



המכון הישראלי לאריזה
The Israeli Institute of Packaging

התאחדות
התעשיינים
בישראל



איגוד תעשיות מוצרי צריכה ובנייה

המדריך לאריזה מקיימת מכון האריזה - התאחדות התעשיינים



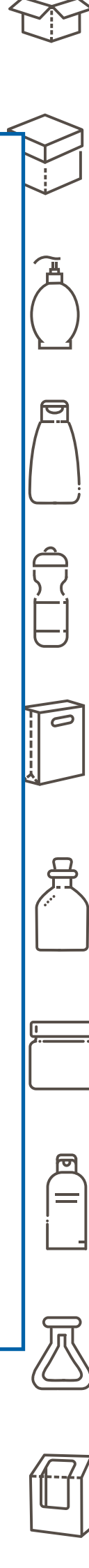


22	מקורות החומר הממוחזר
23	תהליך המיחזור של פסולת משימוש צרכני (PCR)
23	מפעלי המיון והמיחזור
24	סוגי חומרי גלם ממוחזרים
24	חומר גרוס
24	חומר גרוס, ממוין ושטוף
24	חומר מצופף (AGGLOMERATED)
24	חומר מגורען
24	חומר מגורען משודרג
25	חומר ממוחזר כימית
25	מגבלות ורגולציה
27	תוויות איכות למוצרים בעלי פוטנציאל למחזור
27	דוגמאות לתכנון אריזות המתאימות למיחזור
29	ביו-פלסטיק
29	הגדרות
29	היקפי ייצור ושימושים לביו-פלסטיק
30	פולימרים לא מתכלים ממקורות מתחדשים
30	היסטוריה
30	סוגי הפולימרים הנפוצים
30	תקינה וסרטיפיקציה
31	פחמן ישן ופחמן חדש
31	תוויות איכות
31	ניתוח מחזור חיים של פולימרים ממקורות מתחדשים
31	תחרות על משאב הקרקע
32	פולימרים מתכלים ביולוגית
32	היסטוריה
32	סוגיית המיקרו-פלסטיק
32	השוואה לפולימרים סטנדרטיים
33	סוגי פולימרים מתכלים ביולוגית לייצור אריזות
34	פולימרים מתכלים ביולוגית ממקורות פוסילים
34	פולימרים מתכלים ביולוגית ממקורות מתחדשים
35	תקינה בנושא התכלות ביולוגית
36	תוכניות הסמכה למוצרים המתכלים ביולוגית
37	התאמה למיחזור והתכלות - מחזורי סוף החיים
37	איסוף האריזה בסוף החיים
37	אחריות יצרן מורחבת
37	חיוב השימוש בחומרים ממוחזרים לאריזות
37	טיפול בפלסטיק מתכלה בקומפוסט
38	המצב בישראל - חוק האריזות הישראלי, יכולות המיון וסימון האריזות

על הכותבים

מקורות







המכון הישראלי לאריזה
The Israeli Institute of Packaging



איגוד תעשיות מוצרי צריכה ובנייה

הקדמה

תחום האריזות העולמי עובר בשנים האחרונה טלטלות משמעותיות. המודעות הציבורית הגוברת להיבטי הגנת הסביבה, המיחזור ודרישות הרגולציה מניעות חברות רבות - יצרני אריזות ומשתמשי אריזות - לשנות את האריזות. משאבים רבים מושקעים בפיתוח אריזות ברות מיחזור או המיוצרות מחומרים ממוחזרים ומתכלים, או כאלה הניתנות לשימוש חוזר.

כך למשל, רוב חברות הענק העולמיות מתחום מוצרי הצריכה והמזון הציבו לעצמן יעדים שאפתניים למעבר לאריזות ברות קיימא, תוך שנים ספורות.

מגמות אלה מחייבות את החברות בישראל להתאים את עצמן ואת האריזות שלהן, הן בשל היותן חלק משרשרת האספקה העולמית והן צריכות לתת מענה לדרישות השוק והציבור, והן מתוך היערכות לרגולציה עתידית.

המכון הישראלי לאריזה, הפועל במסגרת התאחדות התעשיינים, פועל במרץ לסייע לחברות בישראל להיערך בצורה מיטבית לשינויים אלה. בעינינו, יש במצב גם הזדמנות ממשית למתן ביטוי ליכולת החדשנות והיצירתיות של התעשייה הישראלית, לפתח מוצרים חדשניים בעלי תרומה להגנת הסביבה ועם ערך מוסף גבוה יותר, דבר אשר יתרום לכושר התחרות שלהן.

במסגרת פעילות המכון, קיימנו סדרת סדנאות וימי עיון וערכנו מפגשים ייחודיים עם בכירים בחברות עולמיות. אנו מעניקים ייעוץ ומתן מידע שוטף, מבצעים הכוונה לפעילות מו"פ ועוד.

כעת, אנו מתכבדים להציג בפניכם, לראשונה בישראל, את המדריך לאריזה הסביבתית. זהו כלי מעשי ומקיף, שמטרתו להתוות את הקווים המנחים המרכזיים לתכנון, פיתוח וייצור של אריזות ברות קיימא, בעלות השפעה סביבתית נמוכה יותר.

המדריך מיועד לקהל מגוון: מעצבי ומפתחי אריזות, יצרני אריזות ולמעשה כל חברה המשתמשת באריזות למוצרים שלה. אנו משוכנעים שתפיקו תועלת רבה מהשימוש בו, לטובת אריזות ידידותיות לסביבה.

צוות המכון והאיגוד עומדים לרשותכם להתייעצות מקצועית ומידע בנושא אריזות.

ליצירת קשר: הראל בן דוד, מנהל המכון הישראלי לאריזה,

נייד: 052-277-7781, מייל: harelbd@industry.org.il

ד"ר שירה רוזן
יו"ר מכון האריזה

אורן הרמבם
מנהל איגוד תעשיות מוצרי צריכה ובנייה
התאחדות התעשיינים

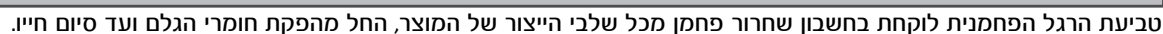


100%

אם נתמקד בקיימות בהקשר של אריזה נראה שקיימות מתייחסות הן לאריזה עצמה (מקורות חומרי הגלם מהם היא עשויה, תהליכי הייצור שלה והטיפול בסוף חייה) והן לתפקידה הפונקציונאלי ולפעולת ההגנה על המוצר עליו היא אמונה. עיקר המקורות לחומרי הגלם בימינו מגיעים ממשאבים פוסיליים וקיימות מעודדת עבודה עם מקורות חליפיים או ממוחזרים, המצמצמים את השימוש במשאבים שאינם מתחדשים. בהתאמה, גם תהליכי הייצור והטיפול באריזה בסוף חייה צריכים להיות באופן כזה שאינו פוגע באיזון ובמרחם האקולוגי של כדור הארץ.

הגישה הכמותית המקובלת להשוואה בין חלופות שונות היא ניתוח מחזור חיים (Life Cycle Analysis - LCA). בשיטה

טביעת רגל פחמנית היא מדידת פליטה של פחמן ו"גזי חממה" אחרים הנגרמת על ידי פעילות, תהליך, מוצר או ארגון. הנחת יסוד היא שפליטת פחמן דרך שריפה של דליקים שוות ערך להוספת דו תחמוצת הפחמן לאטמוספירה, אשר תורמת להתחממות גלובאלית. מדידת טביעת רגל פחמנית לוקחת בחשבון שחרור פחמן באופן ישיר ועקיף מכל שלבי הקיום של המוצר.

6



17 היעדים לפיתוח בר קיימא SDG של האו"ם.

המכלול של מוצר ואריזה ל"יעדי פיתוח בר קיימא" (SDG - Sustainable Development Goals) של האו"ם העוסקים בקיימות בצורה רחבה ומציבים 17 יעדים לצורך כך. לתחום אספקת מזון, כולל אריזתו, יש נגיעה במספר רב של יעדים, אך היעד העיקרי הנוגע בנושא זה הוא יעד מספר 12 **Responsible Consumption and Production** שנותן כלים התואמים את בחינת מחזור חיי המוצר.

מגבלות מדדי הקיימות

המדדים מורכבים ביותר וברור לכל שדיוק אבסולוטי בהם אינו אפשרי. ניתוח מדויק ומפורט של כל מרכיב ופעילות המעורבים בייצור מוצר מהווה אתגר ואינו מעשי, מבלי להניח הנחות לגבי מה שלא ניתן למדידה מדויקת. כיום אין אחידות בשימוש בהנחות אלה ונשאר מישור רחב הנתון לפרשנות של הגוף המבצע את הניתוח. הגופים והחברות אשר מפתחים, מבצעים ומשתמשים בניתוחי מחזור חיים כולל טביעת רגל פחמנית מודעים למגבלות אלו ומשקיעים מאמצים גדולים בשיפור מתמיד של המדידה והמידול.

או התהליך הנבדק החל מהפקת חומרי הגלם עד לסיום חיי המוצר או סיום מחזור התהליך. גישה זו מאפשרת להשוות בין שתי מערכות אריזה אפשריות לאותו המוצר.

יש מספר כלי מדידה לבחינת טביעת הרגל הפחמנית כגון תקן **PAS 2050** של מכון התקנים הבריטי המגדיר את הדרך לחישוב. ניתן להיעזר כמובן גם בגופי מחקר עצמאיים כגון **Carbon Trust** לביצוע הבדיקה. פליטות גזי החממה מהוות חלק מהמדדים שנלקחים בחשבון בניתוח מחזור חיים Life Cycle Analysis או LCA.

יש בנמצא מגוון גדול של כלים לשימוש עצמי, לניתוחים מופשטים וארגונים המציעים ניתוחים פרטניים ומורכבים בתשלום. ביצוע ניתוח כולל יכול לארוך מספר חודשים, כאשר הניתוח מהווה בסיס לשיפור ההשפעה הסביבתית של המוצר, התהליך או הארגון.

3) פיתוח בר-קיימא של האו"ם

גישה נוספת היא בחינה איכותית של התאמת

חומרים לאריזה	תכנון אריזה מקיימת	רקע כללי והגדרות
אריזה וקיימות	אריזה	כלכלה מעגלית
		קיימות

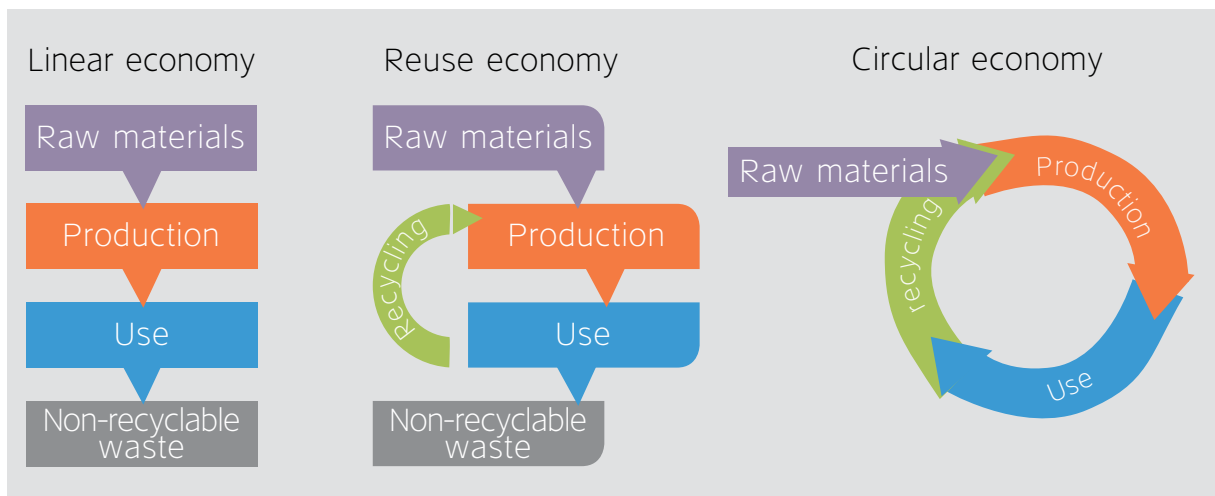
כלכלה מעגלית

מקארטור, הם תכנון מראש המונע בזבז וזיהום, שימוש חוזר של חומרים וחידוש מערכות הטבע. גם משרד הכלכלה והתעשייה **אימץ תוכנית לאומית לכלכלה מעגלית** הדוגלת בצמצום השימוש במשאבי טבע, שילוב חומרי גלם ממוחזרים ותכנון מוצרים כך שיתאימו למיחזור וישרתו את הצרכן זמן ממושך יותר.

המושג של כלכלה מעגלית הופיע לראשונה בשנות ה-70 של המאה הקודמת. מדובר בניסיון ליישם את עקרונות הקיימות בתוך מסגרת הכלכלה והתעשייה המודרנית. מודלים של כלכלה מעגלית משלבים מספר כיוונים לשיפור הקיימות של הכלכלה והתעשייה. שלושת העקרונות של הכלכלה המעגלית, לפי קרן אלן



קווים מנחים לתכנון תעשייתי לכלכלה מעגלית: תכנון מראש, שימוש חוזר וחידוש משאבי טבע.



כלכלה ליניארית, כלכלה עם שימוש חוזר בהיקף מוגבל (המציאות של היום) וכלכלה מעגלית.

- לכלכלה מעגלית.
2. **עסקים** - להאיץ חדשנות מעגלית ליצירת התנאים להגברת "מעגליות" הכלכלה.
 3. **רשויות מדינה** - מקומיות ומוסדיות, ליצירת התנאים לפריחת הכלכלה המעגלית.
 4. **הבנה וניתוח** - לחיזוק ההוכחות והאמון ביתרונות של יישום השינויים.
 5. **יוזמות מערכתיות** - לשינוי זרמים של חומרי מפתח להגדלת הכלכלה המעגלית בעולם.
 6. **תיקשור** - לרתמת הציבור סביב הכלכלה המעגלית.

קרן אלן מקארטור
קרן אלן מקארטור, נוסדה על ידי אלן מקארטור, אשר ב-2005 זכתה להיות השיטת המהירה ביותר שהשלימה את הקפת העולם בשיטת בודד. במהלך השיטת היא הבינה את הבעיה של שימוש במשאבי הכדור המתכלים על ידי האדם. לאחר 4 שנים של שיטת מסביב לעולם, היא הקימה ב-2010 את קרן אלן מקארטור במטרה **להאיץ את שינוי הכלכלה העולמית למעגלית**. פעילות הקרן ממוקדת בשיטה מישורי פעולה מקושרים:

1. **לימוד** - לפיתוח החזון, יכולות ודרך חשיבה, הדרושות

חומרים לאריזה	תכנון אריזה מקיימת	רקע כללי והגדרות
אריזה וקיימות	אריזה	כלכלה מעגלית

למה אריזה?

- שפוגשת את הצרכן הסופי על גבי המדף.
- העברת מידע: האריזה מכילה מידע חשוב על המוצר: מרכיבים, יצרן, הוראות שימוש, חיי מדף ועוד.
- נוחיות:** אריזות מאפשרות לשנע מוצרים בנוחות וכן מאפשרת שיווק מוצרי מזון מוכנים מראש ובכך חוסכת את הצורך בהכנתם.

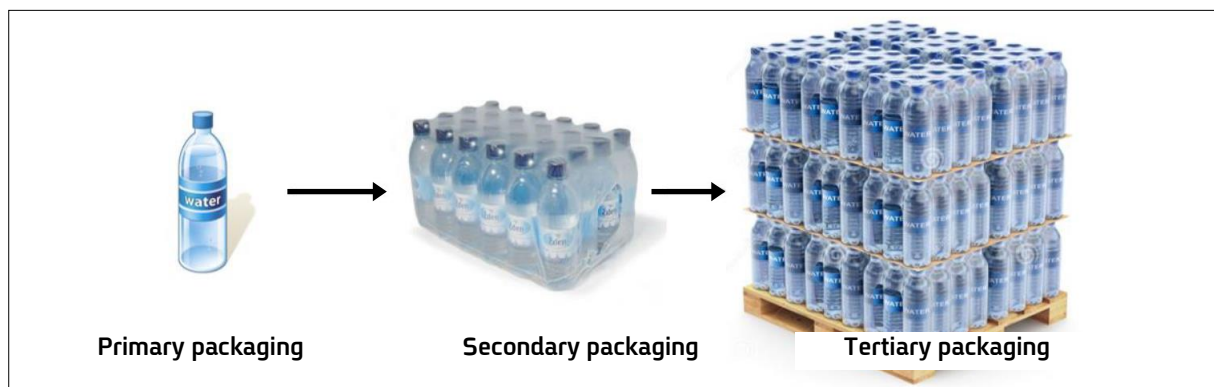
סוגי האריזות

- אריזה ראשונית:** יחידת האריזה הבאה במגע ישיר עם המוצר. על פי רוב, האריזה הראשונית היא המורכבת והיקרה ביותר במכלול האריזה. היא עשויה לרוב מיריעה פלסטית רב שכבתית, פלסטיק קשיח, אלומיניום, נייר וקרטון, פח וזכוכית.
- אריזה שניונית/משנית:** אריזה המאחדת מספר אריזות ראשוניות יחד. חומרים נפוצים הם יריעות מתכווצות מפוליאטילן (שרינק), קרטון דק וקרטון גלי.
- אריזה שלישונית:** אריזה המאחדת מספר אריזות משניות יחד. היא עשויה לרוב מקרטון גלי, יריעות שרינק, פלסטיק ועץ (משטחים ומיכלים).

אריזה אינה המצאה של העידן המודרני. לאורך כל ההיסטוריה היה הכרח למצוא פתרונות לאחסון, שמירה והובלה נוחה של מוצרי מזון כדוגמת כדי חרס, שקים ארוגים וארגזי עץ. פיתוח החומרים הפלסטיים פתח עידן חדש בתחום האריזה תוך מקפצה טכנולוגית משמעותית. מעתה התאפשר להשתמש בחומרי אריזה חדשים, שיטות אריזה יעילות, זולות וקלות משקל בעלות יתרונות פונקציונליים משמעותיים בהשוואה לשיטות האריזה ההיסטוריות.

תפקידי האריזה

- הכלה:** האריזה יוצרת יחידה להחזקת פריט אחד או יותר במאגד. תפקידה משמעותי במיוחד במוצרים שאינם נמכרים ביחידות: נוזלים, גרגרים ואבקות.
- הגנה:** הגנת המוצר מהסביבה כוללת הגנה: ממזיקים, מזיהומים, מקרני UV, מחימצון, כניסת לחות או איבודת והגנה מפגיעות מכניות. האריזה מגינה גם מפני יציאת חומרים ונדיפים החוצה מהאריזה.
- שיווק:** האריזה מהווה כלי שיווקי משמעותי והיא זו



רמות שונות של אריזה: אריזה ראשונית, אריזה שניונית ואריזה שלישונית. מקור: Organization of Cargo Containers and Packing. Cases for Secondary Turnover in Logistic Systems.

אריזה וקיימות

הבסיסיות של האריזה שהוזכרו למעלה.

תקינה לאריזה סביבתית

ככלי עזר לקבלת החלטות פותחה לפני מספר שנים מסגרת התקנים **ISO 18601** הכוללת סדרת הגדרת כלליות לאריזות סביבתיות. מסגרת התקנים הכללית מפנה לתקנים פרטניים אשר מגדירים כללים לתכנון אריזה יעילה סביבתית, ביחד עם כלים לבחינת התאמת האריזה למסלולי סוף חיים שונים.

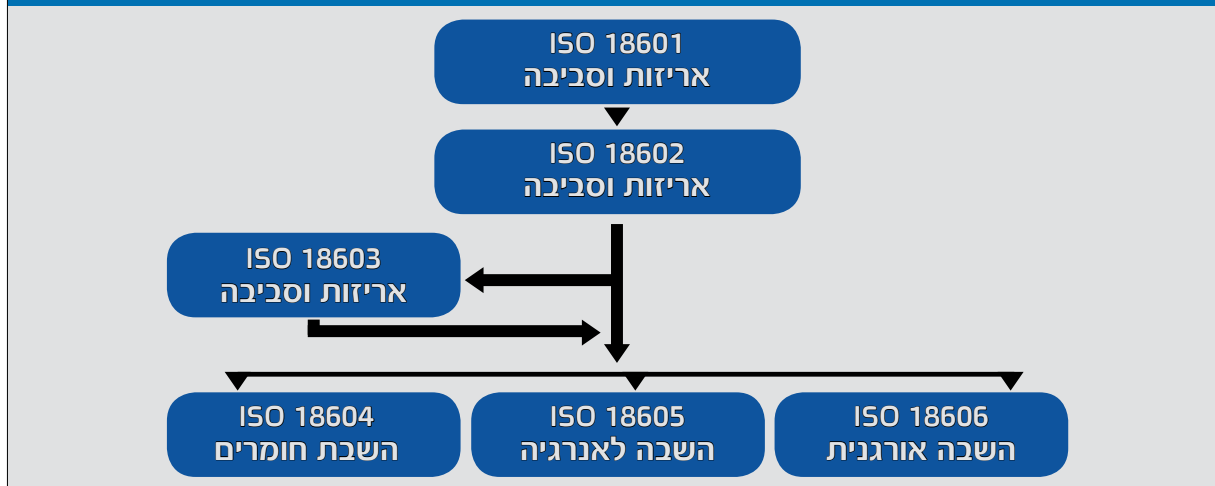
- ISO 18602 ייעול סביבתי של מערכת אריזה
- ISO 18603 התאמת אריזות לשימוש חוזר
- ISO 18604 התאמת אריזות למיחזור
- ISO 18605 התאמת אריזות להשבת אנרגיה
- ISO 18606 התאמת אריזות להשבה אורגנית

אריזה מהווה מרכיב חיוני באספקת טובין ומזון לצרכנים. היא צריכה, כאמור, לענות על דרישות שגרתיות, הידועות לכל מתכנן אריזה: להגן על המוצר מפני פגיעות חיצוניות, תנאי סביבה וזיהומים, להבטיח את אספקת המוצרים ברמת האיכות והבטיחות הנדרשות, הבטחת שימוש קל ובטוח במוצר, העברת מידע חשוב ללקוח ושיפור יעילות שרשרת האספקה.

לצד דרישות שגרתיות אלו, נכנסה לעולמנו בשנים האחרונות דרישה נוספת וחשובה: אריזה מקיימת/סביבתית. תכנון של אריזה סביבתית מחייב הכללה של היבטים נוספים להפחתת ההשפעות הסביבתיות של האריזה. לצורך כך אנחנו מחייבים במבט הוליסטי על מערך האריזה כמכלול תוך שילוב שיטות לשימוש חוזר או מיחזור האריזות בתום השימוש בהן, כל זאת תוך שימור התייחסות לדרישות

רקע כללי והגדרות	תכנון אריזה מקיימת	חומרים לאריזה
קיימות	כלכלה מעגלית	אריזה וקיימות

מסגרת כללית לאריזות ISO 18601



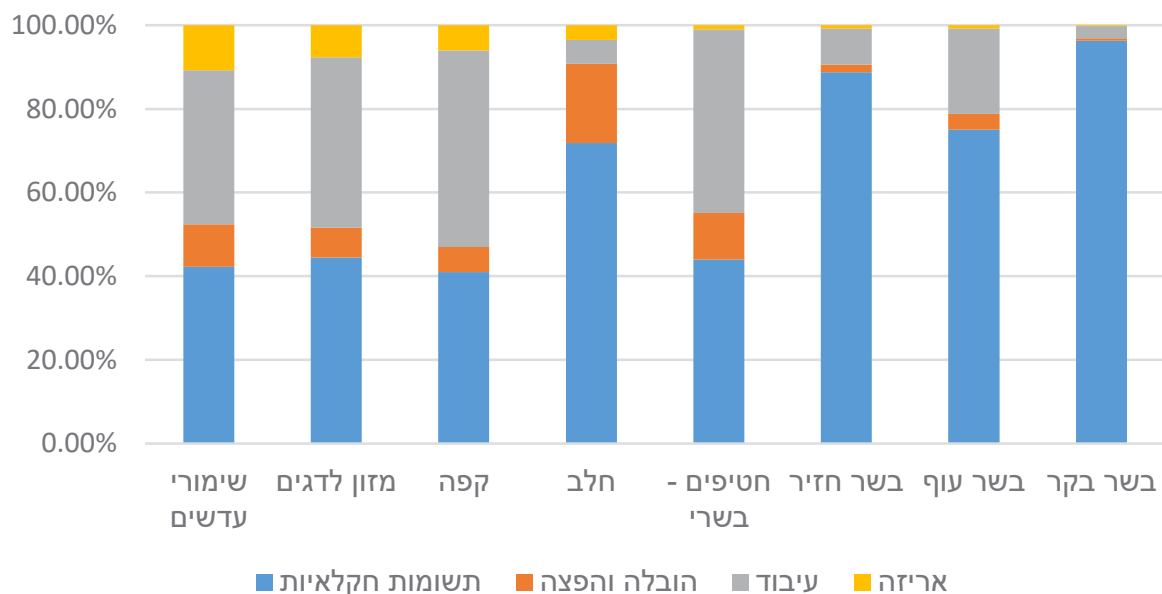
מסגרת תקני ISO 18601-6 להגדרות כלליות לאריזה סביבתית.

