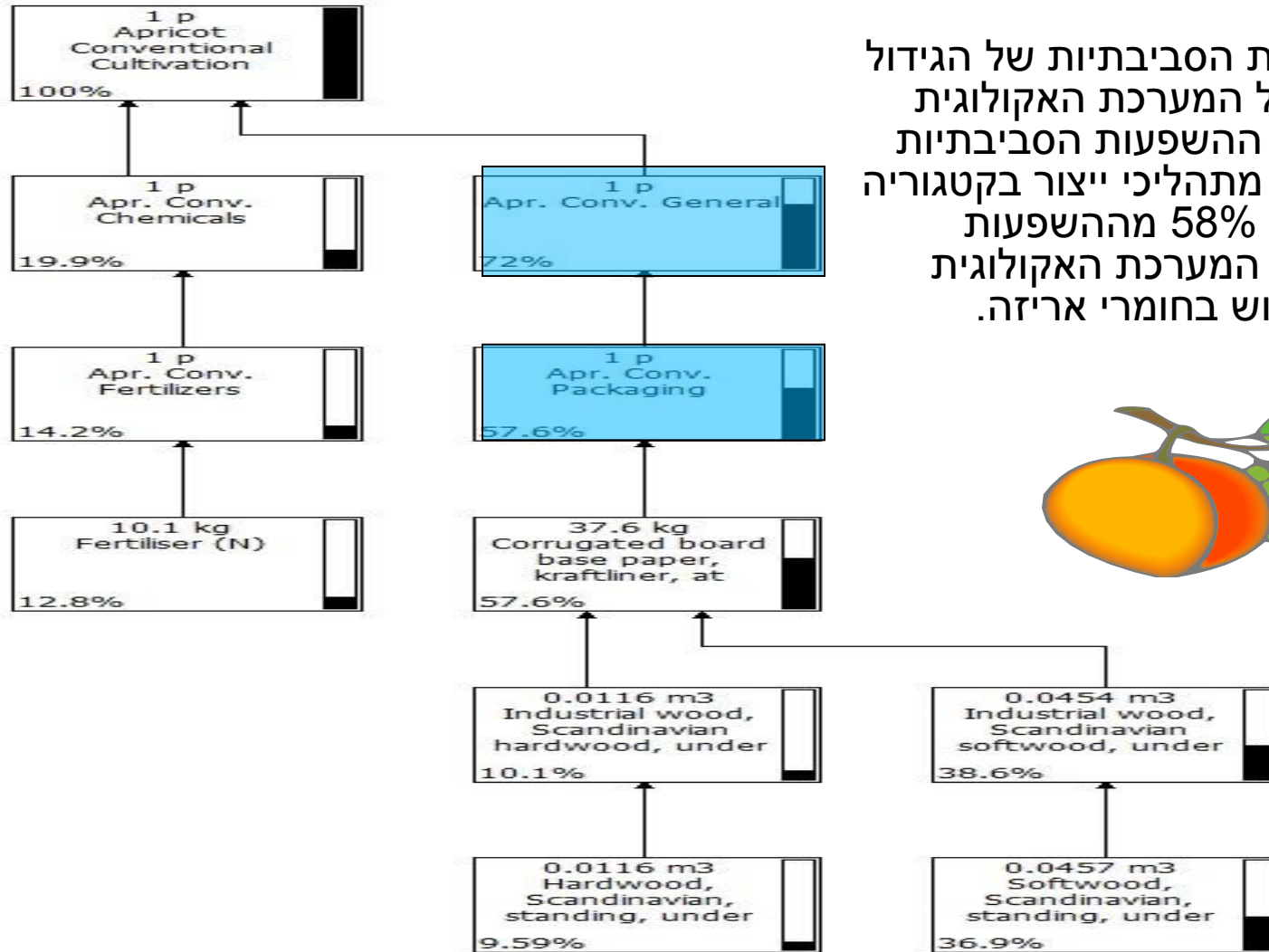
איור 9. תרשים זרימה של תרומת תהליכי הייצור של גידול משמש קונבנציונלי להשפעות על בריאות האדם (נקודת חיתוך 9%)



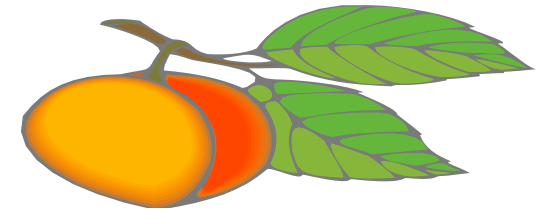
בתחום ההשפעה על בריאות האדם בלבד- השימוש בכימיקלים הופך להיות הגורם המרכזי ביותר, ותורם 49% מסה"כ ההשפעות הסביבתיות.

השימוש בדשנים, ובעיקר בחנקן, תורם 31% מסה"כ ההשפעות הסביבתיות של הגידול (רק 18% באופן כללי), והשימוש בחומרי הדברה תורם כ- 13% מסה"כ ההשפעות הסביבתיות על בריאות האדם.