לסביבה, צריכת המים בעת גידול והוצאות האנרגיה לשינוע ולעיבוד. מכאן שפגיעה באיכות ההגנה שהאריזה מספקת למוצר עקב רצון להגיע לאריזה יותר סביבתית, תוביל במרבית המקרים לנזק סביבתי רב יותר שייגרם כתוצאה מאבדן המוצר. לפיכך, תכנון אריזה מנקודת מבט סביבתית, צריך להיעשות תוך התייחסות למכלול ההשפעות הסביבתיות בשרשרת הערך, ולא רק לאריזה עצמה. יחד עם זאת, חשוב להישמר מתכנון אריזה עודפת. אריזה עודפת היא אריזה הכוללת צריכה של משאבים, מעבר לאלו הדרושים להגנה על המוצר הנארז. אריזה זו תוביל לגידול ההשפעה על הסביבה ללא הצדקה של שימור חיי המוצר. מכאן בהסתכלות סביבתית, חשוב לבחון תמיד את מכלול המוצר-אריזה, כמערכת שלמה.

מרכיבי האריזה בעלות הסביבתית של המוצר

ייצור האריזה, כמו כל מוצר אחר דורש משאבים טבעיים שצריכתם משפיעה על הסביבה. משאבים אלו נדרשים בזמן מיקור חומרי הגלם, עיבוד המוצרים, מסלול השימוש באריזה וכן במסלול הטיפול באריזה בסוף חייה. כך, מצד אחד לאריזה עצמה מגוון השפעות על הסביבה ומצד שני, בזכות תפקידה בהגנה על המוצר, מקטינה האריזה את השפעת המוצר הנארז על הסביבה. אם נסתכל על מכלול ההשפעות הסביבתיות של המוצר המוגמר נראה שמרכיב האריזה מהווה לרוב חלק קטן מהן (10%-1%). 90% ומעלה הנתרים מהווים את ההשפעה הסביבתית של המוצר עצמו, עליו נועדה האריזה להגן, אלו משקפים את פליטת הפחמן של המוצר עצמו

פילוח טביעת הרגל הפחמנית של מוצרי מזון מייצגים



פילוח טביעת הרגל הפחמנית של מוצרי מזון נבחרים. השפעת השלבים השונים בחיי המוצר.

חומרים לאריזה	תכנון אריזה מקיימת	רקע כללי והגדרות
אריזה וקיימות	אריזה	כלכלה מעגלית
		קיימות



פרק שני: תכנון אריזה מקיימת



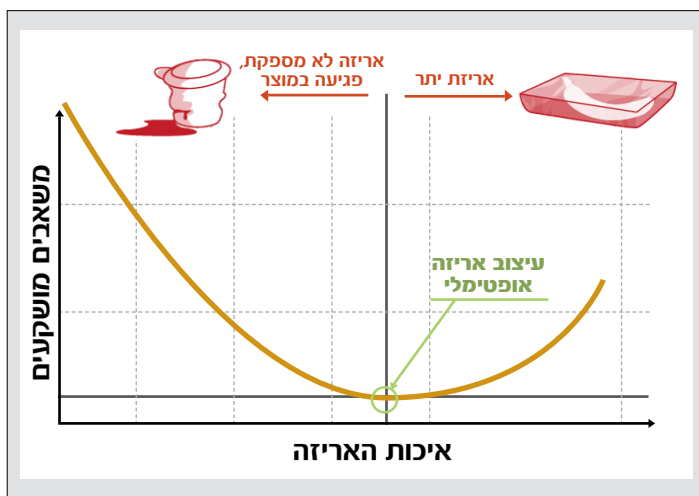
צעדים העוזרים בצמצום השימוש במשאבים מתכלים.

על מנת לתכנן אריזה מקיימת ניתן לאמץ מספר כיוונים המגדילים את אורך חיי המוצר, מצמצמים את כמות החומר באריזה ועושים שימוש מופחת במשאבים פוסיליים שאינם מתחדשים.

תכנון אריזה אופטימלית

של חומרי הגלם, כמו גם ייצור האריזות עצמן, צורכים משאבים אלו. על כן יש למצוא את הנקודה בה ייווצר איזון בין המשאבים המושקעים באריזה לבין הדרוש על מנת להגן על המוצר ולמנוע את אובדנו.

הפחתת כמות החומר המשמשת לייצור האריזה למינימום הנדרש על מנת להגן בצורה מיטבית על המוצר הנארז, מהווה צעד ראשון בתכנון אריזה סביבתית. מקורם של כל חומרי האריזה במשאבים טבעיים ותהליכי העיבוד וההכנה



דרישות בסיסיות מאריזה	דרישות סביבתיות
שיווק ומידע לצרכן	התכלות והשבה
התאמה לשינוע והפצה	התאמה למיחזור
בטיחות ונוחות השימוש	שימוש חוזר
הגנה על המוצר	צמצום צריכת משאבים מתכלים

אופטימיזציה של מערכת אריזה

חומרים לאריזה	תכנון אריזה מקיימת	רקע כללי והגדרות
עמדות בעלי המותגים	תמונת מצב	התאמה למיחזור
		שימוש חוזר
		אריזה אופטימלית

הבניית שימוש חוזר באריזה (תכנון לשימוש חוזר)

תקן ISO 18603 קובע הגדרות לבחינת שימוש חוזר באריזות. בהגדרה הכללית קובע התקן שאריזה לשימוש חוזר היא אריזה שנועדה להשיג מספר מרבי (מקסימלי) של מחזורי שימוש. עיקרי התקן:

1. מחזור שימוש מוגדר כסבב של מילוי או טעינה, שימוש וניצול התוכן ועד למילוי חוזר ותחילת מחזור נוסף.
2. התקן מחייב הבניית מערכת מעקב שתוכיח את מספר הסבבים שביצעה האריזה. זה יכול להיות בחינה ממוצעת, על ידי בחינת כמות המארזים החדשים הדרושים לשינוע כמות מוגדרת של מארזים. מספר הסבבים שבוצעו ביחס למספר המארזים החדשים שנצרכו, מאשר את היקף השימוש החוזר במארזים.
3. מערכת השימוש החוזר מחייבת הסדרים (ארגוניים, טכניים וכספיים) אשר יבטיחו את החזרת המארזים לשימוש חוזר.

עם שינוי העדפות הציבור והתפתחות טכנולוגיות האריזה והמידע, נפתחות אפשרויות חדשות לשימוש חוזר באריזות. גם אם בשלב זה מרבית הפתרונות מתאימים למוצרים שאינם מזון, תכנון אריזה המותאמת לשימוש חוזר יכולה להתאים באחד מהמסלולים המוצגים בגרף הבא, מתוך **מדריך אריזות לשימוש חוזר של קרן אלן-מקארטור**.

חשוב להבין כי המעבר לאריזות רב פעמיות מחייב שינוי רחב בכל מערך האספקה של המוצרים. יחד עם זאת, שילוב של טכנולוגיות מידע חדשות, מאפשר מעקב וניתוח מידע שלא היה קיים בעבר, שיכול להקל על ניהול מערך השימוש החוזר.

בעבר היה נפוץ השימוש החוזר באריזות (בקבוקי משקה, חלב, גביעי לבן וכדומה). אולם, עם ההתפתחות הטכנולוגית, המעבר לפלסטיק וצניחת עלות האריזה, דרישות ההיגיינה, עלות הלוגיסטיקה ההפוכה (החזרת האריזות לשימוש חוזר) וזמינות האפשרויות החד-פעמיות, דחקו החוצה את השימוש באריזות רב פעמיות, משיווק מוצרים ללקוח הסופי. יחד עם זאת, אריזות לשימוש רב פעמי עדיין קיימות כל העת במסחר בין עסקים B2B (ובשנים האחרונות אף במודלים של B2C) וזהו תחום ההולך וגדל.



הבניית שימוש חוזר באריזות



רקע כללי והגדרות	תכנון אריזה מקיימת	חומרים לאריזה
אריזה אופטימלית	שימוש חוזר	התאמה למיחזור
תמונת מצב	עמדות בעלי המותגים	

התאמה למיחזור

• קיום שוק שיקלוט את החומר הממוחזר לצורך ייצור מוצרים.

תקן [ISO 18604](#), עוסק בצורה רחבה בתנאים להגדרת אריזות כברות מיחזור. את הגדרת החומר כבר מיחזור (RECYCLABLE) שואב התקן מתקן [ISO 14021 section 7.7.1](#):

“Characteristic of product, packaging, or associated component that can be diverted from waste stream through available processes and programs and can be collected, processed, and returned to use in the form of raw material or products”

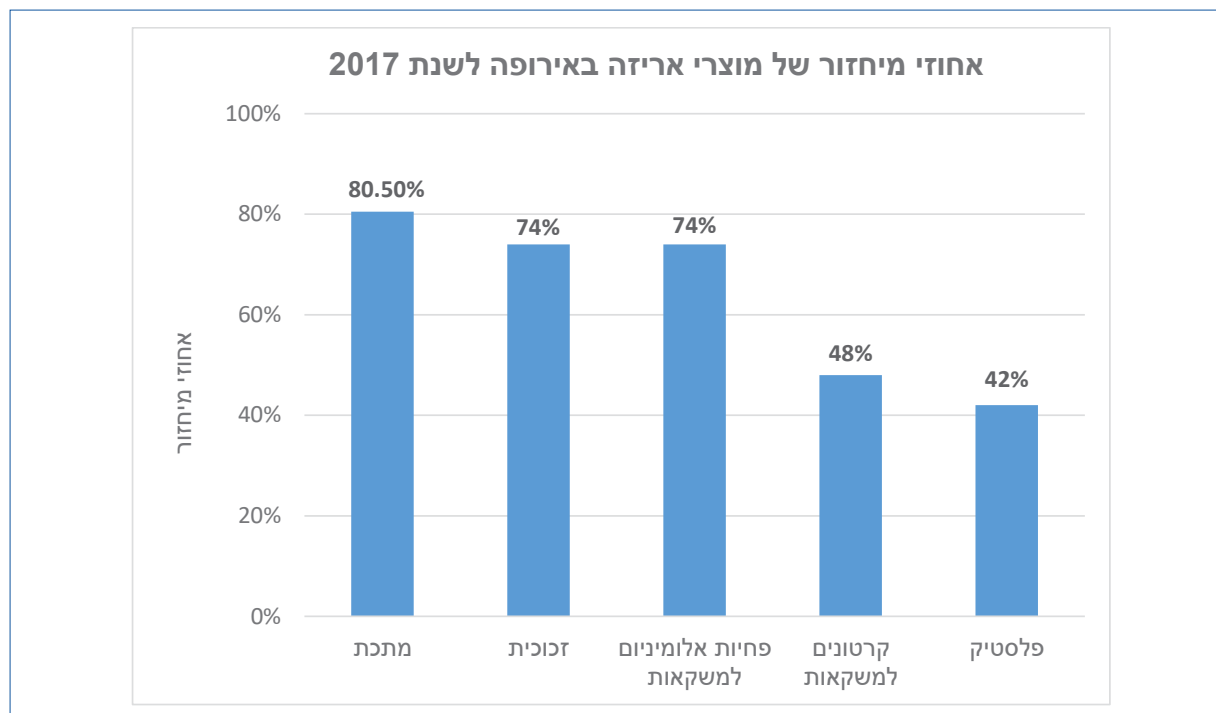
אחד הפתרונות המבוססים ביותר להפחתת ההשפעות על הסביבה של אריזות חד פעמיות הוא מיחזור החומרים מהם יוצרו האריזות. מאחר וטכנית ניתן למחזר כמעט כל חומר שנמצא בשימוש, אך הדבר אינו מבטיח את מיחזור החומר בפועל, נקבעו כללים אליהם יש להתייחס על מנת להגדיר חומר כ"בר מיחזור" (RECYCLABLE). ההגדרה הבסיסית של מיחזור כפי שמופיעה בתקן [ISO 14021](#) מחייבת:

- קיום של מערכת לאיסוף והפרדה של החומר לצרכי מיחזור.
- קיום של תהליך מיחזור שיכין את החומר לייצור מוצר חדש.

תמונת מצב - מיחזור סוגי אריזות שונות

באריזה עצמה. על מנת לשפר את התאמת אריזות הפלסטיק למיחזור, פורסמו בשנים האחרונות מספר מדריכים המגדירים דרישות לתכנון אריזות על מנת שיתאימו למערכי המיחזור באזורים הגאוגרפיים השונים. הבולט בין המדריכים הוא [RECYCLASS](#) שהוקם ומתוחזק על ידי איגוד ממחזרי הפלסטיק באירופה. במסגרת יוזמה זו, איגוד הממחזרים מבצע בדיקות של תאימות למיחזור עבור חומרים, הרכבים ותהליכים חדשים, על מנת לוודא את התאמתם לאפשרויות המיחזור הקיימות.

לגבי חומרי האריזה הוותיקים (זכוכית, מתכת, עץ ונייר לסוגיו השונים), הגדרות אלו מספקות תשתית מספקת להתאמת האריזה למיחזור. אלו מתמחזרים אצל יצרני חומר הגלם בהיקפים גדולים מאד. בפלסטיק המצב שונה בתכלית מאחר ומיחזור הפלסטיק מבוצע במרבית המקרים על ידי יצרני המוצרים ולא יצרני חומרי הגלם. בנוסף, הרבה ממוצרי האריזה הפלסטיים עשויים ממגוון חומרי גלם שונים באריזה אחת. מיחזורם יחד גורם לירידה משמעותית בתכונות החומר. בנוסף, תהליך המיחזור עצמו רגיש מאוד לזיהומים של שאריות מזון



היקפי המיחזור של חומרי האריזה השונים באירופה. מקור: [PEAL](#), [ACEA](#) (2017 data), [European Aluminum](#), [Eurostat](#) (2016 data).

חומרים לאריזה	תכנון אריזה מקיימת	רקע כללי והגדרות
עמדות בעלי המותגים	תמונת מצב	התאמה למיחזור
		שימוש חוזר
		אריזה אופטימלית

עמדת בעלי המותגים

- כל אריזות הפלסטיק יהיו נקיות מחומרים מסוכנים מכל סוג.

נקבע תאריך יעד להגעה למטרות אלו עד שנת 2025. את ההתחייבויות המפורטות עבור שאר הגורמים בכל מגזרי התעשייה והמסחר, **ניתן למצוא במסמך ההתחייבות עצמו**. לפי **דוח מעקב** שפורסם לאחרונה, עד כה חתמו על ההתחייבות מעל 200 חברות, מהגדולות בעולם, מעל 200 ארגונים גלובליים, רשויות מקומיות ואזורים רבות ועוד. הדוח בוחן את התקדמות הגופים החתומים בביצוע יעדי ההתחייבות. **דוח זה** מראה את ההשפעה הרחבה של המהלך, ביחד עם הפערים הקיימים בין היעדים שנקבעו, לביצוע בפועל. מצב זה רק מגביר את הלחץ להתקדמות ביישום היעדים.

ביוזמת "קרן אלן מקארטור" הצטרפו **מרבית בעלי המותגים הגדולים בעולם**, ליוזמת "כלכלת הפלסטיק החדשה".

במסגרת זו חתמו החברות על **התחייבות** משותפת:

- להימנע משימוש באריזות פלסטיק מיותרות וקשות למיחזור, על ידי תכנון מחדש וחדשנות במערך השיווק וההפצה של מוצרים.
- ליישם מודלים של שימוש חוזר היכן שניתן, על מנת להפחית את השימוש באריזות חד פעמיות.
- כל אריזות הפלסטיק יהיו ניתנות לשימוש חוזר, מיחזור או התכלות בקומפוסט.
- כל אריזות הפלסטיק יגיעו בפועל לשימוש חוזר, מיחזור או קומפוסטציה.
- השימוש בחומרים הפלסטיים ינותק לגמרי מהשימוש במשאבים מתכלים.

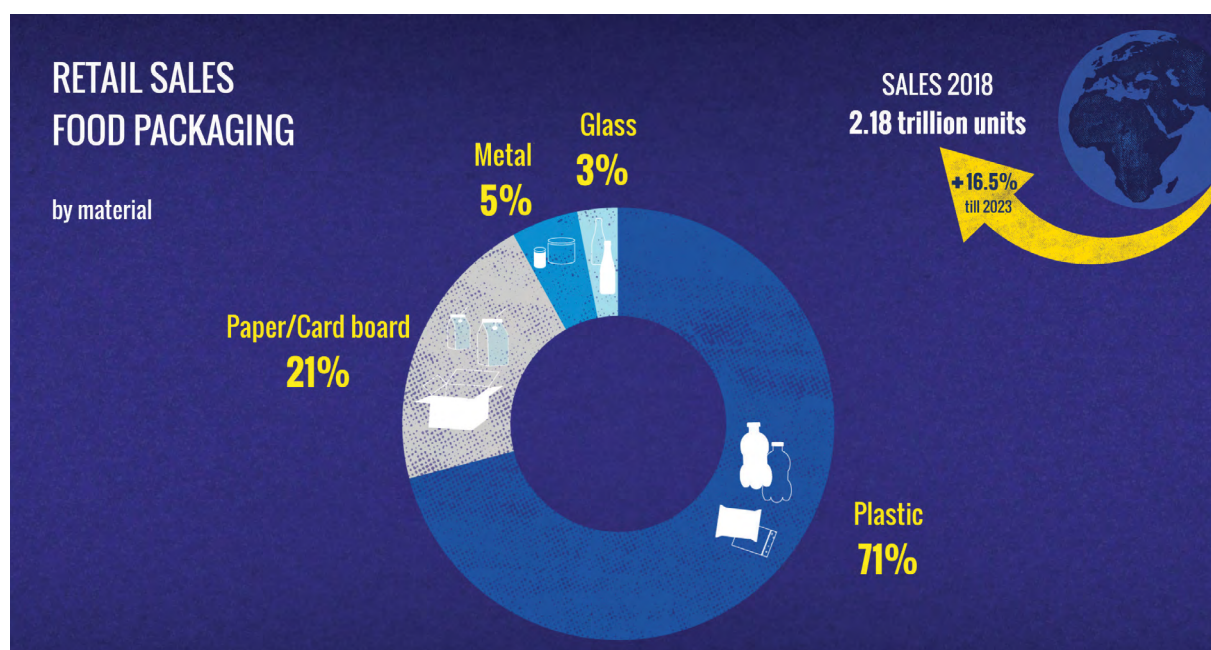


פרק שלישי: חומרים לאריזה

חומרי האריזה הנפוצים

להיבטים הסביבתיים אותם יש לקחת בחשבון בשלבי בחירת החומר לייצור אריזה מסוימת. את ההחלטה לבחירה צריך לקבל תוך התייחסות לדרישות הבסיסיות מהמוצר ותוצאות ניתוח מחזור חיים השוואתי בין האפשרויות השונות הנבדקות.

לבחירת החומר ממנו תיוצר האריזה השפעה משמעותית על הסביבה. מגוון השיקולים הרחב המעורב בבחירת חומר האריזה אינו מאפשר קביעת מסמרות שיכונו בכיוון זה או אחר. בסקירה זו נעסוק בתיאור קצר של החומרים האפשריים, תוך התייחסות



חלוקת שוק אריזות המזון (מספר יחידות מוצר) בין החומרים השונים ב-2018. מקור: VDMA, Euromonitor International, 2019.

חומרים לאריזה		תכנון אריזה מקיימת		רקע כללי והגדרות	
פלסטיק	שילוב חומרים	מתכת		זכוכית	נייר וקרטון

אריזות נייר וקרטון

אריזות נייר וקרטון מהוות כ-60% (משקלית) מסך חומרי האריזה שבשימוש אולם אם נסתכל על חלקן היחסי ממספר האריזות נראה ב-2018 כי רק 21% מאריזות המזון היו מסוג זה. אריזות אלו מיוצרות מסיבים טבעיים כאשר לרוב מקור הסיבים הוא מעץ. ברוב המדינות המפותחות, קיים מערך איסוף ומיחזור של אריזות אלו.

מאפייני החומר

אריזות נייר וקרטון מאופיינות במשקל נמוך וגמישות יחסית טובה. ניתן לייצר אריזות על בסיס נייר (קרטון במקרה זה) עם יחס חוזק משקל מעולה. אריזות מבוססות נייר מאפשרות הדפסה נוחה ואיכותית של מידע רב. מאחר והאריזות מיוצרות מחומר מתחדש (סיבי עץ) מקובל להניח שטביעת הרגל הפחמנית שלהם נמוכה ביחס לחומרי אריזה אחרים. מקור העץ לייצור הנייר צריך להיות מלווה בבקרה על מקורות החומר, על מנת להבטיח שאספקת החומר אינה גורמת לנזקים משמעותיים ליערות.

תהליך הייצור

תהליך הייצור של מוצרי נייר וקרטון כולל שני שלבים עיקריים. שלב ייצור עיסת הנייר, PULPING, וייצור הנייר. בתהליך ייצור העיסה מעבדים את שבבי העץ ביחד עם סיבים ממוחזרים לפי הצורך. לאחר מכן העיסה עוברת למערך ייצור הנייר או הקרטון.

סוגי הנייר והקרטון השונים

תחום האריזות המבוססות על סיבים טבעיים נחלק בין נייר לקרטון. לפי ההגדרה המקובלת על ידי ISO מוצרי נייר בעלי משקל של מעל 200 גרם/מ"ר נחשבים קרטון. כלל זה נכון במרבית המקרים. חלוקה נוספת הקיימת בתחום זה היא בין נייר שיוצר מסיבים גולמיים (KRAFT) לנייר שיוצר מסיבים שעברו הלבנה (BLEACHED). בתהליך ההלבנה משתמשים בכימיקלים שונים (מחמצנים) להסרת הליגנין מסיבי הצלולוזה. תהליכים אלו נחשבים מזיקים לסביבה. בתהליך ייצור הנייר יש שימוש רב במים וייצור שפכים רבים. כמוכן שבעולם הנאור שפכים אלו מטופלים וממוחזרים, ולכן השפעתם אינה משמעותית. סוגים עיקריים המשמשים לאריזה:

- נייר גולמי ללא עיבוד נוסף.
- נייר המכיל סיבים סינטטיים.
- נייר או קרטון שעבר טיפול כימי או ציפוי.
- קרטון "דופלקס" רגיל, אפור בצד אחד ומולבן בצידו השני.
- קרטון "טריפלס" בעל עמידות משופרת לקריעה.
- קרטון גלי לסוגיו השונים.

גורמים המשפיעים על היעילות הסביבתית של מוצרי נייר וקרטון

מקור החומר

הגורם העיקרי המשפיע על היעילות הסביבתית הוא

מקור חומר הגלם (העץ) לייצור הנייר. עקב חשיבות שימור היערות בעולם, הוקמו מערכות לבקרה על מקורות העץ לשימושים תעשייתיים. לכן חשוב להגדיר לספק שמקורות העץ בו הוא משתמש יהיו מאושרים על ידי אחד מהארגונים העוסקים בנושא שימור היערות (FSC, PEFC ואחרים). לצורך בקרה אמיתית על מקורות החומר, נדרש פירוט מלא, בקרה של מקורות החומרים הממוחזרים, וחלקם בסל המקורות של מוצרי הנייר שסופקו.

שימוש בסיבים ממוחזרים

מוצרי נייר וקרטון, המיוצרים מחומרים טבעיים בלבד, מתאימים להתכלות בקומפוסט. אולם, מאחר ויש יתרון סביבתי למיחזור החומר על פני התכלות, יש העדפה להעברת אריזות לאחר השימוש למיחזור ולא למערך הטיפול בחומר אורגני. השימוש בחומר ממוחזר חוסך בעיקר את הצורך במיקור עץ לצורך ייצור מוצרי האריזה הדרושים. על פי ארגון מיחזור הנייר האירופאי, מעל ל-70% מאריזות הקרטון באירופה מגיעות למיחזור כאשר בעולם עומד המספר על 58%.

למרות האחידות היחסית של החומר, ישנם מספר גורמים המקשים, מסבכים ומייקרים את מיחזור הסיבים לשימוש במוצרים חדשים. מאחר ומיחזור נייר מבוצע במערכות גדולות היכולות להתמודד עם מגוון זיהומים, הגדרות התאימות למיחזור אינן חד משמעיות. הכללים הבאים נועדו להקלה ושיפור מיחזור הסיבים מאריזות משמשות:

- מומלץ להימנע, עד כמה שניתן, משילוב חומרים שאינם סיבים באריזה: שכבות חסימות, ווקס, פלסטיק, אלומיניום, כמו גם מערכות אחרות להגנה בפני לחות. זיהומים אלו יכולים לעכב ולהקשות על פירוק הסיבים בעת המיחזור.
- דבקים ושעוות מסוגים מסוימים גורמים להאטה בתהליך פירוק הסיבים ומגדילים משמעותית את הפחת בתהליך. לכן מומלץ לצמצם את השימוש בחומרים שאינם מאושרים לתהליך המיחזור. איגודי יצרני הנייר הקימו מסגרת לבחינת ואישור תאימות תוספים מסוג זה למערכת המיחזור.
- צבעי הדפוס גם הם מקשים על מיחזור הסיבים. לכן מומלץ לצמצם את כיסוי הדפוס למינימום הדרוש. גם לבחירת סוג צבע הדפוס שבשימוש השפעה משמעותית על אפשרות המיחזור. גם במקרה זה מומלץ להתייעץ עם איגוד יצרני הנייר באזור השיווק של המוצרים, לגבי בחירת סוג צבע הדפוס המיועד.
- צמצום מספר החומרים השונים המרכיבים את האריזה. בתהליך המיחזור של מוצרי הנייר, ניתן להפריד בקלות יחסית מרכיבים מוצקים שאינם נייר (פלסטיק, מתכות וכדומה). יחד עם זאת, הפרדת מרכיבים אלו פוגעת ביעילות הכללית של תהליך המיחזור ומלווה בפחת גדול מהתהליך.

חומרים לאריזה

תכנון אריזה מקיימת

רקע כללי והגדרות

פלסטיק

שילוב חומרים

מתכת

זכוכית

נייר וקרטון



אריזות זכוכית

זכוכית משמשת לאריזה מימי קדם. כיום כ-3% מאריזות המזון מיוצרות מזכוכית, אך חלקן במשקל חומרי האריזה גבוה בהרבה. מכילי ובקבוקי זכוכית מיוצרים מחומרי גלם טבעיים: מחול (סיליקה), נתרן פחמתי, מעט אבן גיר ומספר תוספים. בפועל ניתן למחזר זכוכית ללא כל מגבלה על מחזורי המיחזור מאחר והחומרים אינם נפגעים בתהליך הייצור. חימום חומרי הגלם לייצור זכוכית לטמפרטורה גבוהה (כ-1500 מעלות צלזיוס) צורך אנרגיה רבה. מאחר וחומרי הגלם לזכוכית זמינים וזולים, היתרון העיקרי של מיחזור זכוכית מתבטא בחיסכון באנרגיה מכיוון שזכוכית ממוחזרת ניתנת בטמפרטורה נמוכה מחומרי הגלם המקוריים.

מאפייני החומר

אריזות זכוכית מאופיינות בחוזק מכני גבוה ביותר, עמידות בחום, שקיפות, עמידות כימית, חסימות גבוהה ואינרטיז מוחלטת. לצד יתרונות אלו קיים חסרון משמעותי, משקל האריזות גבוה בהרבה מכל חומרי האריזה המקובלים. האריזות גם רגישות לשבר ולכן מחייבות מערך לוגיסטי מותאם לשלבי שינוע האריזות והמוצרים. בעבר היה שימוש נרחב באריזות זכוכית לשימוש רב פעמי. שימוש זה פחת משמעותית בעשורים האחרונים, עקב העלות הגבוהה (לכללית וסביבתית) של מערך הלוגיסטיקה ההפוכה, ומערכי הניקוי והחיטוי של האריזות לקראת שימוש חוזר. כיום, מקובל להניח שבקבוק זכוכית רב פעמי ישמש ל-6-10 מחזוריים בלבד. לאחר מכן הבקבוק יהיה שרוט מידי לשימוש נוסף ויהיה צורך למחזרו.

מיחזור החומר
מיחזור החומר פשוט אך עקב עלותם הנמוכה של חומרי הגלם לייצור זכוכית, איסוף ומיחזור הזכוכית אינו כלכלי ללא תמיכה חיצונית. [על פי איגוד יצרני הזכוכית האירופאי](#), בפועל ממחזרים באירופה 76% מאריזות הזכוכית ואילו בארה"ב ממחזרים **רק כ-34%**. פערים אלו נובעים מהבדל בגישה למיחזור בין מדינות אירופה לארה"ב.

זכוכית שטוחה, ושאר מוצרי הזכוכית, שונים בהרכבם הכימי מזכוכית המיועדת לבקבוקים ומכלים. לכן, בייצור בקבוקים ומכלים ניתן לשלב רק זכוכית הממוחזרת גם היא מיישומים אלו. לצורך מיחזור הזכוכית יש להפריד מהחומר את כל החומרים הזרים, מתכות, פלסטיק ומינרלים שונים. כמו כן יש להפריד את הזכוכית לצבעים השונים ולגרוס אותה לגודל אחיד. זכוכית שאינה מתאימה למיחזור ממוחזרת גם היא בהיקפים משמעותיים לייצור סיבי זכוכית או תחליפי חול ואגרגטים לשימושים שונים.

בזכות התכונות החריגות של זכוכית ביחס לשאר החומרים קל יחסית להפריד את מרבית הזיהומים ממנה. בזכות זאת קיימות יחסית מעט מגבלות על תכנון אריזות זכוכית שיתאימו היטב למיחזור:

- העדפה לזכוכית שקופה או ירוקה או שימוש בצבעים אחרים מקובלים בשוק.
- הימנעות משילוב סוגי זכוכית אחרים, חומרים קרמיים ומינרלים חריגים.
- צמצום הדפסה ישירה על המוצר ובחירת צבע מתאים.



חומרים לאריזה		תכנון אריזה מקיימת		רקע כללי והגדרות	
פלסטיק	שילוב חומרים	מתכת	זכוכית	נייר וקרטון	

אריזות מתכת

גם אריזות מתכת משמשות את האדם מימי קדם אולם כיום רק 5% מסך אריזות המזון מיוצרות ממתכת. תעשיית אריזות המתכת מבוססת ומציעה פתרונות הדפסה מגוונים, המאפשרים חזות אטרקטיבית והצגה טובה של מידע שיווקי מתבקש.

מאפייני החומר

אריזות מתכת מאופיינות בחוזק מכני רב, אטימות מצוינת לקרני אור וחדירות ביחד עם עמידות תרמית מצוינת. אולם מכיוון שמתכות רגישות לתקיפה כימית של המוצר הנארג, הן מחייבות במרבית המקרים בציפוי להגנה על המתכת. ניתן לחלק את אריזות המתכת לשתי קבוצות עיקריות: אריזות ברזל ואריזות אלומיניום. בכל קבוצה מגוון פתרונות רחב.

יתרונות האריזה

- חוזק מכני ועמידות בפני שבירה.
- משקל נמוך יחסית ליחידת נפח.
- עמידות בטמפרטורות גבוהות.
- חסימות מלאה לחדירות גזים ואדי מים.
- נוחיות גבוהה בשימוש.
- אחידות החומר - מאפשר מיון ומיחזור בקלות.

מיחזור החומר

אריזות מתכת מיוצרות מיסודות טבעיים שאינם נפגעים במחזור הייצור. עיבוד החומר בטמפרטורה גבוהה, מבטיח

רגישות נמוכה יחסית לזיהומים (אורגניים). בנוסף, במהלך עיבוד ומיחזור החומר במפעלי ההתכה ניתן לתקן את הרכבו. לפיכך כמעט ואין מגבלות בתכנון אריזות מתכת מבחינת התאמתן למיחזור והחומר מתאים תאורטית למיחזור אין סופי. בפועל, הפרדת אריזות המתכת מהפסולת הכללית קלה ולכן מאפשרת מיחזור בהיקפים גבוהים מסך השימוש. באירופה ממחזרים כ-75% מאריזות האלומיניום ומעל ל-80% מאריזות הפלדה שמשווקות מידי שנה.

מרבית אריזות המתכת בשימוש לצרכן הסופי אינן מתאימות לשימוש חוזר. מאחר ובמרבית המקרים פתיחת האריזה כרוכה בקריעה או חיתוך של אלמנט הסגירה. בתחום המסחרי והמוסדי, קיימות אריזות מתכת לשימוש חוזר כגון: חביות, כדים, משטחי שינוע וכדומה. בשנים האחרונות יש מספר ניסיונות לפיתוח אריזות מבוססות מתכת לשימוש חוזר, לאספקת מוצרים לצרכן הסופי, כגון יוזמת **LOOP**.

מקורות חומר הגלם לייצור אריזות מתכת הינם ממחצבים טבעיים. מחצבים אלו נחשבים זמינים בצורה טובה. תהליך ההפקה של המתכת לשימוש מהמחצבים צורך אנרגיה רבה. הדבר אמור במיוחד לגבי אלומיניום, שתהליך זיקוק שלו מהמחצב בוקסיט, צורך כמויות גדולות מאד של אנרגיה. מול תהליך של הפקת המתכות מהמקורות הטבעיים, **שימוש בחומר ממוחזר חוסך את מרבית האנרגיה** הזו (בין 60% חיסכון בפלדה ל-85% חיסכון עבור אלומיניום). חיסכון זה באנרגיה מניע את מערכת מיחזור המתכות.

חומרים לאריזה

תכנון אריזה מקיימת

רקע כללי והגדרות

פלסטיק

שילוב חומרים

מתכת

זכוכית

נייר וקרטון



אריזות משילוב חומרים

להפריד את המרכיבים השונים בתהליך המיחזור. דוגמה לכך היא שימוש בסגרי מתכת ושרוולי פלסטיק על מיכלי זכוכית. לאחר שבירת הזכוכית ניתן להפריד את המרכיבים האחרים בקלות, כך שלא יפריעו בתהליך המיחזור.

לשילובים נפוצים אחרים פותחו תהליכי מיחזור ייחודיים. מאחר ותהליכים אלו דורשים ציוד ייעודי, הם מתאימים רק למוצרים הזמינים בהיקפים גדולים. דוגמה טובה למקרים אלו הם קרטוני המשקאות (Tetra-pack). איכות הסיבים הגבוהה של הקרטון היא זו שדחפה למציאת פתרונות טכנולוגיים מתאימים. שימוש במתקני מיחזור נייר מיוחדים מאפשר הפרדה של המרכיבים הפולימריים או המתכתיים בעת ייצור עיסת הנייר, והעברת כל אחד מהמרכיבים למיחזור בזרם נפרד.

אולם, רבות מהאריזות המורכבות ממספר חומרים קשות ולא ניתנות למיחזור. אריזות אלו מוצאות את דרכן למתקני השבת אנרגיה או להטמנה. לכן בתכנון אריזה רב-רכיבית יש לחשוב מראש על מיחזור המוצר ולקחת זאת בחשבון עוד בשלב תכנון האריזה. פתרונות אפשריים כוללים:

- מציאת פתרונות להפחתת מספר החומרים בשימוש.
- שימוש במרכיבים שניתנים להסרה בקלות בעת מיחזור המרכיב העיקרי.
- שימוש במרכיבים נלווים המשתלבים בתוך פתרונות המיחזור לחומר העיקרי.
- תכנון אריזה בה הלוקח יבצע הפרדה במקור בין המרכיבים, לפני העברתה למיחזור.

שילוב חומרים שונים באריזה מאפשר לקבל שילוב של תכונות שלא ניתן לקבלן בשימוש בחומר גלם אחד. במרבית המקרים שילוב החומרים נועד לאחד בין תכונות מכניות של חומר מקבוצה אחת, עם תכונות עמידות או חזות של חומר מקבוצה אחרת. נביא כאן מספר דוגמאות נפוצות:

- ציפוי פולימרי לאריזות מתכת, לשיפור העמידות הכימית.
- ציפוי פולימרי על אריזות נייר וקרטון לעמידות בלחות וחסימות.
- שילוב של פלסטיק ומתכת באריזות קרטון, לשיפור החסימות והתפקוד.
- שילוב פלסטיק באריזות קרטון ליצירת חלונות וניראות.
- שילוב של חומרים פלסטיים שונים ביריעה, לשילוב תכונות חוזק וחסימות.
- שילוב מתכת, פלסטיק וזכוכית בתרסיסים שונים.

ההיבט הסביבתי של שילוב חומרים

בהיבט הסביבתי אריזות המורכבות מחומרים שונים, מאפשרות פתרונות אריזה יעילים. מצד שני פתרונות אלו מייצרים קושי בהתאמת האריזות למיחזור. בחלק מהמקרים מערכות המיחזור מותאמות לטיפול בשילובים אלו, תוך איבוד אחד המרכיבים בדרך. דוגמה טובה לכך הם הציפויים הפולימריים על אריזות מתכת. ציפוי זה אינו מפריע למיחזור, מאחר והוא נשרף לגמרי בתהליך העיבוד מחדש של החומר ותורם את חלקו לאנרגיה הדרושה לתהליך. במקרים אחרים ניתן בקלות יחסית

חומרים לאריזה		תכנון אריזה מקיימת		רקע כללי והגדרות	
פלסטיק	שילוב חומרים	מתכת	זכוכית	נייר וקרטון	

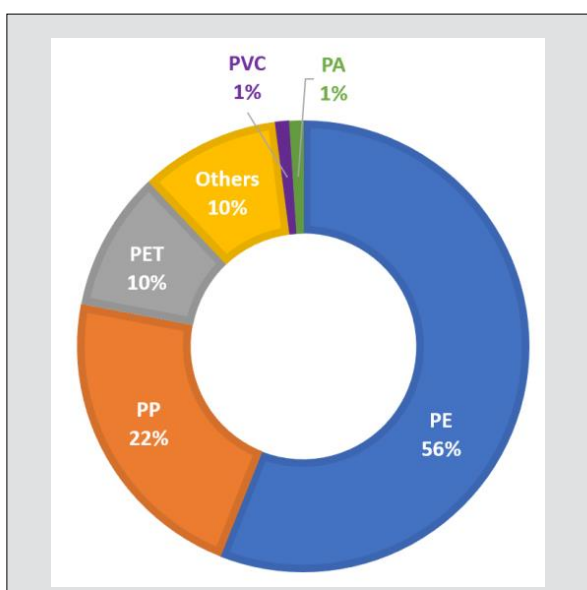


אריזות פלסטיק

המצאת הפלסטיק שינתה את חיינו מקצה לקצה. תכונות החומר, טכנולוגיות הייצור ההמוני, משקלו הנמוך ומחירו האטרקטיבי תמכו בשימוש נרחב בו במגוון תחומים ויישומים.

היסטוריה

אריזות הפלסטיק נכנסו לחיינו באמצע המאה ה-19. הופעת הבכורה הייתה בשנת 1862 ביריד הבינלאומי הגדול בלונדון. שם הוצגה אריזה ממקורות מתחדשים מבוססת צלולוז, חומר טבעי המופק מדפנות התא של צמחים. בתחילת המאה ה-20 הומצא הצלופן ויריעות גמישות העשויות ממנו שימשו לאריזת מזון. אולם גם הצלולוז וגם הצלופן אינם תרמופלסטיים והעמידו מגבלות מבחינת תכונות החומר. בשנת 1933 חלה מקפצה טכנולוגית עם המצאת הפולימר התרמופלסטי PVC ע"י Dow. יריעות מחומר זה שימשו בתחילה



סוגי הפולימרים הנפוצים באריזות. מקור: Plastics News.

חומרים לאריזה		תכונן אריזה מקיימת		רקע כללי והגדרות	
פלסטיק	שילוב חומרים	מתכת	זכוכית	נייר וקרטון	
התאמה למיחזור והתכלות	פולימרים מתכלים	פלסטיק ממקורות מתחדשים	ביופלסטיק	חומרים ממוחזרים	רקע כללי

חומרי אריזה אלטרנטיביים (נייר, זכוכית ומתכת)	פלסטיק
	אריזות אלטרנטיביות יצרכו אנרגיה גבוהה יותר בייצורן בהשוואה לפלסטיק - X2 
	אריזות אלטרנטיביות יצרכו שימוש גדול יותר במים בהשוואה לפלסטיק - X6 
	אריזות אלטרנטיביות ייצרו יותר פסולת מוצקה בהשוואה לפלסטיק - X5 
	אריזות אלטרנטיביות ישחררו יותר גזי חממה לאטמוספירה בהשוואה לפלסטיק - X4 

השוואה של אריזת פלסטיק לאריזות מחומרים אלטרנטיביים, מתכת נייר וזכוכית. מקור: LIFE CYCLE IMPACTS OF PLASTIC PACKAGING COMPARED TO SUBSTITUTES IN THE UNITED STATES AND CANADA.

חדשות לשילוב חומרים שונים במגוון טכנולוגיות: הזרקה רב-רכיבית, הזרקה וניפוח רב שכבתי ולמינציה וקו-אקסטרוזיה עבור יריעות גמישות. זאת על מנת לשפר את הפונקציונליות של האריזה ולהנות מתכונות שונות של מספר פולימרים. לצד היתרונות הפונקציונליים העצומים של אריזות אלו, חסרונן הגדול הוא היכולת למחזר אותן. מכיוון שהאריזות בנויות ממספר פולימרים שונים הדרך היחידה להפקת תועלת מהן בסוף חיי האריזה היא על ידי מיחזור כימי שעלותו גבוהה, או על ידי שימוש בהם כמקור אנרגיה (השבה).

מעבר לאריזות מחומר אחד

לאור האתגרים במיחזור אריזות רב שכבתיות עולה וגוברת המגמה למעבר לאריזה העשויה ברובה הגדול (>95%) מחומר מאותו סוג של פולימר. מגמה זו רלוונטית במיוחד באריזות גמישות בהן השימוש במגוון פולימרים נפוץ. אחת התכונות העיקריות באריזה גמישה המצריכה שילוב פולימרים היא החסמות לחמצן. זאת מושגת על ידי שילוב פולימרים שונים (EVOH, PVDC, PA) במטריצה אולפינית. לחומרים אלו ניתן למצוא תחליף בדמות שכבה דקה בעובי ננומטרי של מיתוך, לרוב מאלומיניום.

מיחזור אריזות המכילות אחוז נמוך של אלומיניום אפשרי. האלומיניום אינו פוגע בתכונות המכאניות של החומר הממוחזר אך מנגד משפיע על צבעו. פתרון לכך הוא מיתוך המבוסס על אלומיניום אוקסייד AlOx או סיליקון אוקסייד SiOx. שניהם שקופים ומאפשרים מיחזור ללא שינוי צבע. הלמינטים החדשים המשלבים חומרים אלו יאפשרו ליצרנים לסמן את היריעות הרב שכבתיות שלהם בסמל מיחזור המתאים לחומר העיקרי ממנו מורכבת האריזה.

לחיפוי ציוד צבאי ולאחר מכן גם ביישומי מזון. ציון דרך נוסף באותן השנים היה עם המצאת הפוליאטילן. לפולימר זה שילוב תכונות ייחודיות שהפך אותו לפלסטיק הנפוץ בעולם עד היום. בשנות החמישים החל השימוש בקופסאות פלסטיק קשיחות של Tupperware העשויות מ-PE שנחלו הצלחה כבירה. ב-1950 הומצאה שקית הזבל הראשונה העשויה מפוליאטילן. בשנות החמישים החל גם השימוש בבקבוקי פלסטיק, תחילה מפוליאטילן ומאחר יותר, בשנות ה-80 החל המעבר ל-PET. בשנות השישים הורחב השימוש גם לפוליפרופילן ועד היום מהווים פולימרים אלו (PE, PP, PET) את החלק העיקרי בחומרי אריזה פלסטיים.

פלסטיק ביישומי אריזה

40% מכלל תצרוכת הפלסטיק העולמית משמשת לאריזה. אם נסתכל על שוק האריזות נראה כי **50% ממנו** מורכב מאריזות פלסטיק ואילו ביישומי מזון עולה המספר ל-70%. **החומרים העיקריים שבשימוש** הנם הפוליאטילן (56%), הפוליפרופילן (22%) וה-PET (10%). למרות השימוש הנפוץ בפלסטיק באריזה, המשאבים הפוסיליים הדרושים לכך עומדים רק על **4%-6% מכלל תצרוכת הנפט והגז העולמית**.

השוואה לחומרי אריזה אחרים

בהשוואה גסה של אריזות פלסטיק לחומרים חליפיים, נראה כי לפלסטיק יתרון גדול בצריכת האנרגיה הדרושה לעיבודו, בפליטת גזי החממה הנוצרים בתהליך וכן במשקל ובהוצאות השינוע של האריזה הסופית. מבנהו הגמיש מאפשר לייצר ממנו גם יריעות דקות בעלות חוזק מכאני ועמידות לסביבה.

אריזות רב שכבתיות

ב-60 שנים האחרונות נעזרו יצרני האריזות בטכנולוגיות

חומרים לאריזה		תכנון אריזה מקיימת		רקע כללי והגדרות	
פלסטיק	שילוב חומרים	מתכת	זכוכית	נייר וקרטון	
התאמה למיחזור והתכלות	פולימרים מתכלים	פלסטיק ממקורות מתחדשים	ביופלסטיק	חומרים ממוחזרים	רקע כללי



חומרי פלסטיק ממוחזרים

לאחר שנים רבות בהן תעשיית מיחזור הפלסטיק הייתה צריכה להיאבק על מקומה, גוברת בשנים האחרונות ההבנה בקרב משתמשי האריזה, שללא הבניית השימוש בחומרים ממוחזרים ויצירת בסיס כלכלי איתן לשרשרת הערך של המיחזור, לא ניתן יהיה להתקדם בהיקפי המיחזור.

שהשאפה של החברות הגדולות לעמוד בהתחייבות שלקחו על עצמן להגברת שילוב חומרי גלם ממוחזרים באריזות מייצרת מקורות כספיים שמקדמים משמעותית את היקפי המיחזור. אלו, יוצרים מוטיבציה ליצרני חומרי הגלם הפלסטיים להתחיל לפעול ולממש פתרונות של מיחזור ביניהם גם מיחזור כימי של חומרים. תהליכים אלו היו מוכרים במשך שנים רבות אך עד כה לא הייתה כל היתכנות כלכלית לביצועם.

מחסור במקורות למיחזור

ההתקדמות בפיתוח תהליכי המיחזור והשימושים בחומרים ממוחזרים מובילים למחסור חמור בחומרים המתאימים למיחזור. זמינות החומרים למיחזור תלויה בכל שרשרת הערך: החל מתכנון המוצר והשימוש בו וכלה בכל שרשרת הטיפול בפסולת, איסוף, מתקני מיון, שינוע ואספקת החומר לממחזר המתאים. שיפור בהתאמת האריזות למיחזור ולמיון, ביחד עם העלאת הערך של חומרים ממוחזרים, צפויים יחדיו לשפר את זמינות החומרים ולאפשר גידול בהיקפי המיחזור.