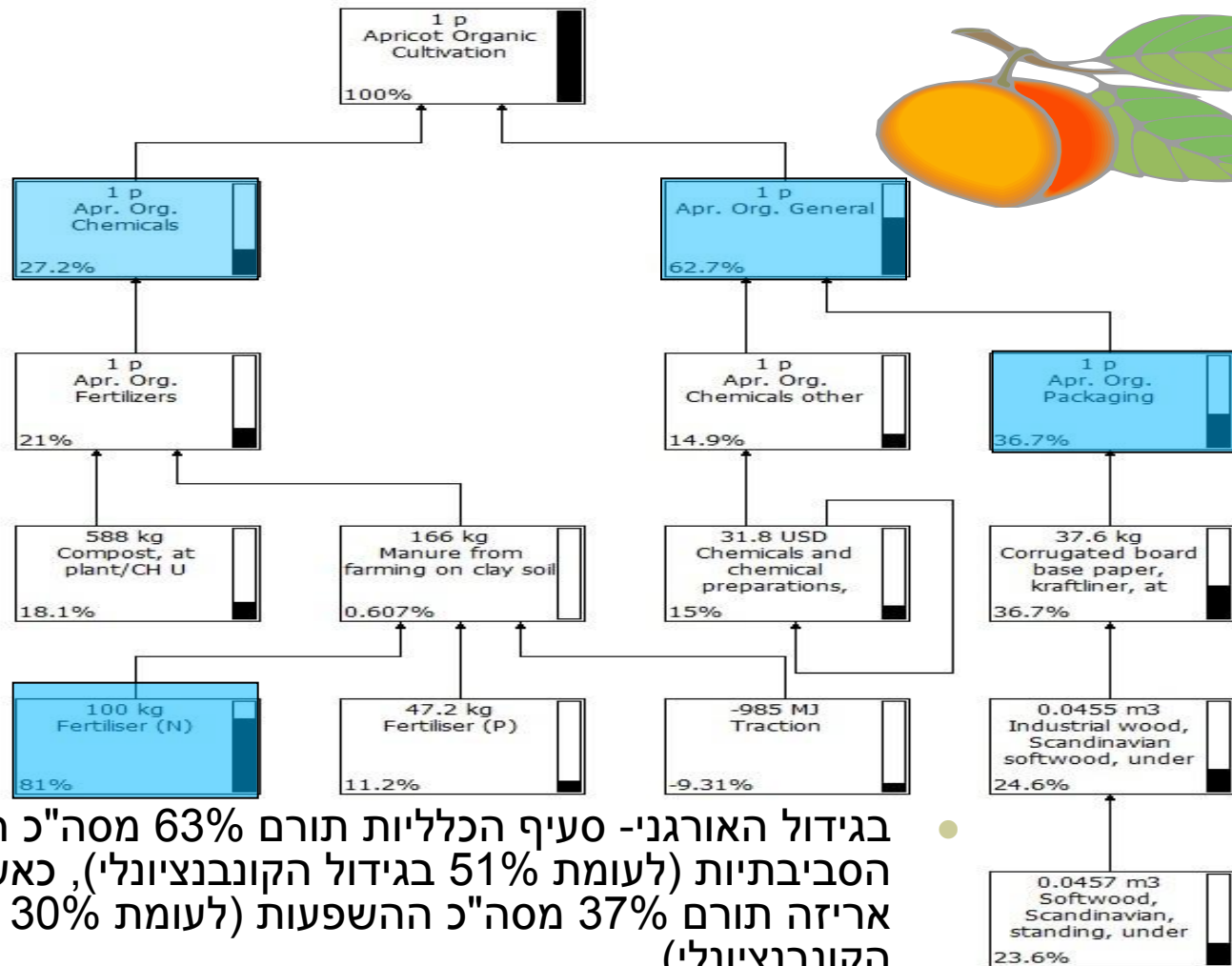
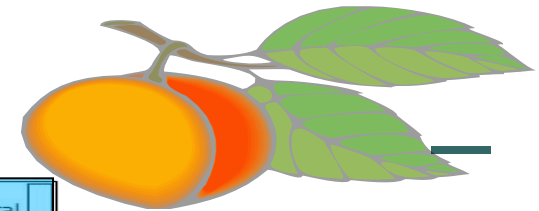
איור 10. תרשים זרימה של תרומת תהליכי הייצור של גידול משמש קונבנציונלי להשפעה על המערכת האקולוגית (נקודת חיתוך 9%)



בתחום השפעות הסביבתיות של הגידול הקונבנציונלי על המערכת האקולוגית הגלובלית- רוב ההשפעות הסביבתיות (72%) נובעות מתהליכי ייצור בקטגוריה הכללית, כאשר 58% מההשפעות הסביבתיות על המערכת האקולוגית נובעות מהשימוש בחומרי אריזה.