תקינה בתחום

ב-2008 פורסם עדכון לתקן **ISO 15270** העוסק בהגדרת תהליך מיחזור הפלסטיק. התקן נוגע בכל שרשרת הערך של מיחזור הפלסטיק:

- מקורות החומר למיחזור (לפני \ אחרי השימוש).
- תהליכי המיחזור השונים (מכני, כימי, ביולוגי, השבה).
- המופעים השונים של חומר מממוחזר (גרוס, מצופף, מגורען).

מקורות החומר הממוחזר:

את מקורות החומר למיחזור ניתן לחלק לשתי קבוצות



צעדים מומלצים בתכנון אריזה הניתנת למיחזור.

הלחץ הציבורי ככוח מניע

עיקר הדחף להשתמש בחומרים ממוחזרים, נובע מפעילות קרן מקארטור לצירוף כמה שיותר גופים עסקיים וציבוריים **להתחייבות כמויות מוגדרת להפחתת יצירת הפסולת הפלסטית**. כבר כיום ניתן לראות

חומרים לאריזה		תכנון אריזה מקיימת		רקע כללי והגדרות	
פלסטיק	שילוב חומרים	מתכת	זכוכית	נייר וקרטון	
התאמה למיחזור והתכלות	פולימרים מתכלים	פלסטיק ממקורות מתחדשים	ביופלסטיק	חומרים ממוחזרים	רקע כללי

עיקריות:

1) פלסטיק ממוחזר ממקורות תעשייתיים ומסחריים (Post Industrial Recycled-PIR)

חומר זה נאסף ממקורות תעשייתיים ומסחריים. תחת הגדרה זו נכנסים גם חומרים ממוחזרים לפני שימוש הצרכן (Pre-Consumer Recycled Plastics). חומרים שנאספים ממקורות אלו נמצאים בבקרה בכל מחזור חייהם. לכן, הם בעלי איכות טובה וידועה ובמרבית המקרים אין מגבלות על שימוש בהם. איסופם נעשה בצורה ממוקדת ולרוב נמנע ערבוב לא רצוי עם חומרים שונים. על כן, בהגדרות המקובלות כיום, חומר ממוחזר ממקורות תעשייתיים ומסחריים לא נחשב חומר ממוחזר. הגדרה זו לא מפחיתה מחשיבות ניצול כל חומר שניתן לנצל ממקורות אלו.

2) פלסטיק ממוחזר לאחר שימוש צרכני (Post-Consumer Recycled PCR -

חומר זה נאסף מהציבור לאחר גמר השימוש של המוצר או האריזה. תקן [ISO 14021](#) מגדיר בצורה פשוטה וברורה אילו חומרים יחשבו PCR:

"Material generated by households or by commercial, industrial and institutional facilities in their role as end users of the product which can no longer be used for its intended purpose. This includes returns of material from the distribution chain. It excludes pre-consumer material"

המאפיין העיקרי של חומרים ממקורות אלו, הוא חוסר הוודאות לגבי הרכב החומר והשימושים שבוצעו במוצרים לפני שהם הועברו למיחזור. חוסר ודאות זה מחייב עיבוד מקדים ושטיפה של החומר ליצירת הרכב ברור ובר טיפול להמשך התהליך. לאחר הטיפול מושגות מגבלות לגבי השימוש החוזר בחומר לשימושים כגון אריזות מזון.

תהליך המיחזור של פסולת משימוש צרכני (PCR)

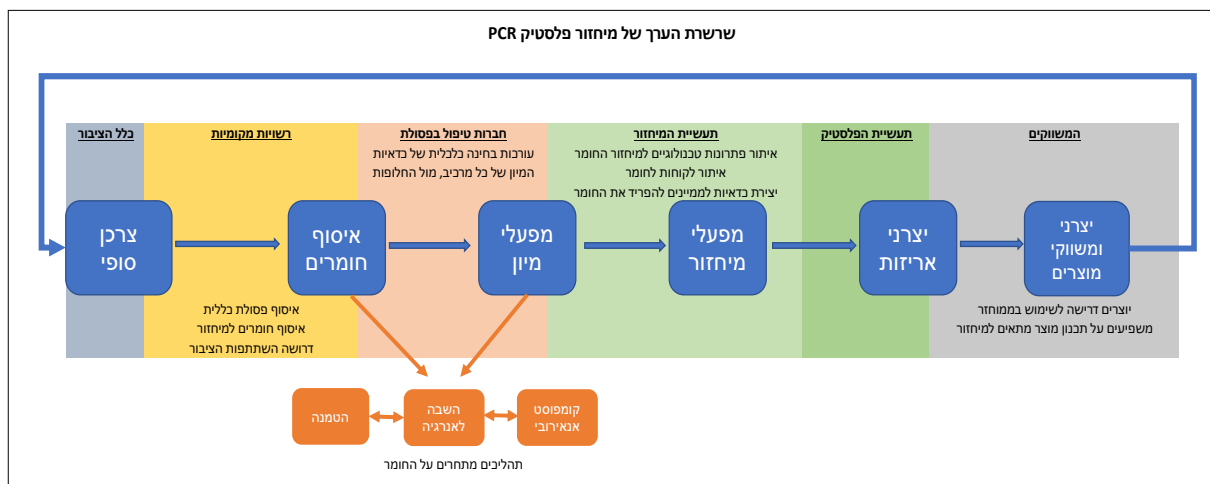
מיחזור PCR הוא תהליך מורכב שמעורבים בו מספר רב של גורמים בעלי אינטרסים שונים ולעיתים אף מנוגדים. התהליך מתחיל בתכנון האריזה אצל בעלי המותגים, והכללת שיקולי סוף החיים כבר בעת תכנון המוצר.

המוצר צריך להיות מתאים לשימוש נכון אצל הלקוח, אך גם לשכנע את הלקוח הסופי לטפל נכון במוצר בסיום השימוש. הרשויות המקומיות, צריכות להקים ולתפעל מערכת איסוף מתאימה למיחזור החומרים. מערכת איסוף הפסולת צריכה להתאים להעברת החומרים למפעלי מיון מתאימים. מפעלי המיון מצידם צריכים לבצע את המיון בהתאם לצרכי מפעלי המיחזור, אשר צריכים להפעיל את הטכנולוגיה המתאימה על מנת לספק את החומר באיכות המתאימה ליצרני האריזות. לבסוף, יצרני האריזות צריכים להחזיק בטכנולוגיה המתאימה לייצר מהחומר הזמין אצל הממחזרים את המוצרים באיכות הנדרשת על ידי יצרני המוצרים. כבכל שרשרת, גם במקרה זה התהליך תלוי בחוליה החלשה ביותר. כך שרק שילוב ושיתוף פעולה של כל הגורמים בשרשרת, יבטיח את שיפור הזמינות והאיכות של חומר ממוחזר. בהתאם לשלבים השונים בשרשרת הערך של המיחזור, ניתן גם לערוך פירוט ראשוני של מאפייני החומרים בכל שלב בתהליך.

מפעלי המיון והמיחזור

מפעלי המיון מפרידים מתוך זרם הפסולת המגיע אליהם את החומרים למיחזור. במרבית המקרים המפעלים מתמקדים בחומרים הזמינים בכמויות משמעותיות, ולכן מחיר טוב בשוק המיחזור. מגבלה זו מובילה להתמקדות ההפרדה במרכיבים גדולים יחסית (מבחינת גודל פיזי ומשקל) ובמגוון חומרים מצומצם. לרוב מתמקדים המפעלים בהפרדת בקבוקים (במיוחד PET ו-HDPE) ומוצרים קשיחים שונים. מיון והפרדה של חומרים גמישים קשה ומפיקה תערובת רחבה של חומרים, אותם קשה מאד למיין על מנת ליצור ערך. מגבלה נוספת במיחזור חומרים גמישים, נובעת מהיחס בין כמות החומר למיחזור לכמות הזיהומים שמתקבלים עם החומר. החומרים שהופרדו נדחסים לרוב לחבילות (BALES) המאפשרות שינוע יעיל של החומר למפעלי המיחזור. התאגדויות הממחזרים באזורים השונים בעולם (כדוגמת [PRE באירופה](#), [APR בארה"ב](#)) קבעו הגדרות בסיסיות לאיכות ובדיקות החומר המיועד למיחזור. הגדרות אלו נועדו לאפשר שפה משותפת ומסחר חופשי בין מפעלי המיון למפעלי המיחזור. הן מכסות רק את המרכיבים הנפוצים והשגרתיים שמופרדים מזרם הפסולת.

שרשרת הערך של מיחזור פלסטיק PCR



תיאור סכמתי של כלל מחזיקי העניין במסלול הטיפול של פסולת לאחר השימוש.

רקע כללי והגדרות		תכנון אריזה מקיימת		חומרים לאריזה	
נייר וקרטון	זכוכית	מתכת	שילוב חומרים	פלסטיק	התאמה למיחזור והתכלות
חומרים ממוחזרים	ביופלסטיק	פלסטיק ממקורות מתחדשים	פולימרים מתכלים	התאמה למיחזור והתכלות	רקע כללי

מרבית האריזות שאינן מופרדות למיחזור, או שאינן יכולות לעבור ניקוי מפסולת אורגנית מתאימות היטב להשבה לאנרגיה בזכות הערך הקלורי הגבוה של החומרים. לכן במפעלים מתקדמים למיין חומרים למיחזור, שאריות המיין, הכוללות פלסטיק, נייר, קרטון וטקסטיל מעובדות לייצור דלק מפסולת (RDF - Refuse Diverted Fuel).

מפעלי המיחזור משלימים את מיין החומר כך שיתאים לצרכי הייצור שלהם ומעבדים את החומר לרמה הנדרשת על ידי הלקוחות. המגוון הרחב של החומרים השונים, דרגות הניקיון ורמות העיבוד, מחייבים הגדרה מפורטת של דרישות האיכות שנקבעת בין מפעל המיחזור ובין לקוחותיו. תקן [EN 15347](#) המגדיר את הפרמטרים אותם יש להגדיר בתיאור חומר ממוחזר על מנת להבטיח שפה משותפת בין הצדדים לכל עסקה:

- הגדרת סוג החומר וזיהומים עם חומרים אחרים, כולל רמות זיהום.
 - גודל המנה וזמינות החומר לאורך זמן.
 - צבע החומר (היכן שניתן להגדיר צבע) או הגדרת גוון ממוצע בתערובות.
 - תיאור פיזי של החומר, לדוגמה גרוס, דחוס או מגורען.
 - מידע על מקור החומר, דרך האיסוף והטיפול שערב.
 - מאפייני האריזה של החומר.
- הערה חשובה: חומר ממוחזר אינו צריך לעמוד בתקני הבטיחות המקובלים REACH ו-RoHS, אך המוצרים המיוצרים מחומר ממוחזר מחויבים בכל התקנות. על כן יש חשיבות בבחינת מקורותיו.

סוגי חומרי גלם ממוחזרים

חומר גרוס

גריסה פנים מפעלית מהווה דרך בסיסית ביותר למיחזור חומר. גריסת החומר מאפשרת טיפול, אחסון, שינוע ומינן של החומר בדרך מתועשת. חומר גרוס ללא טיפולי המשך, ישים כחומר גלם, רק כאשר הוא יוצר מחומר ממקור מוגדר ומבוקר. מכאן שחומר בצורה כזו לא יחשב חומר ממוחזר לאחר השימוש (PCR) מאחר ולא יצא את גבולות היצרן המקורי ולא היה בשימוש. ניתן להגדיר את תכונות החומר מסוג זה לפי תכונות חומר המוצא. הגדרות נוספות הנדרשות לחומר:

- שם החומר - סוג הפלסטיק.
- מאפיינים נוספים של החומר - זרימה, פירוט מדויק של חומר המוצא, צבע, תוספים וכו'.
- מאפיינים פיזיקליים - גודל גריסה, משקל נפחי, תכולת אבק, אריזה.
- רמת ניקיון - הגדרת מזהמים אפשריים, ורמתם המרבית המוסכמת.

חומר גרוס, ממין ושטוף

חומר שכזה עבר בנוסף לגריסה גם מיין מתקדם ושטיפה (ברמה כזו או אחרת). חומר זה כבר יכול להגיע ממקורות לאחר השימוש (PCR), ולכן מחייב הגדרה ובקרה על איכות הטיפול וההרכב הצפוי של החומר. שטיפת החומר מאפשרת ברמה הבסיסית להפריד מתוך החומר מזהמים בלתי רצויים. במידה ונדרש ניתן לבצע שטיפה חמה היכולה להפריד מזהמים הצמודים לחומר ולהבטיח ניקיון ברמה גבוהה יותר. בהיות החומר ממוחזר ממקורות

שונים, במרבית המקרים לא ניתן לדייק בהגדרת תכונותיו כפי שמבוצע בחומר חדש. לכן, כמו בכל חומר ממוחזר ממקורות מגוונים, יש חשיבות גדולה בהכנת והאחדת מנות ייצור גדולות כמה שניתן. האחדת מנות ייצור גדולות משפרת משמעותית את אחידות תכונות החומר בכל מנה. לכל מנה ידרשו בדיקות שיאפינו את הנתונים הטכניים שהתקבלו כתוצאה של ההאחדה. על אפיון החומר לכלול:

- שם החומר - סוג הפלסטיק.
- מאפיינים נוספים של החומר (ממוצע למנה) - זרימה, תכונות מכניות נדרשות, גוון וכו'.
- מאפיינים פיזיקליים - גודל גריסה, תכולת אבק, משקל נפחי, אריזה.
- רמת ניקיון - הגדרת מזהמים אפשריים ושכיחותם הצפויה.

חומר מצופף (AGGLOMERATED)

תהליך זה מתאים לשבבי יריעות המודבקים יחד בחום. חומר זה היה מקובל בעבר בעיבוד של יריעות למיחזור, כשלב ביניים בין חומר גרוס לחומר מגורען. מצד אחד, תהליך הציפוף (AGGLOMERATION) פוגע בתכונות החומר על ידי יצירת היסטוריה תרמית משמעותית. אולם מנגד, הציפוף משפר את תכונות הזרימה המכנית של החומר (העלאת המשקל הנפחי ושיפור זרימת החומר במערכות ההזנה). סכנה נוספת היא הטמעת זיהומים בתוך החומר שבדרך אחרת היו ניתנים לסינון. כיום הפופולריות של תהליך זה ירדה והוא פחות מקובל.

חומר מגורען

גרעון החומר מהווה את המדרגה המשמעותית הבאה מבחינת איכות החומר הממוחזר. חומר מגורען מיוצר לרוב מחומר גרוס באיכות מוגדרת. תהליך הגרעון אמנם מוסיף תהליך להיסטוריה התרמית של החומר ובכך פוגע במידה מסוימת בתכונותיו אולם לצד זאת, ניתן להעביר את היתר החומר סינון המבטיח סילוק חומרים שאינם תרמופלסטיים. רמת הניקיון נקבעת לפי רשת הסינון אשר מסננת על פי גודל.

תהליך הגרעון מבטיח גם ייצור חומר בעל גודל חלקיקים אחיד. גודל החלקיקים האחיד מאפשר שימוש בחומר המגורען הממוחזר בתהליכי הייצור הקיימים, ללא שינויים משמעותיים במערכות ההובלה וההזנה. עקב השונות הצפויה בתכונות החומרים, גם במקרה זה יש חשיבות גדולה לביצוע האחדה של מנות ייצור גדולות ככל האפשר על מנת ליצור יציבות בתכונות החומר. בתהליך הגרעון ניתן להוסיף לחומר תוספים שונים לקבלת תכונות מוגדרות, כגון צבע, שיפור תכונות מכניות ושיפור עיבוד החומר, בהתאמה לדרישות הלקוח. הגדרות לחומר מסוג זה, כבר דומות מאד לחומר בתולי ולרוב הן יכללו טווח רחב יותר של טולרנסים בתכונות העיקריות זאת מאחר והחומר יוצר מחומר הזנה שאינו אחיד.

חומר מגורען משודרג

בחומר כזה, מעבר לגרעון, בוצעו תהליכים נוספים על מנת להקנות לחומר תכונות מסוימות המבוקשות על ידי הלקוח. ניתן לנצל את מעבר החומר באקסטרודר בתהליך הגרעון על מנת לבצע תירכוך הכולל הוספת

רקע כללי והגדרות		תכנון אריזה מקיימת		חומרים לאריזה	
נייר וקרטון	זכוכית	מתכת	שילוב חומרים	פלסטיק	
רקע כללי	חומרים ממוחזרים	ביופלסטיק	פלסטיק ממקורות מתחדשים	פולימרים מתכלים	התאמה למיחזור והתכלות

מלאנים ומשריינים, ביחד עם צבעים, משפרי עיבוד ושאר תוספים מקובלים. יתרה מכך, בתהליך הגרעון ניתן לבצע תהליכים המשפיעים על המבנה המולקולארי של החומר, כגון שיפור זרימה או לחליפין הארכת שרשראות. תהליכים דומים מאפשרים גם לשפר את החומר על ידי תהליך הסרת זיהומים הדרוש על מנת לאפשר שימוש בחומר לייצור אריזות הבאות במגע עם מזון. מאחר ותהליכים אלו נתפרים למשימה מוגדרת, כך גם הגדרות איכות החומר המתקבל, צריכה להיות מוגדרת מראש. מכיוון שהחומר הממוחזר מורכב ממקורות מגוונים שאינם ברי שליטה, חשוב מאד לבחון את רמת הטולרנסים לתכונות השונות יש להגדיר גם את רמת הזיהומים המותרת בחומר לאחר תהליך המיחזור. כמובן נדרש לקבוע את נהלי הבדיקה של החומר, על מנת להבטיח את העמידה בדרישות שהוגדרו.

חומר ממוחזר כימית

חומר זה הוא למעשה חומר פלסטי חדש שחומרי הגלם לייצורו הופקו מפירוק של חומרים פלסטיים לאחר השימוש. ישנן מספר טכנולוגיות המתאימות לפירוק מבוקר של פולימרים. הפירוק יכול להיות למונומרים, אוליגומרים או פחממנים מורכבים ברמה כזו או אחרת. לאחר תהליך הפירוק ניתן לזקק התוצרים המשמשים כחומרי גלם נקיים המתאימים לייצור הפולימר. תהליך הפילמור מחדש דומה לתהליך הפילמור הרגיל של חומר בתולי ועל כן תכונותיו זהות הדבר שאינו זהה הוא המחיר, שכרגע עומד בראש הטבלה של חומרי הגלם הממוחזרים.

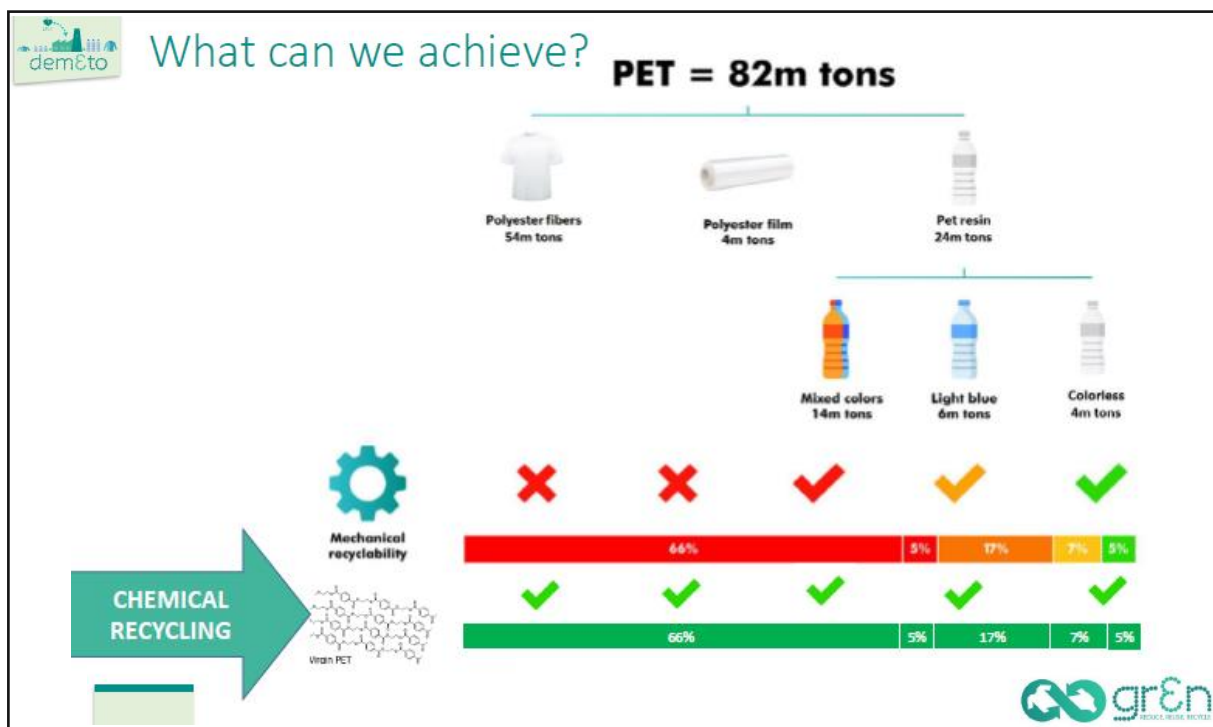
מיחזור כימי פותח בפנינו אפשרויות מיחזור לחומרים פלסטיים שעד היום נחשבו כלא מתאימים למיחזור. יתרה מכך, מיחזור כימי מאפשר לבצע שידרוג מלא (UPCYCLING) של החומר, לרמות איכות גבוהות מהחומר

המקורי ששימש לייצור המוצר. מיחזור כימי של פולימרים מאפשר להתגבר על מספר מגבלות מהותיות הקיימות במיחזור מכני:

- בעוד שבמיחזור מכני החומר מאבד קצת מתכונותיו המקוריות בכל מחזור עיבוד, במיחזור כימי החומר נבנה מחדש מחומרי המוצא. על כן לא קיים זיכרון תרמי של החומר.
- גיוון המופעים בחומר מסוים (זרימות שונות, הרכבים שונים, מבנים מולקולאריים שונים וכדומה), מקשים על מיחזור מכני. לעומת זאת, במיחזור כימי אין חשיבות לתכונות המדויקות של החומרים שהזינו את התהליך מכיוון שהחומר נבנה מחדש.
- במיחזור מכני אין שליטה על כמות והרכב התוספים שהיו או אבדו במהלך השימוש הקודם בחומר. חומר שנוצר מחומרי מוצא ממוחזרים במיחזור כימי הינו נקי מתוספים ולכן ניתן להתאים את סל התוספים לשימוש המבוקש.
- מיחזור מכני רגיש מאד לזיהומים בחומר ההזנה. במיחזור כימי מתבצעת הסרת הזיהומים בשלב הטיפול בחומרי המוצא הממוחזרים, בשיטות של התעשייה הכימית. לכן מיחזור כימי פחות רגיש לזיהומים בחומר ובמקרים מסוימים אף פחות רגיש לעירוב בין פולימרים שונים.

מגבלות ורגולציה

במרבית המקרים, השימוש בחומר ממוחזר אינו מבוקר על יד תקנות ייחודיות, פרט לכל הקשור בבטיחות החומר. לכן התקנות והתקנים המתייחסים ישירות לחומרים הממוחזרים מתמקדים בשני תחומים עיקריים: הראשון, נוכחות חומרים מסוכנים בחומר הממוחזר הנובעים מהשימושים הקודמים בחומר. השני, בטיחות השימוש בחומר הממוחזר לאריזות מזון.



דוגמה ליתרונות המיחזור הכימי על פני המיחזור המכני במיחזור פסולת PET שעד כה לא מוחזרה. סימן ירוק - מיחזור אפשרי ללא מגבלות. סימן אדום/כתום - המיחזור אפשרי אך עם מגבלות על הצבע המתקבל. מקור: **סימון מטעם DEMETO**.

חומרים לאריזה		תכנון אריזה מקיימת		רקע כללי והגדרות	
פלסטיק	שילוב חומרים	מתכת	זכוכית	נייר וקרטון	
התאמה למיחזור והתכלות	פולימרים מתכלים	פלסטיק ממקורות מתחדשים	ביופלסטיק	חומרים ממוחזרים	רקע כללי

- קיימת חובה לפרט **מרכיבים בעלי סיכון מיוחד (SVHC)** **לפי הרשימה באתר ECHA**. פירוט מלא ומבואר של הקשר בין תקנות REACH למיחזור ניתן למצוא במסמך של ECHA **(הרשות האחראית ליישום)**.

חומר ממוחזר במגע עם מזון

נושא השימוש בחומרים ממוחזרים במגע עם מזון עודו שנוי במחלוקת בין רשויות הבריאות בעולם. אולם, על מנת לסגור את מעגל החומר ברור מדוע עולה צורך זה. בחומרים פלסטיים בתוליים, מספיק לאשר את ספק חומר הגלם על מנת לאשר את המוצר הסופי. יצרן האריזה חייב רק להוכיח שהייצור אצלו בוצע בתנאים נאותים ושניקיון החומר נשמר.

לגבי חומרים ממוחזרים המצב שונה ואין אפשרות לאשר את ספקי חומר הגלם. מכיוון שקיים ספק לגבי שימוש שגוי או כניסת זיהומים לחומר לפני מיחזור, יש חובה בבדיקות איכות החומר הסופי של כל אצווה ואצווה. נהלים מתאימים נקבעו לאישור תהליכי מיחזור, תחילה על ידי ה-FDA **בארה"ב** ולאחר מכן גם על ידי ה-EFSA **באירופה**. נערכת בחינה של יכולת תהליך המיחזור להסיר ברמה גבוהה מגוון זיהומים שהוחדרו בכוונה לחומר לפני העברתו למיחזור. מסלול הבחינה מאפשר לרשות הבודקת לאשר שאין להם התנגדות לשימוש בחומר שמוחזר בתהליך הנבחן, במגע עם מזון (לעיתים במגבלות מסוימות), אך למעשה בשני המקרים לא ניתן אישור אקטיבי לשימוש. עד כה אושרו בארה"ב

בנושא בטיחות החומרים הממוחזרים יש להתייחס לשת קבוצות תקנות המקובלות באירופה:

- **RoHS**, מגבלות על שימוש בחומרים מסוימים (מתכות כבדות, ברומידים ופלטטים) בצידוד חשמלי ואלקטרוני.
- **REACH**, תקנות לרישום, תיעוד ומעקב אחר כימיקלים בכלל התעשייה.

חומרים פלסטיים שמקורם באריזה לרוב אינם מוצאים עצמם חזרה בשימוש בצידוד חשמלי או אלקטרוני ועל כן תקנות **RoHS** פחות משמעותיות. לעומת זאת, תקנות **REACH** תקפות גם לגבי חומרים ממוחזרים ומחייבות את הממחזרים להפיק גיליונות בטיחות (**REACH MATERIAL SDS**) לכל חומר שהם מספקים. לפי תקנות ה-**REACH**, "פסולת" אינה נחשבת חומר המחייב רישום ותיעוד אולם כאשר החומר מוחזר מפסולת זו - הוא חוזר להיות מחייב ברישום ותיעוד. כך נוצר מצב בו יש חוסר תיעוד לחומרים ממוחזרים שהוגדרו בעבר כפסולת ועל כן יש בעיה בשימוש חוזר בהם במוצרים. המוצא ממלכודת זו נמצא בהגדרה הקיימת של תערובות חומרים המקובלות בתקנות. לפי הגדרה זו, תערובת תוגדר לפי המרכיב העיקרי בה, בתנאי שהוא מהווה 80% לפחות מהרכב החומר. על כן אם שומרים על אחוז חומר ממוחזר הנמוך מ-20%, ניתן לקבל פטור מדיווח REACH על החומר הממוחזר. להגדרה זו מספר מגבלות שחשוב להכיר:

- המרכיב המשני יחשב משני רק אם אינו משמעותי לתפקוד החומר.

שם הארגון	תויות האיות	מדינה	הסבר הסימון
תמיר תאגיד מיחזור האריזות בישראל (חל"צ)		ישראל	מהלך הסברתי שמוביל תאגיד תמיר על מנת להקל על התושבים במיון פסולת האריזות הביתית לפחי המיחזור השונים.
cyclos-HTP		גרמניה	מיזם של חברה העוסקת גם בתכנון מערכי מיחזור והלוגיסטיקה הכרוכה בכך. החברה מעניקה תויות איכות לפי אחוזים, כאשר 100% מצביעים על כך שניתן להשתמש בחומר הממוחזר לאותן מטרת כמו החומר הבתולי ממנו עשויה האריזה
How2recycle		ארה"ב	ארגון שנולד מיזמה של ה-Sustainable Packaging Coalition. מטרתו לעודד שימוש בתגיות המספקות לציבור הנחיות ברורות איך למחזר מוצרים מתוך כוונה לשפר את הסיכוי שהמוצר יגיע ליעדו הנכון ויעבור מיחזור.
RecyClass		בלגיה	חברה המספקת שירותים משלושה סוגים: ייעץ לתכנון אריזה ברת מיחזור, כלי ברשת להערכת יכולת מחזור של מוצר, ותויות איכות לרמת ההתאמה של המוצר למיחזור.
OPRL		בריטניה	ארגון ללא מטרת רווח. מטרתו לתייג מוצרים לפי סבירות שיגיעו למחזור, לפי מדיניות הרשויות המקומיות. הארגון מספק שני סוגים של תויות: "Recycle", שמשמעותה שלפחות 75% מהרשויות המקומיות אוספות מוצרים מסוג זה למחזור, או "Don't Recycle", שמשמעותה שפחות מ-50% מהרשויות ממחזרות סוג זה של מוצר.

דוגמאות לתויות איכות למוצרים בעלי פוטנציאל למיחזור.

רקע כללי והגדרות		תכנון אריזה מקיימת		חומרים לאריזה	
נייר וקרטון	זכוכית	מתכת	שילוב חומרים	פלסטיק	
רקע כללי	חומרים ממוחזרים	ביופלסטיק	פלסטיק ממקורות מתחדשים	פולימרים מתכלים	התאמה למיחזור והתכלות

בו לייצור מוצרים חדשים?

מספר ארגונים וחברות קמו על מנת לספק מענה לשאלות אלו על ידי קביעת מדדים להערכת כושר מיחזור של מוצר. ארגונים אלו מציעים יוזמות סימון פרטיות אך יתכן ואלו ישמשו בעתיד כבסיס לתקנים בתחום.

דוגמאות לתכנון אריזות המתאימות למיחזור

לפניכם מספר דוגמאות לעקרונות מנחים בתכנון אריזות המתאימות למיחזור. בגלל מורכבות הנושא, כל דוגמה מתייחסת לקבוצת מוצרים מסוימת העשויה מחומרים מסוימים. אין לראות בדוגמאות כהמלצה לתכנון מוצרים מחומרים אלו.

- דוגמה ראשונה: גביעים, מגשים ושפופרות העשויים פוליאולפינים (PE & PP)

כ-200 תהליכי מיחזור למגוון חומרים שונים, בעוד באירופה הונפקה חוות דעת מדעית חיובית לגבי כ-10 תהליכים, כולם ל-PET. מכאן שבאירופה, עם כל הכוונות הטובות לשימוש בחומרים ממוחזרים, רק למספר מועט של יצרנים יש אישור לשימוש בחומר לאריזות מזון, וזה רק עבור PET.

כאמור כל הרשום למעלה מתייחס לתהליכי מיחזור מכני. חומרים שממוחזרים בתהליך מיחזור כימי מאושרים באופן עקרוני לכל שימוש בדיוק כמו חומר בתולי.

תוויות איכות למוצרים בעלי פוטנציאל למחזור

בבואנו לבחון את פוטנציאל המיחזור של אריזה נתמקד בשתי שאלות:

- (1) האם סביר שהמוצר יגיע למיחזור?
- (2) האם תכונות החומר הממוחזר מאפשרות שימוש חוזר

רצוי	במגבלות	לא רצוי
גוף המיכל	PE \ PP צפיפות קטנה מ 1	שילובים עם צפיפות גדולה מ 1
צבע	נטורל, ללא תוספת צבע	צבעים בהירים או שקופים למחצה צבעים אטומים, שחור Carbon black. צבעי דפוס המכסים מעל 30% משטח המיכל
חסימות	תוספים תואמים לחומר העיקרי	EVVOH במגבלת עובי השכבה ניילון (PA), PVDC
תוספים	תוספים שאינם מעלים את צפיפות החומר ביותר מ 4%	תוספים המעלים את צפיפות החומר ביותר מ 4%
סגרים ומכסים	אותו חומר כמו גוף האריזה	כל חומר אחר
מדבקות	מחומר תואם לגוף המארז, עם הדפסה חלקית	כל חומר אחר. מדבקות המכסות יותר מ 30% משטח המוצר. מדבקות מחומר שונה עם צפיפות קטנה מ 1 גר\סמק
צבע דפוס	לא רעילים בהתאם להנחיות EUPIA (איגוד צבעי הדפוס האירופאי)	צבעים שזולגים, רעילים או מסוכנים
סימון ישיר על המוצר	סימון בלייזר	סימון נתוני ייצור ותאריך תפוגה

מקור RECYCLASS.

- דוגמה שנייה: יריעות העשויות פוליאיתילן שקוף \ צבעוני.

רצוי	במגבלות	לא רצוי
חומר	PE לסוגיו השונים	שכבות עם PP
צבע	שקוף, ללא תוספת פיגמנטים	צבעוני - צבעים בהירים שקופים חלקית
חסימות	חסימות מובנית בפולימר	עד 5% EVOH, ECOLAM במגבלות, מיתוך
מדבקות	מדבקות PE	מדבקות PP ונייר
דבקים	מסיסים במים בטמפרטורה נמוכה מ 60 מעלות	
הדפסה	ללא הדפסת שטח	צבעים מאושרים על ידי EUPIA
סימון ישיר	סימון בלייזר	הדפסה שמכסה פחות מ 50% משטח המוצר

מקור RECYCLASS.

רקע כללי והגדרות		תכנון אריזה מקיימת		חומרים לאריזה	
נייר וקרטון	זכוכית	מתכת	שילוב חומרים	פלסטיק	
רקע כללי	חומרים ממוחזרים	ביופלסטיק	פלסטיק ממקורות מתחדשים	פולימרים מתכלים	התאמה למיחזור והתכלות

• דוגמא שלישית: בקבוקים העשויים מ-PET

רצוי	במגבלות	לא רצוי
PET	PLA,PVC,PS,PETG	גוף הבקבוק
	קטן מ 4 ס"מ (כאשר דחוס), גדול מ 5 ליטר	גודל
שקוף או כחול-שקוף	צבעים כהים	צבע
ציפוי SiOx בפלזמה	ציפוי פחמן בפלזמה PA עד 5% ללא שכבת PETG, PTN, הצמדה	חסימות - לשקוף
ציפוי בפלזמה, שכבת PA ללא שכבת הצמדה	שכבת EVOH עד 3% ללא שכבת הצמדה, תערובת PA עם	חסימות - לצבעוני
	חוסמי UV, AA, סופחי חמצן ומבהירים אופטיים	תוספים
PP, PE - צפיפות פחות מ 1 גר'סמ"ק	כל חומר עם צפיפות מעל 1.	סגרים
כל חומר עם צפיפות נמוכה מ 1 גר'סמ"ק	סיליקון עם צפיפות פחות מ 0.95 גר'סמ"ק	אטמים, סגרים ושסתומים
כל חומר בעל צפיפות פחותה מ 1 גר'סמ"ק	מדבקות ממותכות (צפיפות פחותה מ 1), מדבקות נייר	מדבקות, שרוולים ואבטחת סגירה
נמסים במים \ בסיס ב 60-80 מעלות	דבק חם, נדבק מאליו	דבקים
סימון בלייזר	נתוני יצור ותפוגה	הדפסה ישירה
בסיסים, ידיות ודומיהם שיפרדו בעת הגריסה, עם צפיפות פחותה מ 1	חומרים עם צפיפות גבוהה מ 1, מרכיבים שאינם נפרדים בגריסה	מרכיבים נוספים

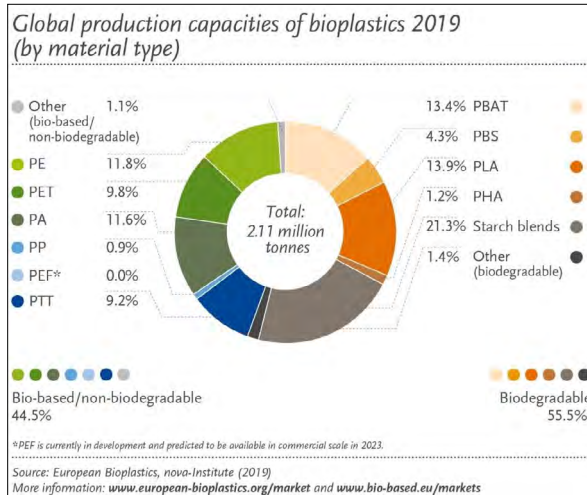
מקור RECYCLASS.

רקע כללי והגדרות		תכנון אריזה מקיימת		חומרים לאריזה	
נייר וקרטון	זכוכית	מתכת	שילוב חומרים	פלסטיק	
רקע כללי	חומרים ממוחזרים	ביופלסטיק	פלסטיק ממקורות מתחדשים	פולימרים מתכלים	התאמה למיחזור והתכלות

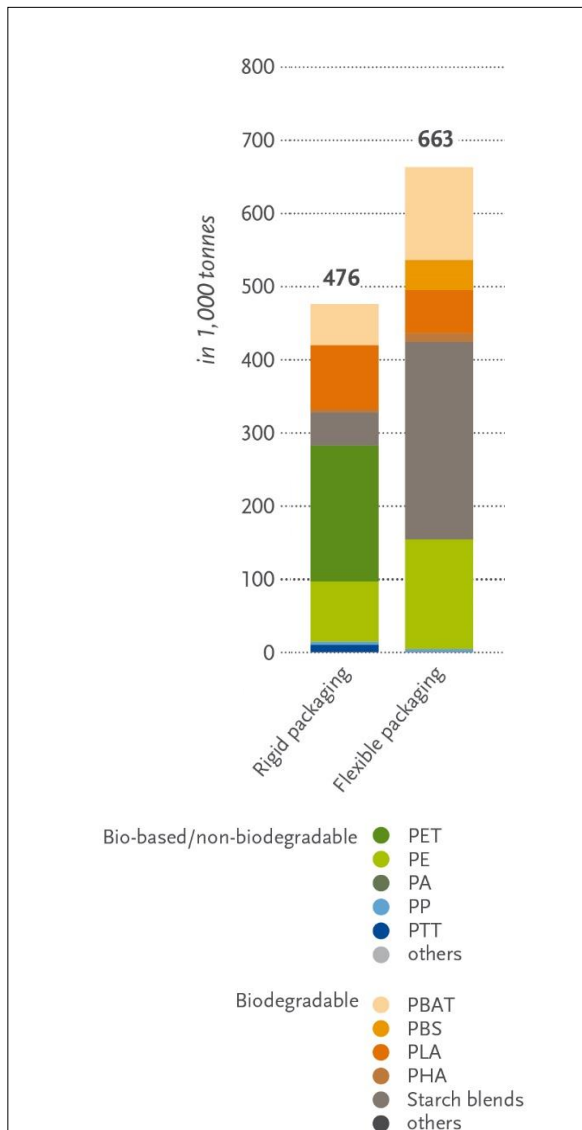
ביו-פלסטיק

הגדרות

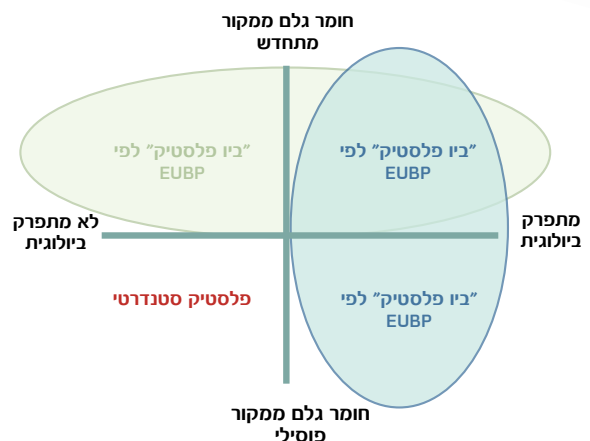
את עולם הפלסטיק ניתן לחלק על פי מטריצה המתייחסת למקור חומר הגלם ליצירת הפולימר ויכולת ההתכלות הביולוגית שלו. לפי חלוקה זו, הארגון European Bioplastics הגדיר "ביו-פלסטיק" כפולימר מתכלה ביולוגית או פולימר ממקורות מתחדשים. הכללת שתי הקבוצות תחת שם אחד יכול לגרום לבלבול. לכן כל קבוצה תקבל את התיאור המלא שלה בהמשך: פלסטיק מסורתי ממקורות מתחדשים, פלסטיק מתכלה ביולוגית ממקורות מתחדשים ופלסטיק המתכלה ביולוגית ממקורות פוסיליים. לשלוש הקבוצות פוטנציאל לתרום לאיכות הסביבה, אבל בדרכים שונות. מסמך עמדה של קרן אלן מקארטור **"לכלכלת הפלסטיק החדשה"**, מציין את ניתוק ייצור חומרים פלסטיים מחומרי זינה פוסיליים כיעד חיוני לשיפור המעגליות של התעשייה.



כומר ייצור עולמי של "ביו-פלסטיק" תרופלסטי ב-2019. מקור: EUBP, nova-Institute.



חומרי ביו-פלסטיק שונים באריזה גמישה וקשיחה, 2019. מקור: nova-Institute, EUBP.



חלוקת החומרים הפלסטיים לפי מקור החומר ויכולת ההתכלות הביולוגית שלו.

היקפי ייצור ושימושים ל"ביו-פלסטיק"

היקף הייצור של שלוש הקבוצות של "ביו-פלסטיק" מהווה פחות מ-1% בהשוואה לייצור פלסטיק סטנדרטי בעולם. סקר שוק שהתפרסם ב-2019 הראה כי היקף הייצור עמד על 2.1 מיליון טון כאשר 55.5% מהם היו חומרים המתפרקים ביולוגית (חלקם ממקורות פוסיליים) ו-44.5% מהם היו פולימרים קונבנציונאליים ממקורות מתחדשים.

אם נסתכל על השימושים לביו-פלסטיק נראה ש-24% מיועדים ליישומי אריזה כאשר חלקן של האריזות הגמישות (13%) והקשיחות (11%) דומה. בהסתכלות על יישומי אריזה (קשיחה או גמישה) בהם משתמשים בביופלסטיק, נראה שבאריזה קשיחה נפוצים הפולימרים ב-PBAT, PET, PLA, PE, ואילו באריזה גמישה נפוצות תערובות עמילן לצד PE ו-PBAT. יש להדגיש כי פולימרים נוספים משמשים גם הם לאריזות גמישות וקשיחות.

רקע כללי והגדרות		תכנון אריזה מקיימת		חומרים לאריזה	
נייר וקרטון	זכוכית	מתכת	שילוב חומרים	פלסטיק	
רקע כללי	חומרים ממוחזרים	ביופלסטיק	פלסטיק ממקורות מתחדשים	פולימרים מתכלים	התאמה למיחזור והתכלות

פולימרים לא מתכלים ממקורות מתחדשים

היסטוריה

באופן פרדוקסלי, הפולימרים התעשייתיים הראשונים שפותחו במאה ה-19 יוצרו ממקורות מתחדשים. דוגמאות מוכרות הן צלוליד (celluloid) וקאסין (casein). התפתחות התעשייה הפטרוכימית בתחילת המאה ה-20 פתחה את הדלת לייצור זול של כימיקלים ובהמשך של פולימרים שמקורם בנפט. על כן, רוב הפולימרים ממקורות מתחדשים הלכו ונעלמו מהשוק או נשארו רק ביישומים נישתיים.

בשנות ה-70 של המאה הקודמת, התעניינות גוברת בנושא הסביבה ביחד עם תנודות קיצוניות במחירי הנפט הובילו לבחינה מחודשת של ייצור פולימרים ממקורות מתחדשים. היום זוכים הם לעדנה מחודשת וניתן למצוא בשוק פוליאטילן, פוליפרופילן, PET ופוליאמיד המופקים ממקורות מתחדשים. חומרים אלה חליפים לאותם פולימרים ממקורות פוסיליים בתכונותיהם, אך לרוב לא במחירים.

סוגי הפולימרים הנפוצים

1. פוליאטילן ממקורות מתחדשים

חברת BRASKEM מברזיל הייתה הראשונה לייצר PE ממקורות מתחדשים. האתילן לפילמור מופק מקני סוכר. נכון להיום BRASKEM מציעה לשוק LLDPE, HDPE ו-LDPE. לאחרונה הוסיפה החברה גם EVA לרשימת הפולימרים ה"רוקים" שלה. לפי דיווחיה, ב-2019 יותר מ-150 מותגים שילבו את ה-Bio-PE של BRASKEM במוצריהם.

חברות ענק נוספות מציעות גם הן PE דומה: חברת LYONDELLBASELL מציעה החל מ-2019 פוליאטילן ממקורות מתחדשים. הפולימר פרי של שיתוף פעולה עם חברת NESTE הפינית אשר מספקת את המונומר. גם חברת DOW מפתחת פוליאטילן מתחדש בשיתוף פעולה עם UPM BIOFUELS אשר מייצרת את המונומר מתוצרי לוואי של תעשיית הנייר.

2. פוליפרופילן ממקורות מתחדשים

חברות הענק LYONDELLBASELL ו-BOREALIS מציעות מגוון פוליפרופילן ממקורות מתחדשים, אשר מבוססים על פרופאן ממקורות מתחדשים של חברת NESTE. לעומתן חברת MITSUI היפנית מפתחת מסלול **שונה ויעיל יותר לייצור פוליפרופילן מתחדש**, אולם על פי התחזית ייצור מסחרי יתאפשר רק ב-2024.

3. PVC ממקורות מתחדשים

חברת INOVYN, חברת בת של יצרן הפולימרים INEOS, השיקה ב-2019 את ה-PVC המתחדש הראשון בשם BIOVYN. החומר מתבסס על אתילן מתחדש המסופק על ידי UPM BIOFUELS. חברה נוספת המייצרת PVC ממקורות מתחדשים היא Vynova האירופאית שהשיקה בתחילת 2020 סל מוצרים חדש.

4. PET ממקורות מתחדשים

הפולימר PET מיוצר משני מונומרים, MEG ו-TPA. את הראשון (MEG) ניתן להפיק בקלות ממקורות מתחדשים, אולם הפקת TPA מסובכת יותר. כאחת מהצרכניות המובילות בעולם לבקבוקי PET

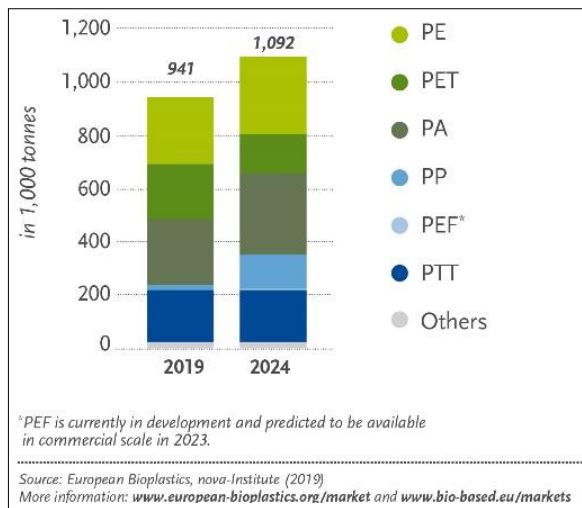
מימנה חברת COCA COLA מחקר לשילוב MEG ממקור מתחדש עם TPA ממקור פוסילי. עוד ב-2009 השיקה החברה בקבוקי PET המכילים 30% חומר מתחדש. החברה נהגה עם הטכנולוגיה בצורה פתוחה והנגישה אותה תחילה גם ליצרני PET שאינו מעובד לבקבוקים. ב-2019 החליטה החברה להנגיש את הטכנולוגיה לכולם, כולל למתחריה. שיתוף פעולה נוסף של החברה מתבצע עם סין לפיתוח MEG ממקורות מתחדשים מפסולת חקלאית.