איור 11. תרשים זרימה של תרומת תהליכי הייצור של גידול משמש אורגני לכלל ההשפעות הסביבתיות (נקודת חיתוך 9%)



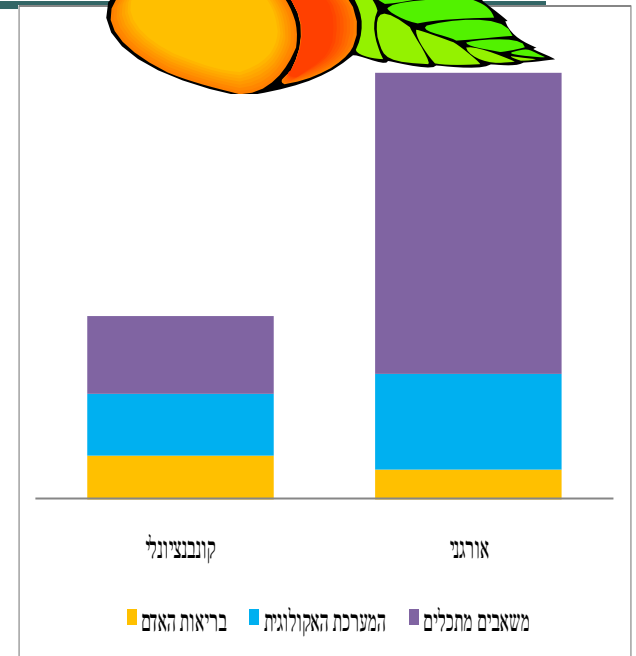
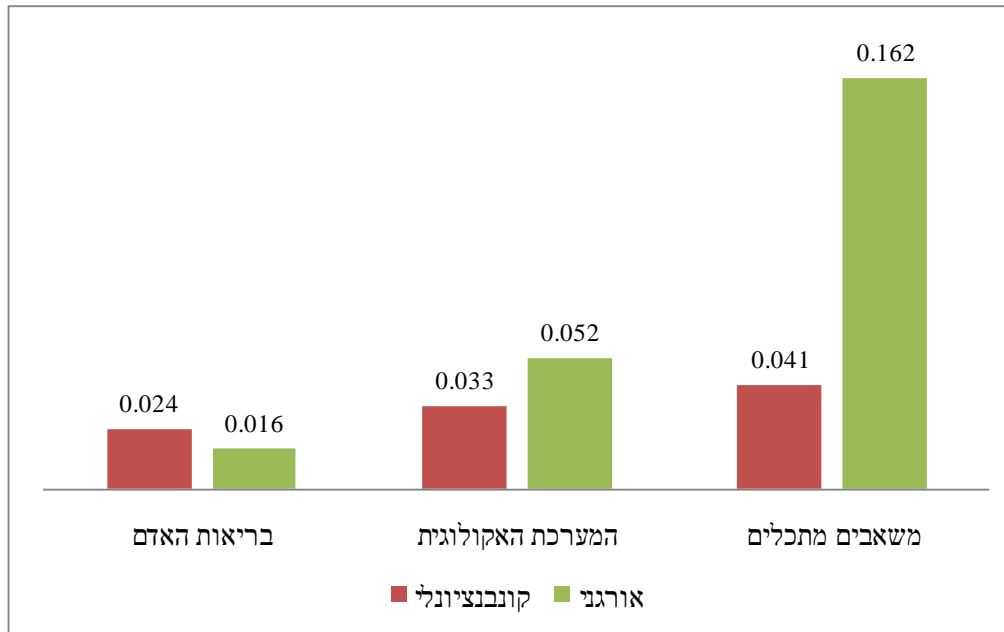
בידול האורגני- סעיף הכלליות תורם 63% מסה"כ ההשפעות הסביבתיות (לעומת 51% בגידול הקונבנציונלי), כאשר השימוש בחומר אריזה תורם 37% מסה"כ ההשפעות (לעומת 30% בגידול הקונבנציונלי).

התרומה היחסית של השימוש בדשנים ובחומרי ההדברה ומסבירה 27% מסה"כ ההשפעות הסביבתיות של הגידול האורגני (לעומת 36% מסה"כ ההשפעות הסביבתיות של הגידול הקונבנציונלי).

השימוש בחנקן נשאר הגורם העיקרי בהשפעה של שימוש בכימיקלים

השפעה לטון- ק. כלליות

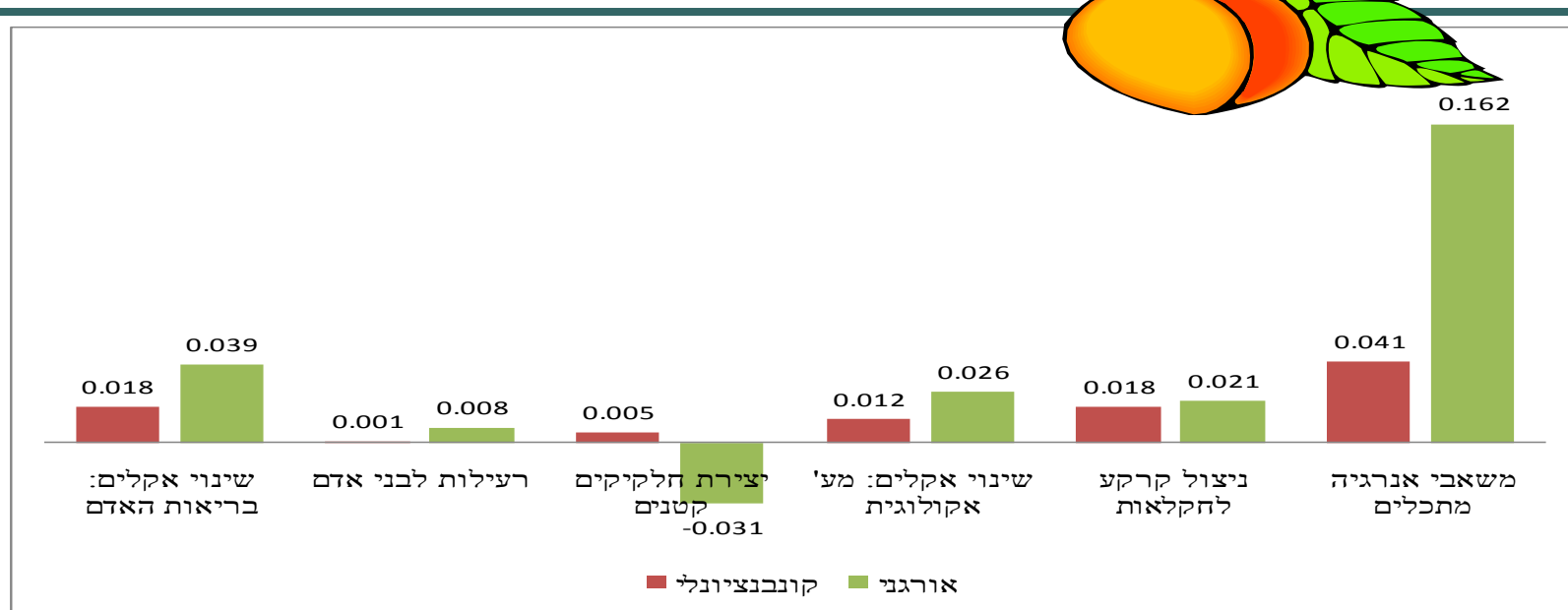
איור 12-13. השפעה סביבתית של גידול משמש קונבנציונלי ואורגני לטון- לפי קטגוריית השפעה סביבתיות כלליות- ציון משוקלל



ההשפעה הסביבתית של הגידול האורגני נמוכה יותר בקטגוריית בריאות האדם, אך גבוהה יותר בקטגוריות של המערכת האקולוגית וניצול משאבים מתכלים.

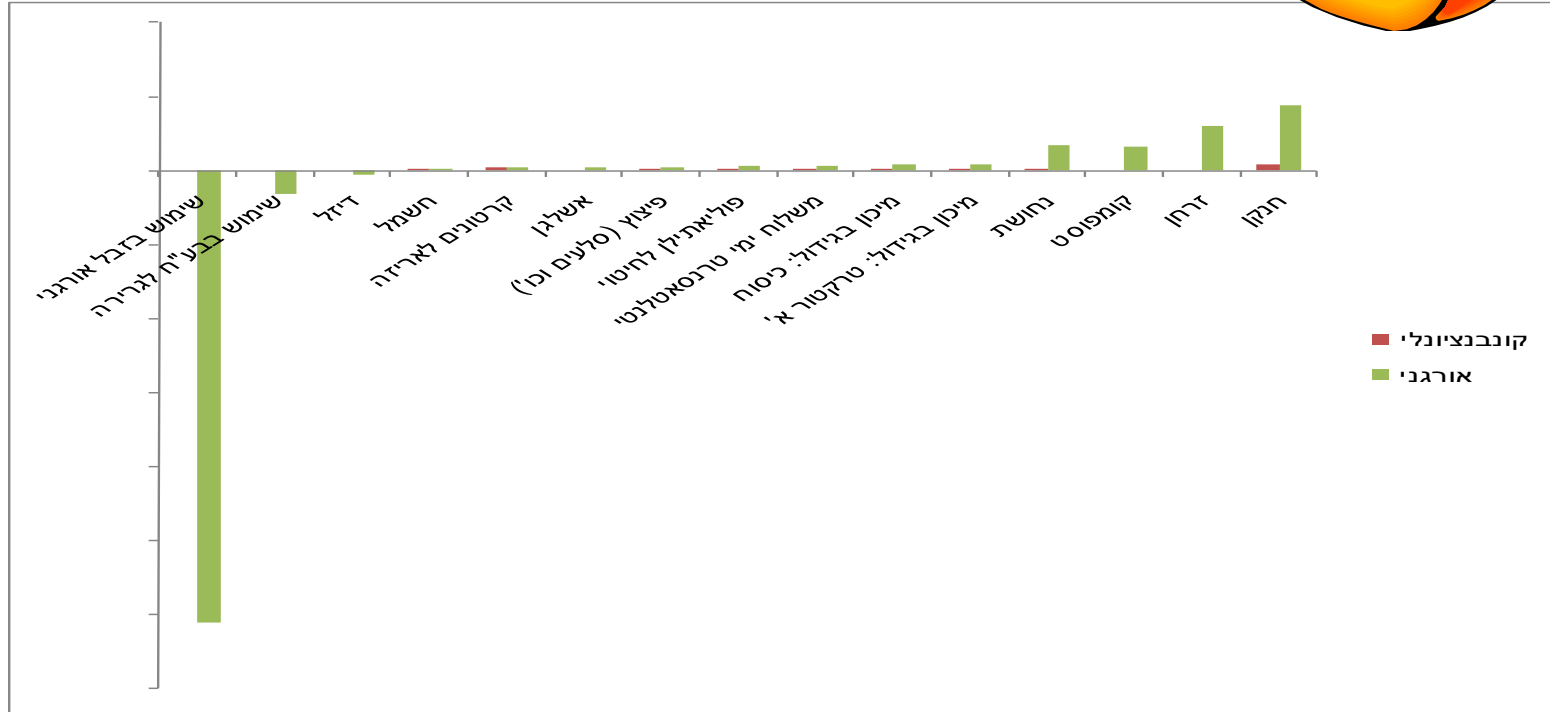
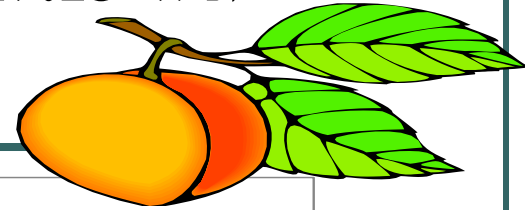
סך ההשפעה הסביבתית של טון משמש אורגני גבוהה בהרבה מההשפעה הסביבתית של טון משמש קונבנציונלי.