עוד פיתוח בתחום התרחש ב-2013. חברת TORAY הכריזה על PET עשוי 100% ממקורות מתחדשים. החסרון של החומר שהוא אינו מתאים לייצור בקבוקים. הפיתוח נעשה בשיתוף פעולה עם חברת GEVO האמריקאית אשר סיפקה paraxylene ממקור מתחדש שממנו ניתן להפיק TPA.

ב-2019 חברת ANELLOTECH הודיעה על הצלחה ראשונית ביצירת paraxylene ממקורות מתחדשים שיאפשר ייצור יעיל וחסכוני של TPA מתחדש. כאן היעד שהוגדר הוא ייצור בקבוקי PET העשויים 100% ממקורות מתחדשים.

5. פולימרים נוספים

מספר חברות משקיעות מאמצים בפיתוח חומרים חדשים, PEF ו-PTF, הדומים ל-PET בתכונותיהם אך מורכבים ממונומרים מתחדשים. חומרים אלה מתנהגים כמו PET גם בתכונות וגם בנוחיות העיבוד, ואף מציעים חסמות טובה יותר לגזים השווה ל-PET, תכונה החשובה לאריזות מזון ובקבוקי שתייה. אולם כרגע נראה שיעברו עוד מספר שנים עד לייצור מסחרי.



כושר ייצור של פולימרים קונבנציונליים ממקורות מתחדשים - תמונת מצב 2019 ותחזית ל-2024. מקור: EUBP, nova-Institute.

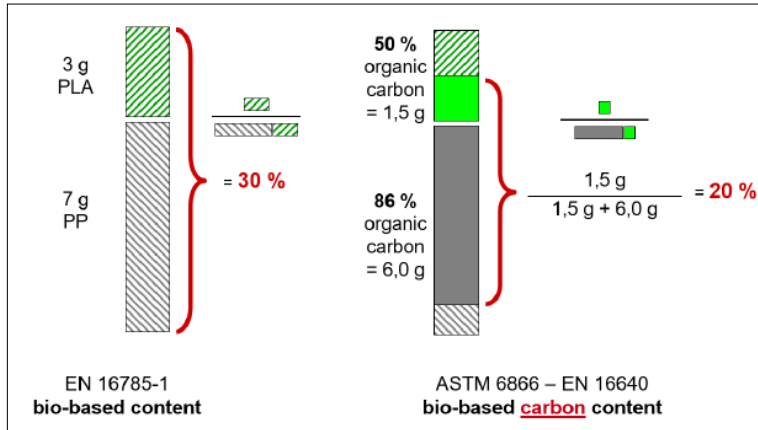
תקינה ותיעוד

קיימות שתי שיטות לחישוב כמות החומר ממקורות מתחדשים הנמצא במוצר:

1. bio-based content - שיטה זו לוקחת בחשבון את כל היסודות הנמצאים במוצר - פחמן, מימן, חמצן וחנקן. שיטת זאת מפורטת בתקן האירופאי EN 16785-1 והתקן הבינלאומי ISO 16620-4.

2. biobased carbon content - השיטה מתייחסת רק

רקע כללי והגדרות		תכנון אריזה מקיימת		חומרים לאריזה	
נייר וקרטון	זכוכית	מתכת	שילוב חומרים	פלסטיק	
רקע כללי	חומרים ממוחזרים	ביופלסטיק	פלסטיק ממקורות מתחדשים	פולימרים מתכלים	התאמה למיחזור והתכלות



ההבדל בין חישוב אחוז הביו-פלסטיק ממקורות מתחדשים בחומר לעומת חישוב אחוז פחמן ממקורות מתחדשים. מקור: TUV Austria.

6866 לתקן האירופאי EN 16640. סיבת המעבר - שימוש הולך וגובר של התקן האירופאי בחוקי סביבה אירופאים.

2. מכון התקנים של הולנד, NEN, הוציא תכנית נוספת המתבססת על התקן האירופאי EN 16785-1. המכון קובע את כללי ההסמכה, אבל תהליך הסמכה מנוהל על ידי TUV.



3. גוף התקינה וההסמכה הגרמני, DIN Certco, הקים תכנית משלו על בסיס EN 16640. התכנית מנוהלת בשיתוף עם TUV.



ניתוח מחזור חיים של פולימרים ממקורות מתחדשים
יצרנים של פולימרים קונבנציונליים ממקורות מתחדשים מבינים היטב שהשפעת מוצריהם על הסביבה אינה מסתכמת בשימוש בפחמן "חדש". על כן הם משקיעים מאמצים במדידת ההשפעה הכוללת של מחזור החיים של כל פולימר. יש להדגיש שהיצרנים משתמשים באותם ניתוחים לתכנן שינויים ושיפורים במיקור חומרי זינה ובתהליכי הייצור.

תחרות על משאב הקרקע
סוגיה סביבתית נוספת שעולה בהקשר לפולימרים ממקורות מתחדשים היא התחרות על משאב הקרקע. שאלה זו נובעת מהחשש כי גידולי החקלאות לצורך ייצור הביופולימרים פוגעים ומצמצמים את שטחי הגידול הפנויים לחקלאות רגילה ובכך תורמים למחסור במזון ועליית מחירים.

החשש מובן אך אינו מוצדק. **מחקרים שונים מצביעים על כך שההשפעה על שטחי גידול זניחה.** היצרנים משקיעים מאמצי פיתוח להפקת הפולימרים מצמחים שאינם למאכל, וכן לשימוש בשטחי מרעה שאינם מתאימים לחקלאות רגילה או לבניה. ב-2019 רק 0.016% משטחי החקלאות יועדו ליישום זה ואילו ב-2024 ההערכה היא כי ניצול הקרקע יעמוד על 0.021%.

לאחוז הפחמן ממקורות מתחדשים ביחס לסה"כ הפחמן במוצר. השיטה יותר מהירה, זולה ומדויקת. היא מפורטת בתקן האירופאי EN 16640, בתקן האמריקאי ASTM 6866 ובתקן הבינלאומי ISO 16620-2. יש לציין שהתקן האמריקאי מתייחס רק לפחמן אורגני בחישוב, כאשר האירופאי מתחשב גם בפחמן שבחומרים אנאורגניים, למשל קלציום קרבונאט. על כן יהיו הבדלים בין המדידות, בדרך כלל קטנים, בהתאם לריכוז של תוספים ומלאנים במוצר.

פחמן ישן ופחמן חדש

מדידת אחוז פחמן עשוי ממקורות מתחדשים מתבססת על טכנולוגיית המדידה של פחמן 14. פחמן 14 הוא איזוטופ לא יציב של פחמן הנמצא בכל חומר אורגני. עם הזמן, מתפרק האיזוטופ ונעבור מ-20,000 עד 30,000 שנים הוא הופך לחנקן 14. מעקב אחר כמות האיזוטופ בחומר מאפשר להאריך מתי מקור הביולוגי של הפחמן סיים את חייו. בעזרת תכונה זו ניתן להבדיל בין פולימר ממקור פוסילי לבין פולימר ממקור מתחדש. פולימר ממקור פוסילי מכיל "פחמן ישן" כי הצמחים שהיו המקור לנפט או הגז מהם הוא נוצר סיימו את חייהם כבר לפני מיליוני שנים ולא ניתן למצוא בו פחמן 14. לעומתו, פולימר ממקור מתחדש מכיל "פחמן חדש" שנוצר מחומר אורגני "חדש" יחסית וניתן לאתר בן פחמן 14.

תוויות איכות

על מנת לעודד שימוש בפולימרים ממקורות מתחדשים הוציאו ארגונים שונים ממדינות שונות תוויות איכות. תוויות אלו נועדו לצרכן הסופי של האריזה ומשקפות לו כי המוצר מכיל חומרים ממקור מתחדש.

ארה"ב

ב-2011 משרד החקלאות האמריקאי, ה-USDA, הקים **תכנית לעידוד שימוש במוצרים ממקורות מתחדשים.** התווית מכילה מידע על אחוז המרכיבים המופקים ממקורות מתחדשים הן באריזה והן במוצר ומבוססת על תקן ASTM 6866. תהליך ההרשאה מנוהל על ידי SEI, חברת בת של ארגון התקינה האמריקאית ASTM.



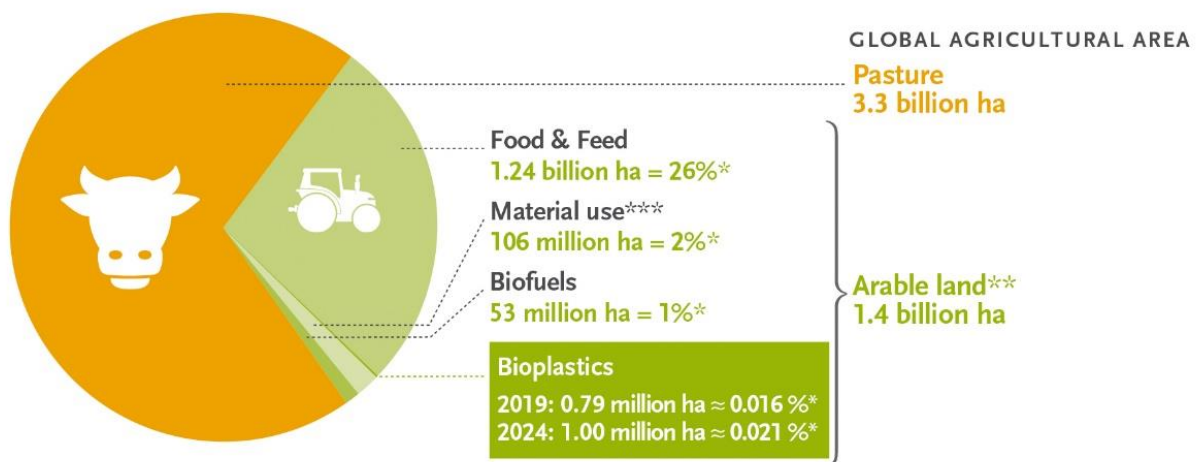
אירופה

1. חברת TUV מנהלת תכנית OK biobased המתבססת על ריכוז פחמן חדש באריזה. התוכנית מעניקה אישור להשתמש בסמל OK biobased המכיל עד ארבעה כוכבים המהווים אינדיקציה לאחוז הפחמן החדש במוצר: כוכב אחד 20%-40%, שני כוכבים 41%-60%, שלושה כוכבים 61%-80% וארבעה כוכבים 81%-100%. בסוף 2019 הודיעה TUV שתעבור משימוש בתקן האמריקאי ASTM



רקע כללי והגדרות		תכנון אריזה מקיימת		חומרים לאריזה	
נייר וקרטון	זכוכית	מתכת	שילוב חומרים	פלסטיק	
רקע כללי	חומרים ממוחזרים	ביופלסטיק	פלסטיק ממקורות מתחדשים	פולימרים מתכלים	התאמה למיחזור והתכלות

Land use estimation for bioplastics 2019 and 2024



Source: European Bioplastics (2019), FAO Stats (2017), nova-Institute (2019), and Institute for Bioplastics and Biocomposites (2019). More information: www.european-bioplastics.org

* In relation to global agricultural area
 ** Including approx. 1% fallow land
 *** Land-use for bioplastics is part of the 2% material use

שימוש בקרקע עבור גידול חומרי זינה לפלסטיק ממקורות מתחדשים - תמונת מצב 2019 ותחזית ל-2024. מקור: EUBP, nova-Institute.

תוספים לזירוז התכלות של פולימרים קונבנציונליים

כיוון טכנולוגי אחד שנחקר הוא שימוש בתוספים על מנת להאיץ פירוק של פולימרים ממקורות פוסיליים. התוספים עוברים שפעול בחשיפה ל-UV וחמצן (Photodegradable, Bio-Oxodegradable, Oxodegradable) ומפרקים את מולקולת הפולימר למקטעים קטנים.

תרכובות נוספות שהיו בעבר בשימוש הן של פוליאיתילן עם עמילן מתכלה ביולוגית וכך הוא תרם להתפרקות של המוצר כולו. אולם גם במקרה זה, מולקולות הפוליאיתילן נשארו בסביבה ללא יכולת התכלות.

נכון להיום רוב ארגוני הסביבה והרשויות מגנות את השימוש בטכנולוגיות אלו והן אף נאסרו לשימוש באירופה. איסור זה נובע משתי סיבות: האחת, טענה שתוצרי הפירוק אינם פירוק ביולוגי מלא ליסודות פחמן ומימן, אלא רק נוצרים חלקיקי מיקרו-פלסטיק, חלקיקים זעירים הנשארים בסביבה וגורמים לנזקים. הסיבה השנייה לגינוי הטכנולוגיה היא שהפירוק גורם למעשה לבזבז של משאב מוגבל, נפט, ללא מיחזור או הפקת אנרגיה ממנו. כיום הטכנולוגיה עדיין נפוצה לשימוש במדינות ערב, שם היא גם מעוגנת בחקיקה מחייבת. יתכן והסיבה טמונה בכך שבמדינות אלו יש מערך פחות מפותח של איסוף פסולת והיא זולגת בצורה מוגברת יותר לסביבה.

השוואה לפולימרים סטנדרטיים

לכל הפולימרים המשמשים היום לייצור מוצרים מתכלים ביולוגית יש מאפיינים משותפים השונים משמעותית מהפולימרים הסטנדרטיים הנפוצים באריזה (פוליאיתילן ופוליפרופילן).

פולימרים מתכלים ביולוגית



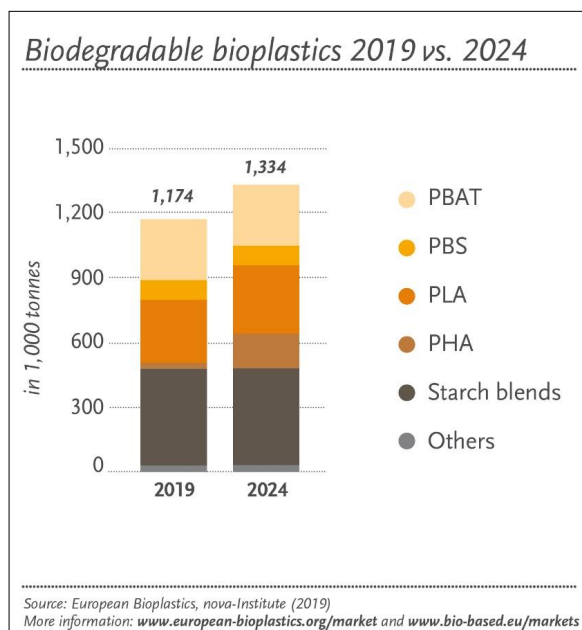
שיקולים לבחינת התועלת של אריזה המתכלה ביולוגית.

היסטוריה

רוב החומרים המתכלים ביולוגית סונתזו לראשונה במחצית הראשונה של המאה ה-20. חלקם היו בשימוש נישתי ואחרים נשארו רדומים עד לשנות ה-80 וה-90. אז עלה מחדש העניין בתכונות ההתכלות שלהם. בעולם מושלם, הפתרון המושלם הוא איסוף ומיחזור. אבל היקף השימוש באריזות ההולך וגובר, בדרך כלל תוך כדי הפחתת משקל האריזה, וכן חוסר הקומפטיביליות בין הפולימרים השונים באותה האריזה, הופך את האיסוף והמיחזור ללא כדאיים מבחינה כלכלית. מכאן נובע העניין וההצדקה המעשית לחיפוש טכנולוגיות לייצור מוצרי פלסטיקה אשר לא יישארו בשטח שנים רבות אחרי סיום השימוש בהם.

חומרים לאריזה		תכנון אריזה מקיימת		רקע כללי והגדרות	
פלסטיק	שילוב חומרים	מתכת	זכוכית	נייר וקרטון	
התאמה למיחזור והתכלות	פולימרים מתכלים	פלסטיק ממקורות מתחדשים	ביופלסטיק	חומרים ממוחזרים	רקע כללי

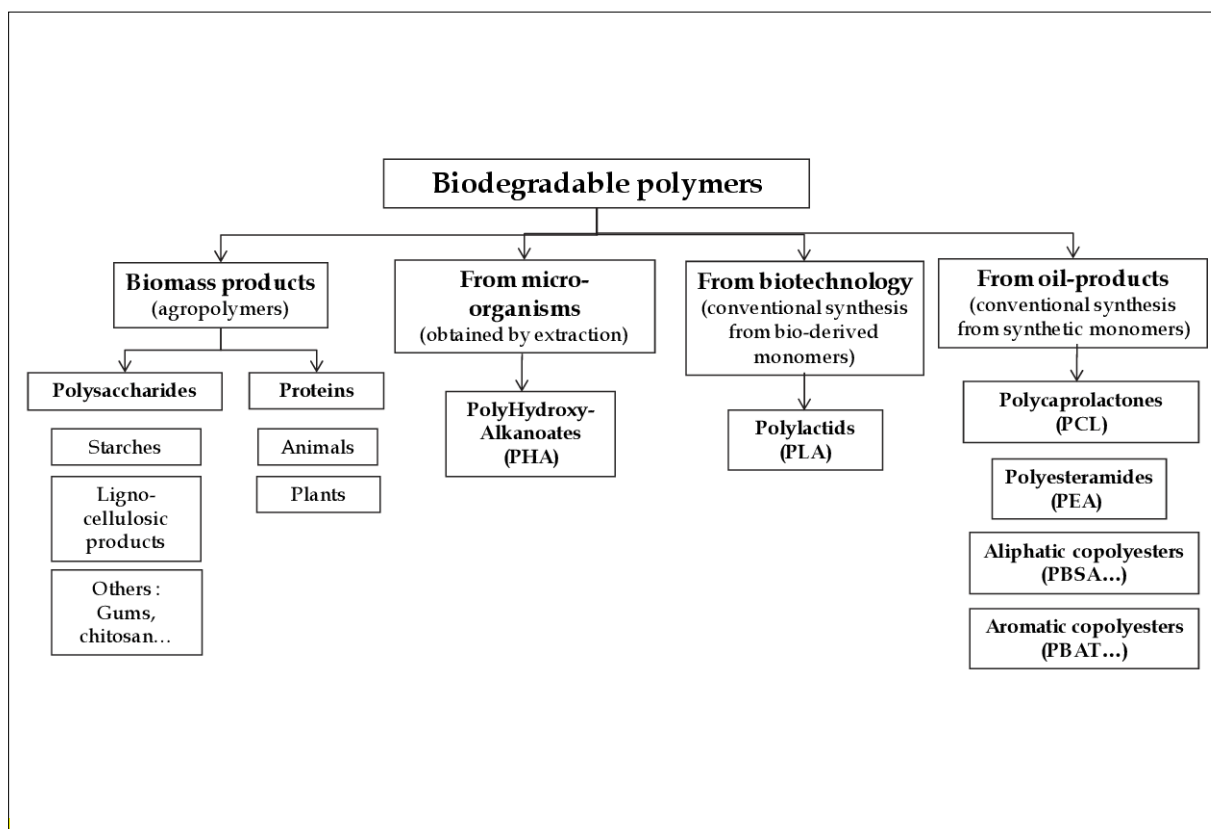
חלקם מיוצרים מנפט ולכן אינם נחשבים פולימרים ממקורות מתחדשים. השאר מופקים ממקורות מתחדשים בדרכים שונות. ביניהם יש פערים גדולים בתכונות וכן ביעילות הייצור.



כושר ייצור גלובלי של פולימרים מתכלים ביולוגית ב-2019 ותחזית ל-2024. מקור: EUBP, nova-Institute.

- **משקל סגולי:** להבדיל מהפוליאוליפינים המאופיינים במשקל סגולי בין 0.8 עד 0.96, לכל הפולימרים המתכלים ביולוגית יש משקל סגולי מעל 1.
 - **רגישות למים:** רוב הפולימרים המתכלים ביולוגית רגישים לפירוק כימי בנוכחות מים. על כן הם רגישים למים גם בתהליכי הייצור וגם במהלך השימוש. כמו כן, רובם מתאפיינים במעבר מאוד גבוה לאדי מים בהשוואה לפוליאטילן ופוליפרופילן.
 - **רגישות לטמפרטורה:** חלק מהפולימרים המתכלים רגישים מאוד לדגרדציה בתנאי ייצור.
 - **מחיר גבוה:** המחיר של רוב הפולימרים המתכלים גבוה בהשוואה לפלסטיק ממקורות פוסיליים.
- כמשתמע מעובדות אלו, מפתחים של אריזות מתמודדים עם אתגרים טכנולוגיים ושיווקיים משמעותיים. האתגר גדול עוד יותר כשלוקחים בחשבון את המספר הקטן של סוגי פולימרים מתכלים ביולוגית והמבחר המצומצם של פולימרים מכל סוג. יחד עם זאת, בזכות פוטנציאל חומרים אלו לפתור את בעיית פסולת האריזות העולמית, מחקרי שוק צופים גידול מרשים בתחום בשנים הבאות. צפי זה מקבל חיזוק מקרן מקארטור הקובעת שיש להשקיע בפיתוח על מנת לגרום לכך שכל מוצר פלסטיק יהיה ניתן למיחזור או מתכלה ביולוגית בקומפוסט.

סוגי פולימרים מתכלים ביולוגית לייצור אריזות פולימרים מתכלים ביולוגית מופקים מכמה מקורות.



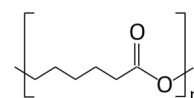
מיפוי פולימרים מתכלים ביולוגית לפי מקורם. מקור:

Biodegradable Multiphase Systems Based on Plasticized Starch: A Review. Avérous, Luc, 2004/12/30, Polymer Reviews

חומרים לאריזה		תכנון אריזה מקיימת		רקע כללי והגדרות	
פלסטיק	שילוב חומרים	מתכת	זכוכית	נייר וקרטון	
התאמה למיחזור והתכלות	פולימרים מתכלים	פלסטיק ממקורות מתחדשים	ביופלסטיק	חומרים ממוחזרים	רקע כללי

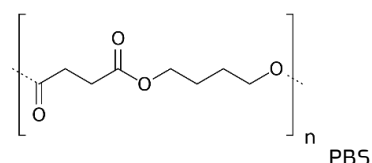
פולימרים מתכלים ביולוגית ממקורות פוסילים

PCL 1.



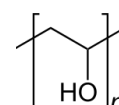
הפולימר polycaprolactone, או PCL, יוצר לראשונה בשנות ה-30 של המאה הקודמת. ל-PCL טמפרטורת התכה של 60 מעלות צלזיוס, דבר המגביל מאוד את שימוש בתור מרכיב עיקרי באריזות. PCL משמש בעיקר בתור מרכיב מרכזי בתור תרכובות עם פולימרים אחרים.

PBSA-ו PBS 2.



PBS, או polybutylene succinate, הוא פולימרי אסטר אלפטי שיוצר לראשונה בשנות ה-30 של המאה הקודמת. ייצור מסחרי ממקורות פוסילים התחיל ב-1993, על ידי חברת SHOWA. התכונות המכאניות של הפולימר דומות ל-HDPE או PP. לקו-פולימר שלו PBSA תכונות קרובות לאלו של פוליאתילן. לפולימר עמידות לחום סבירה.

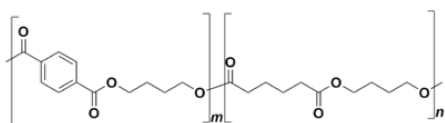
PVOH 3.



PVOH, או Polyvinyl Alcohol, הוא פולימר מופק ממקורות פוסילים עם שילוב תכונות ייחודיות ויישומים תעשייתיים מגוונים. הפולימר יוצר לראשונה ב-1924, ומיוצר באופן מסחרי מ-1954.