איור 14. ההשפעה הסביבתית של גידול משמש קונבנציונלי ואורגני לטון- לפי קטגוריות השפעה ספציפיות



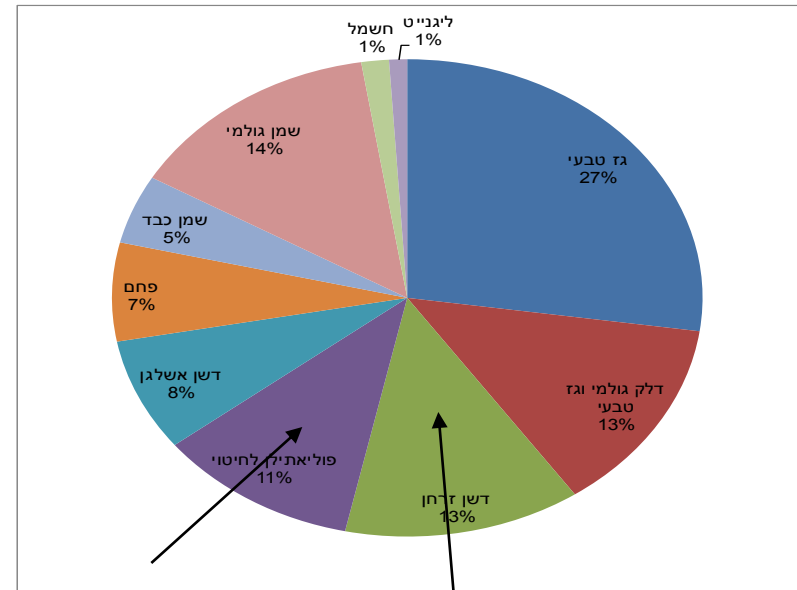
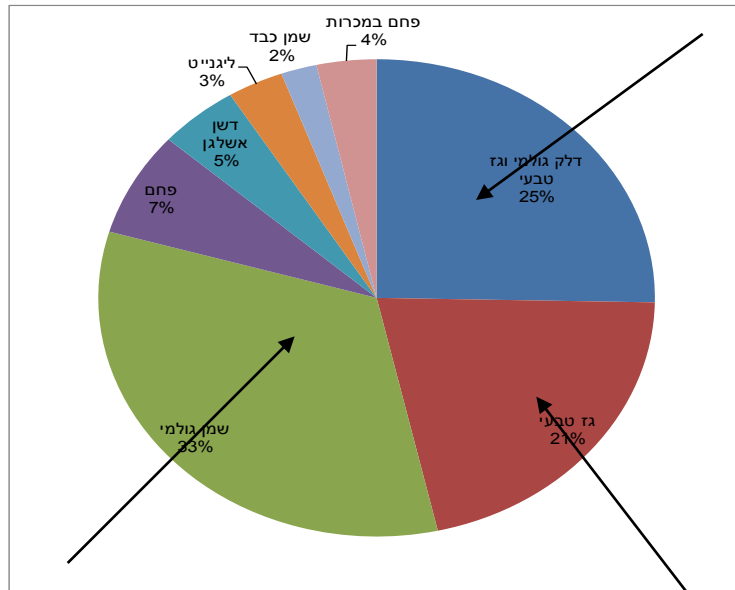
ההשפעות הסביבתיות המשמעותיות ביותר- ניצול משאבי אנרגיה מתכלים ושינוי אקלים גלובלי. ההסבר להשפעה הנמוכה יותר של הגידול האורגני בתחום בריאות האדם נובעת מההבדל בתחום ספציפי – יצירת חלקיקים קטנים.

איור 15. תרומת תהליכי ייצור במשמש- לפליטת חלקיקים



השימוש בזבל אורגני לדישון מוריד את רמת הזיהום והצטברות החלקיקים הנוצרים כתוצאה מהפרשות בעלי חיים.

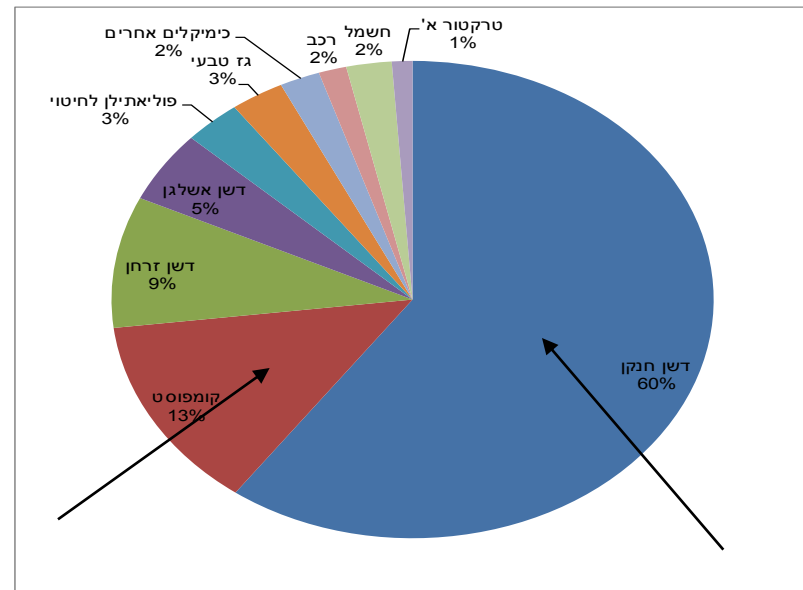
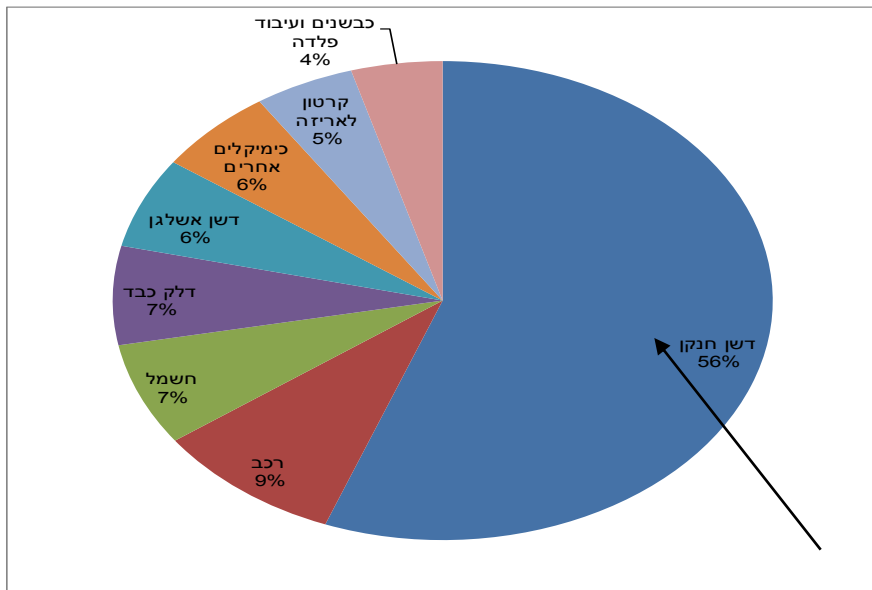
איור 16-17. תרומת תהליכי ייצור במשמש קונבנציונלי ואורגני להשפעה הסביבתית על ניצול משאבים מתכלים- באחוזים מסה"כ ההשפעה הסביבתית של הגידול



ניצול מינרלים מתכלים- השימוש באנרגיה, דלק גולמי ובגז טבעי הם הגורמים בעלי ההשפעה הרבה ביותר. בגידול המשמש האורגני קיימת גם השפעה משמעותית לייצור הדשנים האורגנים והפוליאתילן לחיפוי.

תרומה- אקלים גלובלי

איור 18-19. תרומת תהליכי ייצור במשמש קונבנציונלי ואורגני להשפעה הסביבתית על שינוי אקלים גלובלי – השלכות על בריאות האדם- באחוזים מסה"כ ההשפעה הסביבתית של הגידול