אחד המאפיינים הבולטים של חומר זה הוא התמוססות במים. בנוסף, הוא מצטיין בחוזק מכני ובחסימות לחמצן. חסימות זו תקפה רק בתנאים יבשים ובלחות היא נפגעת משמעותית. עיבוד החומר בצורתו הטהורה בעייתי מכיוון שהוא מתחיל לעבור דגרדציה בטמפרטורה הנמוכה מטמפרטורת ההתכה שלו. לכן, סוגים המיועדים לתהליכי אקסטרוזיה עוברים מודיפיקציה להורדת טמ' ההתכה. בין שימושים ניתן למנות עטיפות לטבילות סבון כביסה וסבון למדיחי כלים וכן שקי כביסה לבתי חולים שניתן להשליך ישירות למכונת הכביסה ובכך למנוע מהעובד חשיפה למגע עם כביסה מזוהמת ביולוגית. התכלותו הביולוגית של PVOH שנויה במחלוקת. בעבר זכו מוצרים העשויים ממנו לתיג של פולימר מתכלה על ידי תוכנית ה-GreenPla היפנית. אולם נכון ל-2019, מוצרים אלו נמצאים מוגדרים "תחת אשור", כלומר הם נמצאים בבדיקה ולא מקבלים תיג זה אוטומטית. היצרנים המובילים של PVOH הם NIPPON GOHSEI ו-KURARAY מ'פן. פיתוח נוסף, חדש יחסית הנובע מה-PVOH הוא BVOL, או Butenediol Vinyl Alcohol. גם עבור חומר זה אין הוכחה להתכלות ביולוגית מלאה.

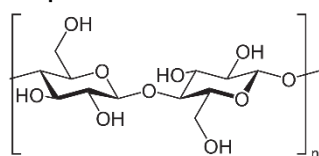
PBAT 4.



הפולימר PBAT (PolyButylene Adipate Terephthalate) מיוצר באופן מסחרי משנת 1998 על ידי BASF. הפולימר מוגדר כימית כפולימרי אסטר אלפטי-ארומטי, ומופק היום ממקורות פוסילים. המרכיב הארומטי - טבעתי - במולקולה מונע גבישיות, מה שמקנה ל-PBAT גמישות ועמידות להולם. תכונותיו דומות ל-EVA. הוא נמצא בשימוש באריזות וחקלאות וגם בתרכובות עם פולימרים מתכלים ביולוגית אחרים.

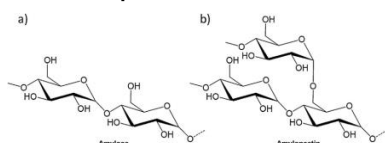
פולימרים מתכלים ביולוגית ממקורות מתחדשים

1. משפחת הצלולזה - צלופן



צלולזה (תאית) היא פולימר טבעי הנמצא בדפנות התא של צמחים. כבר במאה ה-19 מצאו דרכים להוציא את המולקולה על ידי שימוש בממסים. הצלופן נתגלה בטעות ב-1900 כאשר כימאי שוויצרי התיז צלולזה מומס על בד בניסיון ליצור בד דוחה מים. שכבת הצלולזה יצרה יריעה שקופה שירדה מהבד. ב-1912 החל ייצור מסחרי של היריעה החדשה תחת המותג Cellophane. היריעה שקופה ומבריקה ובמצב יבש יש לה חסם טוב מאוד לחמצן. הצלופן היה מאוד נפוץ עד לכניסת הפוליפרופילן, שהיה זול וחזק בהרבה. הצלופן זכה לתהילה מחדשת עם ההתעוררות הסביבתית. הוא מתכלה ביולוגית בקלות בסביבות שונות, ומשמש כפרנס בבדיקות התכלות ביולוגית של חומרים אחרים. היריעה מיוצרת בתהליכי המסה ולא ניתן לייצר אותו באקסטרוזיה. תהליך הייצור מתאפיין בצריכת אנרגיה גבוהה. היום בעל אמצעי הייצור של רוב הצלופן בעולם היא חברת FUTUMURA היפנית. חסרונות הצלופן לעומת יריעות PP הם מחיר, חוזק קרע נמוך ורגישות למים. כמו כן, ללא מודיפיקציה, אין ליריעה חסם לאדי מים.

2. פולימרים על בסיס עמילן - TPS

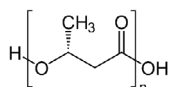


עמילן בצורתו הטבעית הוא פולימר גבישי העובר דגרדציה בחום לפני שהוא מגיע לטמפרטורת ההתכה שלו, על כן לא ניתן לעבד אותו באקסטרוזיה. על ידי הוספת מים, גליצרול או סורביטול ניתן להפוך עמילן לפולימר המתאים לעיבוד בחום - TPS (ThermoPlastic Starch). בצורתו הנקיה TPS רגיש ללחות ושימוש מוגבל ליישומים קצרי טווח בסביבה יבשה. בערבוב עם

רקע כללי והגדרות		תכנון אריזה מקיימת		חומרים לאריזה	
נייר וקרטון	זכוכית	מתכת	שילוב חומרים	פלסטיק	
רקע כללי	חומרים ממוחזרים	ביופלסטיק	פלסטיק ממקורות מתחדשים	פולימרים מתכלים	התאמה למיחזור והתכלות

מודיפיקציה, הפולימר מתרכך בחום נמוך יחסית. היום יש סוגים מיוחדים המתאימים לשימוש בטמפרטורות גבוהות. שימושו העיקרי הוא לייצור יריעות ואריזות קשיחות.

4. משפחת ה-PHA



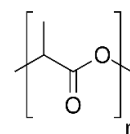
השם PHA מכסה מספר פולימרים אשר גדלים באופן טבעי בתוך מיקרו-אורגניזמים בתנאים מתאימים. תהליך הייצור התעשייתי של הפולימרים מתחיל בגידול אוכלוסייה גדולה של מיקרואורגניזמים, הפעלת התנאים לייצור ה-PHA בתוך גופם והוצאת הפולימר. מדובר בביוטכנולוגיה מורכבת ועתירת אנרגיה. מחקר אודות פולימרים ממשפחת ה-PHA החלה בשנות ה-50 של המאה הקודמת בחברת GRACE בארה"ב. עבודת המשך על טכנולוגיות תסיסה מסחריות נעשתה בחברת ICI ב-UK בשנות ה-60 וה-70. בשנות ה-90 ובתחילת המאה ה-21 מספר חברות השקיעו בפיתוח שיטות ייצור בניסיון לשפר את היעילות. בתיאוריה ניתן להפיק פולימרים עם מגוון גדול מאוד של תכונות, אך בפועל נמצא מספר מצומצם של סוגי PHA בשוק. יצרני ה-PHA המובילים מייצרים היום לפי הזמנה. עלות הפולימרים גבוהה. אחד היתרונות של ה-PHA לעומת שאר סוגי הפולימרים המתכלים ביולוגית הוא התכלות טובה בתנאי סביבה שונים. נכון להיום עלותם ותכונות הפולימרים המסחריים מגבילים את שימושם באריזות רק בתור מרכיב בתערובות עם פולימרים אחרים.

תקינה בנושא התכלות ביולוגית

ב-1992 התכנסה קבוצת עבודה בינלאומית במטרה לגבש קווי מתאר לתקינה בנושא התכלות ביולוגית של מוצרי צריכה. הכינוס כלל משתתפים מתעשייה, ארגונים סביבתיים, מחוקקים, מעבדות וארגוני תקינה. בסיום הדיונים, המשתתפים הגיעו להסכמה על מספר **עקרונות** מנחים עבור תקינה לגבי חומרים מתכלים ביולוגית:

פולימרים מתכלים ביולוגית אחרים ניתן ליצור תרכובות יותר יציבות. תכונות התרכובות משתנות בהתאם לחומרים איתם הוא מעורבב כאשר יש תרכובות עם תכונות הדומות ל-PE. בין הפולימרים הניתנים לתרכוב: PLA, PVOH, PBAT, PCL. קצב התכלות התרכובות תלוי במרכיבי התערובת. באופן כללי, תרכובות אלו עומדות בתקני ההתכלות הודות להתכלות המהירה של העמילן. מצד שני, יציבותם נמוכה יחסית מאותה הסיבה. יריעות עשויות מתרכובות עם TPS מראות שקיפות נמוכה יחסית. החברה המובילה בתחום תרכובות על בסיס עמילן הוא NOVAMONT באיטליה.

3. PLA



הפולימר PLA (PolyLactic Acid) מיוצר מחומצה לקטית המופקת ממקורות מתחדשים כמו תירס, קני סוכר וסלק. PLA יוצר לראשונה בשנות ה-30 במעבדות של חברת DuPont. הפיתוח הופסק כאשר הבחינו ברגישותו להידרוליזה. הפיתוח נמשך בשנות ה-80 על ידי חברת CARGILL בחיפוש שימושים לפחמימות ממקור צמחי. ב-1997 הוקם מיזם משותף בין חברת המזון CARGILL וחברת הפטרוכימיים DOW, וב-2001 הם השיקו את המפעל הראשון לייצור PLA בשם NATUREWORKS. היום החברה שייכת ל-CARGILL וחברת PTT. ב-2017 הוקמה שותפות נוספת לייצור PLA בין חברת תוספי המזון CORBION וחברת הפטרוכימיים TOTAL.

PLA מתאפיין בקשיחות גבוהה מאוד, שקיפות מעולה, והתכלות ביולוגית טובה בתנאים של קומפוסט תעשייתי, כלומר לחות גבוהה וטמפרטורה של 60 מעלות צלזיוס. בצורתו הנקייה הפולימר שביר ודורש תוספים על מנת לתת לו עמידות להולם (אימפקט). כמו כן, ללא



התכלות יריעה כפי שמתועד בבדיקה של התכלות ביולוגית בתנאי קומפוסט תעשייתי. מקור: (OWS) Organic Waste Systems.

חומרים לאריזה		תכנון אריזה מקיימת		רקע כללי והגדרות	
פלסטיק	שילוב חומרים	מתכת	זכוכית	נייר וקרטון	
התאמה למיחזור והתכלות	פולימרים מתכלים	פלסטיק ממקורות מתחדשים	ביופלסטיק	חומרים ממוחזרים	רקע כללי

- (1) בחינת התכלות של מוצר חייבת להתייחס למסלול וסביבה מסוימים של סוף חיי המוצר.
- (2) קצב התכלות של מוצר חייב לתאם את אותו מסלול וסביבה, כך שאין הצטברות נקודתית של מוצרים בשלבים שונים של התכלות.
- (3) תוצרי ההתכלות הסופיים יהיו CO_2 , מים ומינרלים.
- (4) תהליך ההתכלות לא ייצור זיהום סביבתי.

השיטות והתקנים שפותחו בהמשך מגדירים סביבה, קצב, תוצר סופי רצוי ובדיקה להעדר השפעה על הסביבה:

(1) התכלות ביולוגית

התכלות ביולוגית של חומרי פלסטיקה בתנאים אירוביים מוגדרת כפירוק הפולימר עד לקבלת CO_2 , מים וביומסה. בתנאים אנאירוביים מתקבל CO_4 בנוסף ל- CO_2 . כל השיטות והתקנים דורשים פירוק פיזי של רוב המוצר לחלקיקים זעירים והיווצרות CO_2 ברמה המצביעה על פירוק ביולוגי משמעותי בפרק זמן של חודשים.

(2) תקנים להתכלות בתנאי קומפוסט תעשייתי

בתקנים אלו דומים תנאי הבדיקה לתנאים של קומפוסט תעשייתי. טמפרטורת הבדיקה 60 מעלות צלזיוס, פרקי הזמן למדידת הפירוק הפיזי 12 שבועות ורמת הפירוק הנדרשת היא 90%. בזמן זה יהפוך המוצר לחלקיקים העוברים במסננת עם חורים בגודל 2 מ"מ X 2 מ"מ. בין התקנים השונים יש שוני לגבי רמת הפירוק הביולוגית אבל פרק הזמן הסופי של הפירוק זהה ועומד על 6 חודשים. התקנים כוללים גם מדידה של נוכחות מתכות כבדות ובדיקת גדילה של צמחים בסביבת תוצרי הפירוק אל מול רפרנס. התקנים העיקריים:

- **ASTM D6868** - תקן אמריקאי עבור ציפויים על נייר.
- **ASTM D6400** - תקן אמריקאי עבור פלסטיקה כולל אריזות.

- **EN 13432** - תקן אירופאי עבור אריזות.
- **EN 14995** - תקן אירופאי עבור מוצרי פלסטיקה שאינם אריזות.
- **AS 4736** - תקן אוסטרלי עבור מוצרי פלסטיק.

(3) התכלות בתנאי קומפוסט ביתי

נכון לתחילת 2020 עדיין אין תקנים מטעם מוסדות התקינה בעולם לגבי התכלות אריזות בתנאי קומפוסט ביתי. כמה תקנים אזוריים פותחו על ידי מספר גופי הסמכה עצמאיים אשר מעניקים זכות לשימוש בסמלים מוכרים המעידים על יכולת המוצר לעבור התכלות ביולוגית בתנאי קומפוסט ביתי. הבדיקות מבוצעות על ידי אותן מעבדות מוכרות אשר מבצעות בדיקות לפי תקני התכלות ביולוגית בקומפוסט תעשייתי. הבדל העיקרי בין תקנים לקומפוסט תעשייתי מול ביתי בטמפרטורת הבדיקה - 60 מעלות צלזיוס לקומפוסט תעשייתי אל מול 20-30 מעלות צלזיוס לקומפוסט לביתי. הבדל נוסף הוא באורך זמן הבדיקה - בקומפוסט ביתי פירוק פיזי נבדק ב-26 שבועות במקום 12, והתכלות ביולוגית נבדקת אחרי שנה במקום אחרי 6 חודשים.

(4) התכלות ביולוגית אנאירובית (תנאי הטמנה)

מכיוון שאין ריבוי מתקני קומפוסט, ואחוז גבוה של

אריזות מגיע לאתרי הטמנה, נוצר דרישה לבדיקת התכלות ביולוגית בתנאים מתאימים בהם יש העדר חמצן. שני תקנים אמריקאים בנושא:

ASTM D5511 - מדידת הפקה של CO_2 ו- CO_4 אחרי 15 ו-30 יום, טמפרטורת הבדיקה 37 או 52 מעלות צלזיוס. שיטת בדיקה והתקן מדמים תנאים ב-Anaerobic Digester - אתר הטמנה מיוחד המיועד ליצור אנרגיה דרך שימוש של ה- CO_4 המשוחרר בפירוק ביולוגי של חומר אורגני ללא נוכחות חמצן.

ASTM D5526 - מדידת הפקה של CO_2 ו- CO_4 עד סיום התכלות הפולימר. טמפרטורת הבדיקה 35 מעלות צלזיוס. שיטת הבדיקה והתקן מדמים תנאים באתר הטמנה רגיל.

(5) התכלות בסביבה מימית

פיזור פסולת הפלסטיק בים נחשבת לאחת התוצאות הקשות ביותר של העדר הטיפול הנכון בפסולת. לכן פותחו גם תקנים למדידת התכלות ביולוגית בסביבה מימית.

- **ISO 14851** - מדידת התכלות ביולוגית בסביבה מימית לפי צריכת חמצן. זמן הבדיקה - עד 24 חודשים.
- **ISO 14852** - מדידת התכלות ביולוגית בסביבה מימית לפי פליטת CO_2 . זמן הבדיקה - עד 24 חודשים.
- **ASTM D6691-09** - מדידת התכלות ביולוגית בסביבה מימית לפי פליטת CO_2 . זמן הבדיקה - עד 3 חודשים.
- **ASTM D7473 - 12** - מדידת התכלות נראית, איבוד משקל. זמן הבדיקה - עד 6 חודשים. בדיקה משלימה לתקן ASTM D6691-09.
- **ASTM D7991-15** - מדידת התכלות ביולוגית בסביבה מימית לפי פליטת CO_2 . נועד לדמות תנאים בקו החוף. זמן הבדיקה - עד 24 חודשים.

תוכניות הסמכה למוצרים המתכלים ביולוגית

בהעדר חקיקה לתקינה ארצית או אזורית, מכוני הסמכה ומעבדות תקינה פיתחו תוכניות הסמכה עצמאיות שקיבלו תאוצה והכרה. לכן, במדינות שונות יתכן שוני בסוג ההסמכה שעל היצרן לספק. קיימת הכרה ודיאלוג בין המוסדות השונים, כך שבד"כ מוצר שקיבל אישור של אחד הגופים יוכל לעבור במסלול מהיר לקבלת האישור המבוקש מגוף אחר.

רשימת הגופים המובילים והסמלים:

- (1) **BPI (Biodegradable Plastics Institute)** - הסמכה המקובלת בצפון אמריקה.



- (2) **DIN Certco** - הסמכה המקובלת באירופה.



- (3) **TUV Austria** - הסמכה המקובלת באירופה.



רקע כללי והגדרות		תכנון אריזה מקיימת		חומרים לאריזה	
נייר וקרטון	זכוכית	מתכת	שילוב חומרים	פלסטיק	
רקע כללי	חומרים ממוחזרים	ביופלסטיק	פלסטיק ממקורות מתחדשים	פולימרים מתכלים	התאמה למיחזור והתכלות

התאמה למיחזור והתכלות - מחזורי סוף החיים

איסוף האריזה בסוף החיים

מערכת הטיפול באריזה בסוף חיייה צריכה לכלול מערך לאיסוף החומרים מהציבור, מיון החומרים לפי סוגים והעברת החומר הממוין למחזרים מתאימים. במרבית המקרים מתבצע המיון בשילוב אמצעים מכניים ואופטיים מתקדמים, המאפשרים תפוקות גבוהות, מיון מדויק וחיסכון משמעותי בכוח האדם. למרות הפיגור ביישום הפתרונות, מרבית שיטות העבודה מיוצגות גם בארץ.

מסלולים שונים לאיסוף בפסולת כוללים:

1. איסוף זרם אחד של פסולת כללית בלתי ממויינת ומיון החומרים למיחזור מזרם זה במתקנים ייעודיים. בשיטה זו איסוף הפסולת מתבצע כמקובל מזה שנים רבות, ללא הפרדה לפחים שונים. החומר מועבר למתקני מיון (MRF Material Recovery Facility) ושם מופרדים החומרים לזרמים שונים לצורך העברתו למיחזור.

2. איסוף זרם אחד של אריזות למיחזור ומיון החומרים לצורך מיחזורם. גם בשיטה זו מועבר החומר שנאסף למתקני מיון (MRF) אך בזכות ההפרדה מהפסולת הכללית (האורגנית) המיון קל יותר לביצוע והחומר המתקבל איכותי יותר. עיקרון זה מופעל בארץ על ידי תאגיד תמיר לאיסוף פסולת האריזות בפחים הכתומים ברחבי הארץ.



יישום עקרון איסוף זרם אחד של אריזות מיחזור - הפח הכתום של תמיר.

*הערה: בשתי אפשרויות אלו (איסוף פסולת בלתי ממויינת או איסוף אריזות בלבד), נהוג להפריד ולאסוף זכוכית במערכת נפרדת. זאת מאחר ושברי הזכוכית פוגעים במתקני המיון והאיכות החומר המתקבל.

3. איסוף ממוקד במדרכות (Curbside Collection) - בשיטה זו מתבצע איסוף ממוקד של החומרים למיחזור מצידו הדרכים בשכונות המגורים. התושבים מונחים בכל יום להוציא לצידו הדרכים חומרים מסוימים, הנאספים בסבב ייעודי. שיטה זו אינה מקובלת בארץ כלל. זו הדרך היקרה ביותר לאיסוף חומרים למיחזור, עקב ריבוי סבבי האיסוף. במרבית המקרים השיטה חייבת תמיכה על ידי ביקורת שוטפת למניעת השלכת חומרים ברי מיחזור לזרם הפסולת הכללי.

4. איסוף ממרכזי הפרדה שכונתיים - שיטה זו מקובלת בעולם באזורים כפריים ושכונות עם צפיפות אוכלוסייה נמוכה. השיטה מאפשרת הפרדה טובה יותר של החומרים כבר בנקודת האיסוף והיא אינה מחייבת סבב איסוף נפרד מבתי התושבים. מצד שני שיטה זו מחייבת נכונות של הציבור להגיע עם הפסולת המופרדת לנקודות האיסוף. איסוף הבקבוקים למיחזור ברחבי הארץ מבוצע בשיטה זו בהצלחה מרובה מזה יותר מ-20 שנה.

אחריות יצרן מורחבת

במעבר מקובל לממן את פעילות האיסוף הנפרדת של פסולת אריזות על ידי "אחריות יצרן מורחבת" (EPR). לפי גישה זו, יצרן אשר מוכר ומפיץ מוצרים ארוזים אחראי לאיסוף פסולת האריזות והעברתה למיחזור. במרבית המדינות המפעילות את השיטה הוקם גוף אשר מבצע את פעילות האיסוף והמיון של החומרים עבור כלל היצרנים, בשמם ועל חשבונם.

הכלת כללי ה-EPR על החברות הגלובליות, הוביל להשקעות של החברות הגלובליות בקידום האיסוף והמיחזור גם בשווקים בעלי חתר סוציאקונומי נמוך יותר. בשווקים כאלו היחס בין ערך החומר למיחזור לרמת ההכנסה הבסיסית, מאפשר הקמת מערכות מיון ואיסוף, המבוססות על עבודה ידנית. יוזמות כגון **PLASTIC BANK**, מאפשרות לאנשים בעלי הכנסה נמוכה ביותר, לזכות בהכנסה מינימאלית על ידי איסוף של חומרים למיחזור. הפעילות מצליחה בזכות תמיכה מסיבית של בעלי המותגים הגדולים, שזוכים מצידם ליחסי ציבור משופרים, ביחד עם מקורות חומר למיחזור הנחשבים יוקרתיים.

חיוב השימוש בחומרים ממוחזרים לאריזות

בעשורים האחרונים התמקדה מערכת הרגולציה בקביעת יעדים לאיסוף ומיחזור פסולת אריזות, ביחד עם מגבלות חמורות על הטמנת חומרי אריזה (כמו גם חומרים אחרים). זאת מאחר והיקפי המיחזור של חומרי האריזה השונים לא השתנו באופן משמעותי (פרט לקרטון, נייר, ובקבוקי PET). לאחרונה נראה שהמצב משתנה עם ההצלחה (התאורטית בשלב זה) של קרן מקארטור להחתים חברות ענק על ההתחייבות לשימוש בחומרים ממוחזרים בייצור אריזות. בשנתיים האחרונות התחילו מהלכים לגביית היטלים שונים על אריזות שאינן כוללות רמה מסוימת של חומר ממוחזר (לרוב כ-30%). היטלים אלו מובילים לגידול משמעותי בביקוש לחומרים ממוחזרים ובהתאם לעליית מחירים. עליית מחירים זו מובילה להשקעות בפיתוח טכנולוגיות מיחזור חדשות,

חומרים לאריזה		תכנון אריזה מקיימת		רקע כללי והגדרות	
פלסטיק	שילוב חומרים	מתכת	זכוכית	נייר וקרטון	
התאמה למיחזור והתכלות	פולימרים מתכלים	פלסטיק ממקורות מתחדשים	ביופלסטיק	חומרים ממוחזרים	רקע כללי

שעד כה היו לא כלכליות. יחד עם זאת, הצפי הוא שלא ניתן יהיה לספק את הביקוש לחומר ממוחזר הדרוש על מנת לעמוד בהתחייבויות אלו.

טיפול בפלסטיק מתכלה בקומפוסט

פסולת אורגנית מהווה בכל העולם (ובמיוחד בישראל) מרכיב עיקרי מהפסולת הביתית והיא אחראית למרבית המפגעים כגון: ריח, תשטיפים, פליטת גזי חממה וכדומה. לצד זה, קל יחסית להפיק תועלת ממיחזור בתהליכים פשוטים כגון קומפוסטציה ועיכול אנאירובי. על כן נעשה מאמץ גדול במדינות מפותחות (במיוחד באירופה, אך לא רק) להפריד בין פסולת אורגנית לפסולת כללית, בשלב מוקדם ככל האפשר בתהליך הטיפול בפסולת.