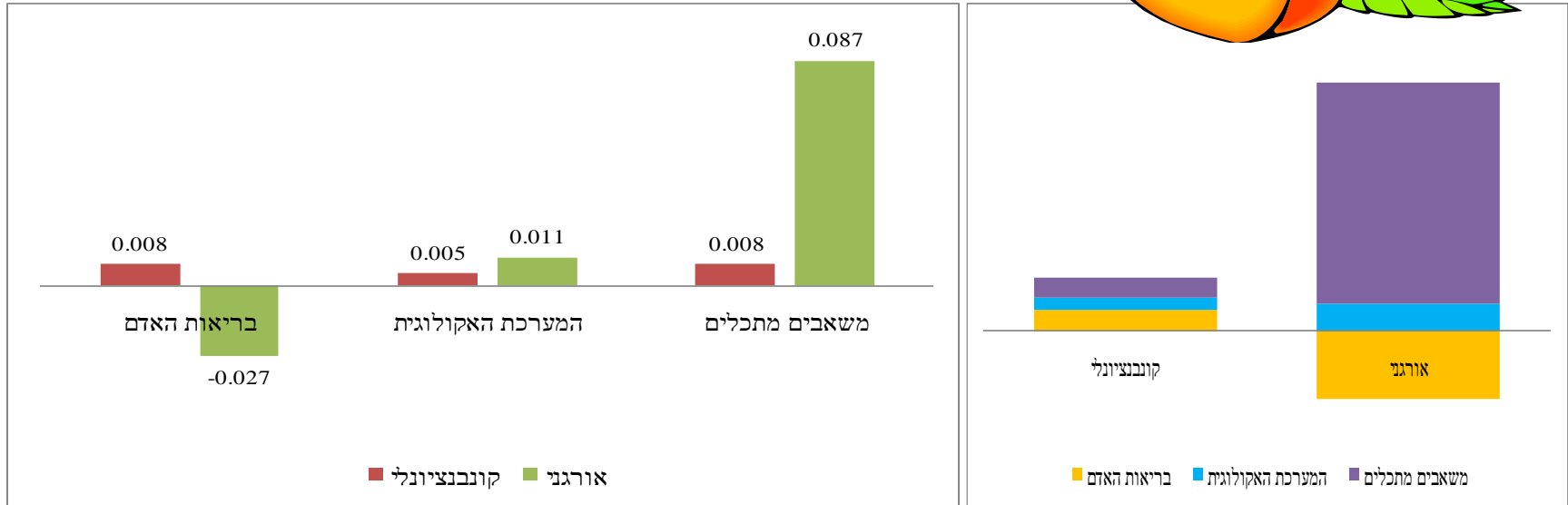
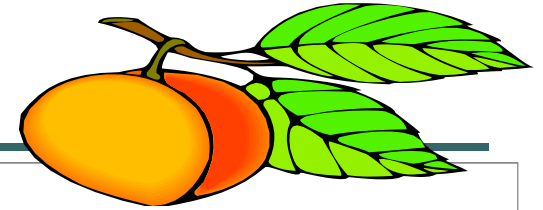


בגידול משמש קונבנציונלי - השימוש בחנקן לדישון תורם יותר ממחצית ההשפעות הסביבתיות על שינוי אקלים.

בגידול משמש אורגני- השימוש בחנקן לדישון (כחלק מהדשן האורגני) תורם 60% מסה"כ ההשפעות הסביבתיות, והקומפוסט והזבל האורגני מסוגים שונים תורמים יחד כ- 87%

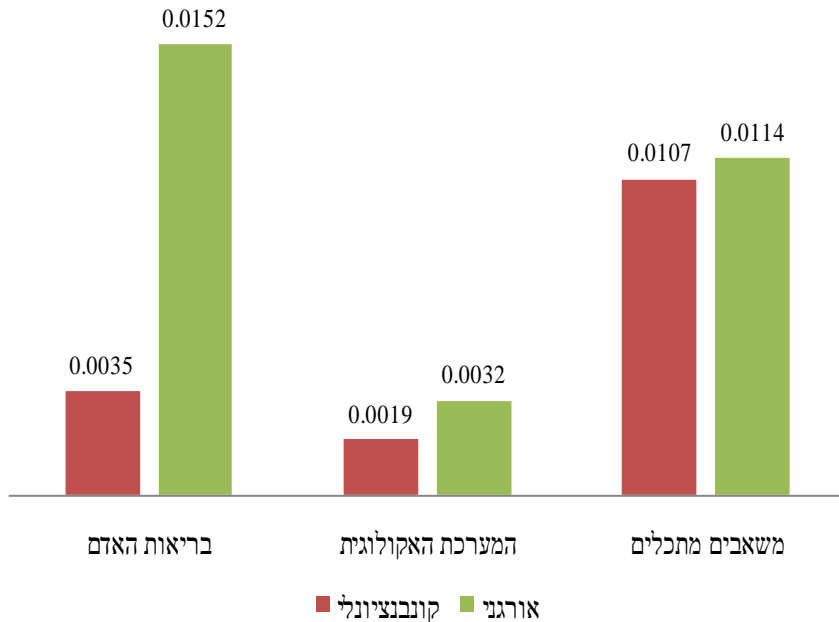
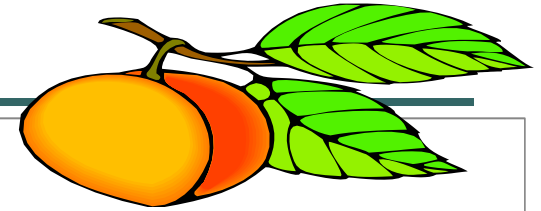
השפעה לטון של דשנים

איור 20-21. השפעה סביבתית של שימוש בדשנים- קונבנציונלים ואורגנים בגידול משמש לפי קטגורית השפעה סביבתית כלליות



השפעה הסביבתית של הדשנים האורגנים- נמוכה יותר בקטגוריית בריאות האדם, אך גבוהה יותר בקטגוריות של המערכת האקולוגית וניצול משאבים מתכלים. סך ההשפעה הסביבתית של שימוש בדשן אורגני גבוהה בהרבה מההשפעה הסביבתית של הדשן הקונבנציונלי.

איור 22-23. השפעה סביבתית של שימוש בחומרי הדברה קונבנציונליים ואורגניים בגידול משמש- לפי קטגוריית השפעה סביבתית כללית



השימוש בחומרי הדברה בגידול הקונבנציונלי כולל מדבירי עשבים ומדבירי מזיקים, ואילו בגידול האורגני נכללים מדבירי מזיקים בלבד. ההשפעה הסביבתית של חומרי ההדברה האורגניים גבוה יותר בכל הקטגוריות (משתמשים בכמות גדולה יותר ליחידת שטח).

● סיכום ומסקנות

סיכום ומסקנות

- סך ההשפעה הסביבתית של טון פרי אורגני גבוהה מההשפעה הסביבתית של טון פרי קונבנציונלי.
- חלק גדול מההפרש נובע מהיבול הגבוה יותר, בטון לדונם, של המטעים הקונבנציונלים, כאשר חלק מהתשומות נשאר קבוע לדונם ללא קשר ליבול.
- חלק גדול מההבדלים בהשפעות הסביבתיות ניתן לייחס לתהליכי הייצור של הקומפוסט- המשמש לדישון במטעים האורגנים.
- הכמות הפיזית של הקומפוסט גדולה יחסית לכמות הדשנים המשמשים בגידול הקונבנציונלי, במונחי נפח ומשקל כולל של החומרים.
- לכן, נדרשת כמות אנרגיה גדולה יותר בתהליכי הייצור וההובלה של הקומפוסט בשלבים השונים של מחזור החיים.

-
- המיכון בקטיף והשימוש בחומרי אריזה בעלי השפעה סביבתית גבוהה יחסית לתחומים אחרים.
 - לשימוש בחומרי אריזה יש השפעה סביבתית, בעיקר עקב השימוש בעץ כחומר גלם במהלך ייצור חומרי האריזה.
 - ההשפעות הסביבתיות של מטעים אורגנים וקובנציונלים דומות בתחום זה.
 - מכאן, בקביעת סדר עדיפויות להשקעה במחקר לצמצום ההשפעות הסביבתיות של מטעים, יש חשיבות לריכוז מאמצים במחקר בתחום האחסון.

- לשימוש בדשנים יש השפעה גדולה יותר מאשר לשימוש בחומרי הדברה.
- חלק גדול מהשפעת השימוש בכימיקלים נובעת מהשימוש בחנקן לדישון- במישרין (בגידולים הקונבנציונליים) או בעקיפין (בגידולים האורגנים, דרך השימוש בזבל אורגני).
- בניגוד לחומרים רבים אחרים, שהשפעתם נובעת מתהליך הייצור של החומר במפעלים הכימיים, לשימוש בחנקן יש השפעה סביבתית ישירה גבוהה יחסית הנובעת מהחומר עצמו, ולכן השפעת השימוש בחנקן גבוהה יותר מהשפעת השימוש בדשנים מסוגים אחרים.
- השפעת החנקן גבוהה גם בגידולים המתבססים על דשנים אורגנים כגון "אורגן 3000", ולמעשה לא נראה שיש יתרון משמעותי לדישון האורגני.

השפעת חומרי ההדברה בגידול האורגני גבוהה מהשפעתם בגידול הקונבנציונלי.

השפעת חומרי הדברה נובעת בעיקר כתוצאה מהשימוש באנרגיה וחומרים אחרים במפעלים בתהליך הייצור ופחות מההשפעה הסביבתית של החומרים עצמם.

לכן, השימוש בחומר הדברה ידידותיים יותר לסביבה בכמויות גדולות יותר - גורם, לנזק גדול יותר לסביבה הגלובלית מאשר השימוש בחומרי הדברה פחות ידידותיים לסביבה בכמויות נמוכות יותר.

לדוגמה, בשני הגידולים משתמשים בשמן התעוררות בכמות גדולה, דבר הגורם להשפעה סביבתית משמעותית בשלב ייצור השמן; ומכיוון שהיבול בגידולים האורגנים נמוך יותר, צריכת שמן ההתעוררות לטון גידול גדולה יותר, וכמות האנרגיה הנדרשת לייצור השמן הנדרש לטון גידול גדולה יותר.

לחומרי ההדברה יש השפעה נוספת, הנובעת עקב תהליך ריסוס חומרי ההדברה, המחייב שימוש במיכון ובאנרגיה בכמות גדולה יחסית, עקב הצורך לרסס מספר פעמים בשנה.

- מכאן, בהשקעה במחקר ופיתוח להפחתת ההשפעה הסביבתית של החקלאות יש
- לשים דגש על העלאת היבול לדונם- כאמצעי המרכזי להפחתת התשומות הנדרשות לטון יבול;
- להתרכז ביעול תהליך האריזה והאחסון ובשימוש בחומרי אריזה ידידותיים לסביבה;
- לבחון אפשרויות להפחתת כמות החנקן הנדרשת באמצעות חקלאות מדייקת או בשיטות אחרות;
- להתרכז בהפחתת כמות חומרי ההדברה ותכיפות הריסוסים.
- מחקר עתידי מקיף יותר יוכל לנתח את התועלות הסביבתיות הצפויות ממחקרים ספציפיים על מנת להשוות בין השקעות בנושאים ספציפיים העומדים על הפרק.

-
- למידע נוסף
 - פרופ' נאווה חרובי
 - מחקר יישומי כלכלי והמכללה האקדמית נתניה
 - navaharu@netvision.net.il
 - שרית שלהבת
 - ייעוץ כלכלי סביבתי
 - sarit.shalhevet@gmail.com