הטיפול בפלסטיק מתכלה זהה לטיפול בפסולת האורגנית אולם השילוב של פלסטיק מתכלה בתוך הזרם האורגני בעייתי ומכיל מספר אתגרים:

1. מיון שגוי של הפלסטיק המתכלה החוצה מזרם הפסולת האורגנית

כמו במיחזור חומרים אחרים, מיחזור הפסולת האורגנית רגיש מאד לזיהומים. תוצרי המיחזור משמשים במרבית המקרים לשימושים חקלאיים, ואלו מקפידים מאד להימנע מחומרים זרים כגון שאריות פלסטיק, זכוכית ומתכות, המהווים פגיעה בגידולים רגישים. עקב הקושי בהפרדה איכותית של חומר אורגני ממרכיבים אנאורגניים, קומפוסט שיוצר מפסולת ביתית נחשב באיכות נמוכה. הביקוש אליו נמוך ומחירו בהתאם. רגישות זו לזיהומים מובילה להשקעה משמעותית באמצעי מיון ובקרה בכניסה למתקני הטיפול בפסולת אורגנית. אלו לרוב מתקנים מכניים, הממיינים את החומר לפי גודל החלקיקים. שיטה זו מנסה להבטיח שכל מה "שנראה, מרגיש ומריח" כמו פלסטיק, לא יגיע למתקן הטיפול עצמו. נקודה זו חשובה מאד בבחינת השימוש בפלסטיק מתכלה בקומפוסט, מאחר ובמרבית המקרים הפלסטיק המתכלה יישלף מזרם הפסולת ויעבור להטמנה כבר בכניסה למתקן הטיפול.

2. התאמת משך ההתכלות

אין מתאם מספק בין התקנים הקיימים לאישור התאמת חומרים פלסטיים ביו-מתכלים לקומפוסט, לתהליך העבודה בפועל של מתקני הקומפוסטציה. לכן, גם במידה ופלסטיק מתכלה אכן יגיע לתהליך הקומפוסט, קיימת סבירות גבוהה שחלקו לפחות לא ישלים את התהליך במועד המתאים וכך יפגע משמעותית באיכות הקומפוסט. דוגמה לכך ניתן לקרוא [במסמך שפרסמו איגוד מפעלי הקומפוסט של אורגנו, בו הם מפרטים את הסיבות למניעת קבלת פלסטיק מתכלה במתקני הקומפוסט](#).

3. העדר פירוק לביומסה

שיקול נוסף שמשפיע על נכונות מתקני הקומפוסט לקלוט חומרים ביו-מתכלים נובע מהעובדה שחלק משמעותי מהחומרים שאכן יתכלו במערכת הקומפוסטציה לא תורמים בפועל ליצירת ביומסה. פירוק מלא של חומרים כגון PLA, אכן הופך לפחמן דו חמצני ומים, אבל מתקני הקומפוסטציה מעוניינים בביומסה שנוצרת בתהליך, והיא זו שבעלת ערך עבורם. התכלות החומר בפני עצמה אמנם מפחיתה את בעיית

הזיהום, אך היא רחוקה מאד מיישום הגישה של כלכלה מעגלית. זו גם הסיבה שלמרות שבהתחייבות החברות הגדולות לשיפור נושא הכלכלה המעגלית, כלולה אפשרות לאריזות ביו-מתכלות, אך מרבית החברות אינן כוללות יעד זה במסגרת היעדים הפנימיים שלהם. פתרון זה של אריזה מתכלה אידיאלי לסוגי אריזות שכיום בעייתי למחזר, אריזות קטנות במיוחד או אריזות המכילות חומרים אורגניים כגון קפסולות קפה. לכן, יתכן שבעתיד, עם הגדלת השימוש בחומרים מתכלים, יבוצעו התאמות במתקני הקומפוסטציה כך שחומרים אלו יצליחו להיכנס לזרם החומרים האורגניים ולעבור את תהליך הקומפוסטציה במלואו.

המצב בישראל - חוק האריזות הישראלי, יכולות המיון וסימון האריזות

1) חוק האריזות הישראלי

בתחילת חודש יולי 2011 נכנסה לתוקף חובת המיחזור והתקשרות עם גוף מוכר במסגרת חוק האריזות הישראלי המיישם את הגישה האירופאית ל-ERP ([אחריות יצרן מורחבת](#)). חובה זו באה לידי ביטוי בחוק האריזות. החוק קודם ביוזמה משותפת של התאחדות התעשיינים, המשרד להגנת הסביבה והארגונים הירוקים. מטרתו להביא לצמצום כמות הפסולת הנוצרת מאריזות, למנוע את הטמנתה ולעודד שימוש חוזר באריזות לשם הקטנת ההשפעה השלילית הסביבתית של אריזות ופסולת אריזות.

החוק חייב הקמת גוף מוכר שיבצע עבור היצרנים והיבואנים את חובותיהם. במקביל מחייב החוק את כל היצרנים והיבואנים (פרט למי שמייצר/מייבא פחות מ-1 טון אריזות בשנה) להתקשר עם הגוף המוכר, לשם ביצוע חובותיהם. כמו כן חלה חובת העברת דיווחים חצי שנתיים ודיווח שנתי מבוקר על ידי ר"ח על כמות וסוג האריזות שנמכרו על ידי היצרן / היבואן, לגוף המוכר. החוק לא חל על יצרן/יבואן של אריזה של מוצר שהוא חומר מסוכן, אלא אם הוא מיועד לשימוש ביתי ועל יצרן/יבואן של אריזה של חומר נפץ. אי מילוי החובות עלול לגרור סנקציות מנהליות ופליליות, לרבות אחריות אישית, קנסות ועיצומים.

בידיעה שלא ניתן לטפל בפסולת בלי שילוב של כל שרשרת הערך של הפסולת, החוק מחייב גם את הרשויות המקומיות ואחרים אחרים לפינוי פסולת לקבוע הסדרים להפרדת פסולת אריזות ולהתקשר עם הגוף המוכר לשם ביצוע חובותיהם. הגוף המוכר נושא בכל העלויות הקשורות באיסוף, הפרדה ומיחזור פסולת האריזות. הבעלות על פסולת אריזות באשר היא, נמצאת בידי הגוף המוכר.

בשנת 2011 הוקם [תאגיד ת.מ.י.ר - תאגיד מיחזור האריזות בישראל \(חל"צ\)](#), וזכה להכרה כגוף מוכר לפי חוק האריזות. תמיר, שנותר בינתיים כגוף המוכר היחיד בארץ, החל להקים את מערכת האיסוף וההפרדה של אריזות, בהתקשרות מול הרשויות המקומיות. על מנת לממן את פעילות מיחזור האריזות, תמיר גובים [דמי טיפול](#), בהתאם למשקל האריזות שנמכרו, החומר ממנו עשויות האריזות והזרם אליו נמכרות האריזות (ביתי / מסחרי). פסולת האריזות שנאספת באמצעות הפחים

רקע כללי והגדרות		תכנון אריזה מקיימת		חומרים לאריזה	
נייר וקרטון	זכוכית	מתכת	שילוב חומרים	פלסטיק	
רקע כללי	חומרים ממוחזרים	ביופלסטיק	פלסטיק ממקורות מתחדשים	פולימרים מתכלים	התאמה למיחזור והתכלות

PVC. אלו מועברים להשבה (בשני אתרים: חירייה ודניאלי בסביבה) לצורך הפקת אנרגיה. גם אריזות הקטנות מ-4 ס"מ בעייתיות למיחזור. מגבלה זו נוצרת בשל הצורך להפריד מהפסולת זיהומים אורגניים ועל כן אריזות הקטנות מגודל זה לא יגיעו למיחזור. לגבי אריזות מחומרים מתכלים, המצב בישראל שונה בהשוואה לאירופה. כאן אין כמעט פתרונות קצה והסדרי הפרדה לקומפוסט תעשייתי. אריזה שמכילה פלסטיק מתכלה תמצא דרכה לפח כתום, תפגע בתהליך המיחזור ותיצור נזק במקום תועלת.



הפח הכתום של תמיר לאיסוף האריזות בישראל.

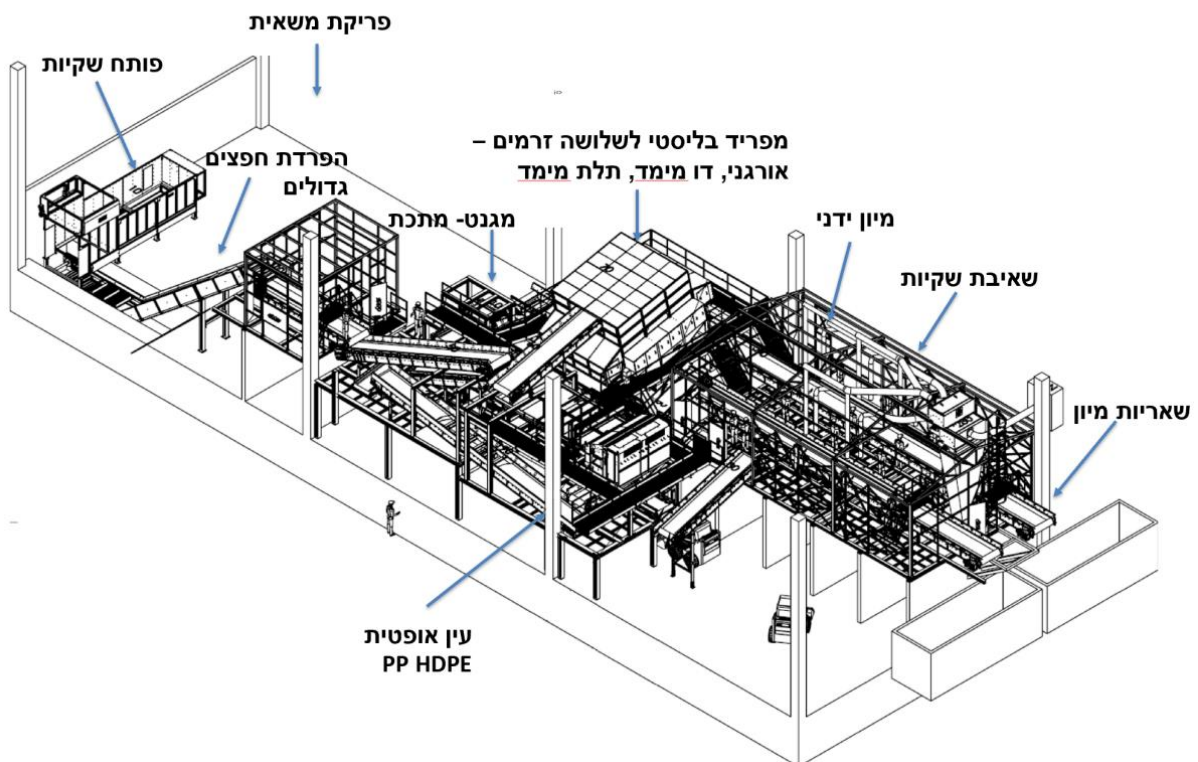
הכתומים מועברת לשני מרכזי מיון מרכזיים לצורך הפרדת החומרים השונים והעברתם למיחזור. בחוק האריזות גם הוסמך השר להגנת הסביבה "לקבוע הסדרים לעניין אמצעי הפחתה במקור, שעל יצרני האריזות לפעול לפיהם" אך עד כה לא נעשתה כל פעולה בכיוון זה.

(2) יכולות מיון הפסולת בישראל

תהליך המיון מהווה שלב ראשוני וקריטי במיחזור. על מנת להתאים את האריזה ליכולות המיון המקומיות מומלץ להתייעץ עם תאגיד תמיר עוד בשלב תכנון האריזה. בישראל קיימים מספר סוגי פחים, בצבעים שונים:

- פח כחול מיועד לנייר וקרטון דק.
- פח סגול מיועד לאיסוף אריזות זכוכית.
- קרטוניה המיועדת לקרטונים גדולים.
- מיחזורית המיועדת לבקבוקי משקה גדולים מפלסטיק.
- פח כתום מיועד למיחזור אריזות פלסטיק, מתכת וקרטוני משקה. פסולת זו מגיעה לאחר איסופה למרכז המיון.

בתחנות המיון בישראל ממיינים שבעה זרמי פסולת לאחר איסוף ממיון חלקית מהצרננים הסופיים: מתכות, קרטוני משקה, שלושה זרמי פלסטיק שונים, פסולת מעורבת וקרטון. שלושת זרמי הפלסטיק מתחלקים ל: PET, PP ו-HDPE כזרם נוסף מאוחד ושקיות של PE. זרם הפסולת המעורבת מכיל מוצרי פלסטיק מפולימרים מעורבים או מפולימרים שאין היתכנות למיחזורם: למינטיים, PS, PA.



קו מיון הפסולת של תמיר במתקן המיון בעפולה.

רקע כללי והגדרות		תכנון אריזה מקיימת		חומרים לאריזה	
נייר וקרטון	זכוכית	מתכת	שילוב חומרים	פלסטיק	
רקע כללי	חומרים ממוחזרים	ביופלסטיק	פלסטיק ממקורות מתחדשים	פולימרים מתכלים	התאמה למיחזור והתכלות

3) סימון אריזות למיחזור

ב-2019 יצא תאגיד תמיר עם סימון חדש לאריזות במטרה להקל ולעודד מיחזור לפחים הנכונים. הסימונים ברורים לעין ומאפשרים לצרכן השלכה קלה של הפסולת. אימוץ הסימון על ידי יצרנים ויבואנים יתרום להגדלת המיחזור ולהפחתת ההשפעות על

הסביבה. הדבר גם יחזק את התדמית הסביבתית של החברות.

4) התאמת האריזות לזרמי המיין

לפניכם כמה כללים מנחים להתאמת האריזות לתהליכי המיין והמיחזור הקיימים בישראל:



מיכלי משקה שאינם חייבים בפיקדון (1.5 ליטר ומעלה)



נייר וקרטון דק



אריזות זכוכית



אריזות פלסטיק, אריזות מתכת, קרטוני משקה

סימון אריזות למיחזור של תמיר.

סוג החומר	בעיה	פתרון מומלץ
אריזות PS	לא קיים פתרון בארץ למיין PS.	מעבר ל-PP ו-PE. הערה: דמי הטיפול באריזות שכאלו עומד על 808 ₪ לטון בעוד דמי הטיפול ב-PE, PP, PET עומד על 505 ₪ לטון.
שקיות רגילות ואריזות ושרינק העשויות LDPE, HDPE	מכילות מדבקת נייר או ידית נשיאה מחומר אחר.	מעבר למדבקות וידיות נשיאה מחומר זהה.
בקבוקים מחופים שרוול פלסטיק	מכונות המיין האוטומטיות לא מזהות את החומר ממנו עשוי הבקבוק. השרוולים מכילים דיו הפוגע בתהליך המיחזור.	תוויות ושרוולים יכסו עד ל-50% משטח הבקבוק או יהיו עשויות מחומר זהה.
בבקבוקי PET - אטומים, לבנים או מטאליים	PET לבן יכול להתמחזר רק לבקבוקים לבנים ואין דרישה לכך מהשוק PET אטום או מטאלי מוגבל ביכולות המיחזור - רק לסיבים	מעבר למוצר שקוף או ירוק/כחול שקוף לפי הנחיות EPBP.
בקבוקי PET רב שכבתיים	מיחזור בעייתי בגלל שילוב פולימרים	מעבר לציפוי SiO ₂ או ציפוי פלסמה לשמירה על חיי המוצר
צבע שחור באריזות PP, HDPE	הצבע השחור ממסך את קריאת ה-IR של האריזה ופוגע במיין	מעבר לצבעים אחרים או לפיגמנט שחור שלא ממסכים את הקריאה.
אריזות רב שכבתיות לשמירה על אורך החיים	מיחזור בעייתי בגלל שילוב פולימרים	מעבר ל-EVOH או PA באחוז הקטן מ-5%.

רקע כללי והגדרות		תכנון אריזה מקיימת		חומרים לאריזה	
נייר וקרטון	זכוכית	מתכת	שילוב חומרים	פלסטיק	
רקע כללי	חומרים ממוחזרים	ביופלסטיק	פלסטיק ממקורות מתחדשים	פולימרים מתכלים	התאמה למיחזור והתכלות

על הכותבים

עוזי קלברמן

מומחה לפיתוח פלסטיק וסביבה
רקע מקצועי:

כיום עוסק בפיתוח טכנולוגי ואספקת ציוד לתעשיית הפלסטיק והמיחזור, בריפאל ובפלורמא. ניסיון של שנים רבות בתחום מיחזור חומרים פלסטיים ונוספים. מנהל טכני ומנכ"ל לשעבר בש.צ.פ. שבה החל השימוש בחומר ממוחזר כבר בסוף שנות ה-80 של המאה הקודמת. מנהל לשעבר של אביב תעשיות מיחזור שהתמקדה במיחזור בקבוקי הפלסטיק והקמת מערכת המיחזור למכלי הפיקדון, מכל החומרים.

ליצירת קשר: uzi-apa@ripal.co.il



סטיב ארנטוף

יועץ עצמאי, מומחה באריזה, פולימרים, טכנולוגיות ייצור, תקינה בנושאי אריזה ופלסטיקה, ביו-פלסטיק ופולימרים ממקור מתחדש. רקע מקצועי:

עשרות שנים בתפקידים שונים בייצור ופיתוח של אריזות גמישות בחברת פלסטופיל. כיום יועץ בחברת ההזנק טיפה.

ליצירת קשר: aphayt3@gmail.com



עריכה, נעה אלבוחר

עורכת מגזין PlasticTime לפולימרים, פלסטיק ואריזה לתעשייה הישראלית. מהנדסת כימית עם ניסיון בפיתוח אריזות גמישות.

ליצירת קשר: noa@plastictime.co.il



מקורות

- http://www.tuv-at.be/fileadmin/user_upload/docs/download-documents/bioplastics/Informative_documents_ID/Serie_500_Biobased/PD-LTC-TABE-CERT-BIO-ID-531_OKB_from_ASTM_D6866_to_EN_16640_EN_1912.pdf
- https://biomassboard.gov/pdfs/buckhalt_tac_may_2011.pdf
- <https://www.seinet.org/drupal-7.51/node/31>
- <http://www.tuv-at.be/green-marks/certifications/ok-biobased/>
- <https://www.biobasedcontent.eu/en/certification-documents/>
- https://www.dincertco.de/en/dincertco/produkte_leistungen/zertifizierung_produkte/umwelt_1/umwelt.html
- <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/10/Standards-and-Labels-related-to-Biobased-Products-2016-to-2018.pdf>
- <https://www.biobasedconsultancy.com/en/about-biobased/certification-and-ecolabels>
- <https://www.betalabservices.com/biobased/ecolabels-astm-d6866.html>
- <https://sustainablebrands.com/read/press-release/carbon-trust-endorses-braskem-s-carbon-negative-claims-for-bio-based-plastic>
- https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/environmental-impact-assessments-innovative-bio-based-products_en
- https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/NPEC-Hybrid_English_22-11-17_Digital.pdf
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5445709/pdf/materials-02-00307.pdf>
- https://www.researchgate.net/publication/225465348_Microbial_Succinic_Acid_Its_Polymer_Polybutylene_succinate_and_Applications
- <https://medcraveonline.com/MOJBOC/MOJBOC-02-00080.pdf>
- https://www.academia.edu/6742638/The_return_of_a_forgotten_polymer_Polycaprolactone_in_the_21st_century
- <https://www.transparencymarketresearch.com/polycaprolactone-market.html>
- <http://polymerdatabase.com/Polymer%20Brands/PCL.html>
- <https://www.kuraray-poval.com/aboutus/history/>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_alcohol
- https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/817684/review-standards-for-biodegradable-plastics-IBiolC.pdf
- http://www.eurobioref.org/Summer_School/Lectures_Slides/day6/L15_L.Capuzzi.pdf.pdf
- <http://tema.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M1206/M1206.pdf>
- <https://polymerinnovationblog.com/thermoplastic-starch-a-renewable-biodegradable-bioplastic/>
- <https://bioplasticsnews.com/2018/06/05/natureworks-saga-thai-fiasco/>
- <https://www.corbion.com/bioplastics/total-corbion-pla>
- <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2009/C5/b820162p#!divAbstract>
- <https://www.aquapakpolymers.com/wp-content/uploads/2019/04/White-Paper-version-7-March-2019-.pdf>
- https://www.gohsenol.com/doc_e/tech/tech_03/tech_03_12.shtml
- <https://www.mc3dp.com/products/bvoh/>
- <https://www.amazon.com/Handbook-Biodegradable-Polymers-C-Bastioli/dp/1859573894>
- <https://www.biobasedeconomy.eu/app/uploads/sites/2/2017/03/Current-relevant-biodegradation-and-ecotoxicity-standards-chapter-5-10.pdf>
- <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsos.171792>
- http://www.plasticec.org/fileadmin/files/Certification_biodegradable_Plastics_V2marec.pdf

- <https://enviroliteracy.org/environment-society/life-cycle-analysis/>
- <https://course.oeru.org/csf101/learning-pathways/defining-sustainability-and-sustainable-development/the-brundtland-commission-definition/>
- <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm>
- <https://www.scribd.com/document/85512035/FOUNDATION-CONCEPTS-What-Is-Sustainability#download>
- https://www.bpf.co.uk/sustainable_manufacturing/life-cycle-analysis-lca.aspx
- https://www.researchgate.net/publication/242178762_Key_figures_for_packaging_A_tool_for_evaluation_and_documentation_of_packaging_optimisation
- <https://pdfs.semanticscholar.org/5a3f/ad7afea41e4e291e7df36b8979143727d4a1.pdf>
- <https://timeforchange.org/what-is-a-carbon-footprint-definition/>
- https://www.researchgate.net/publication/255258522_Lifecycle_analysis_Uses_and_pitfalls
- https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_FAQ_on_bioplastics.pdf
- <https://www.packaginginsights.com/news/Going-green-Use-of-Braskems-green-polyethylene-exceeds-150-brands-worldwide.html>
- <https://www.bioplasticsmagazine.com/en/news/meldungen/20191016Borealis-to-start-Bio-PP-production-before-end-2019.php>
- <https://www.bioplasticsmagazine.com/en/news/meldungen/20180607-Renewably-sourced-polypropylene-a-reality-.php>
- <http://news.bio-based.eu/mitsui-chemicals-group-introduces-bio-polypropylene-project-at-g20-ministerial-meeting-in-karuzawa/>
- <https://prd-pub.lyondellbasell.com/en/sites/circulen/>
- <https://corporate.dow.com/en-us/news/press-releases/dow-and-upm-partner-to-produce-plastics-made-with-renewable-feedstock.html>
- <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/petrochemicals/101719-inovyn-becomes-first-commercial-producer-of-bio-attributed-pvc>
- <https://www.inovyn.com/news/inovyn-starts-deliveries-of-the-worlds-first-commercially-available-renewable-pvc/>
- <https://www.sustainableplastics.com/news/upm-biofuels-and-ineos-strike-renewable-raw-materials-supply-deal>
- <https://www.ptonline.com/news/lyondellbasell-produces-family-of-bio-based-polyolefins>
- <https://www.ifpenergiesnouvelles.com/article/bio-paraxylene-production-path-100-bio-based-bottles>
- <https://matmatch.com/blog/alternatives-to-pet-new-materials-for-a-food-packaging-revolution/>
- <https://www.coca-cola.eu/news/sharing-plantbottle-technology-with-the-world/>
- https://www.researchgate.net/publication/281753138_PlantBottle_Packaging_program_is_continuing_its_journey_to_pursue_bio-mono-ethylene_glycol_using_agricultural_waste
- <https://www.anellotech.com/press/100-renewable-plastic-bottle-significantly-closer-reality-after-successful-production-bio>
- [https://www.ptonline.com/articles/coca-cola-debuts-first-100-biobased-pet-bottle\(2\)](https://www.ptonline.com/articles/coca-cola-debuts-first-100-biobased-pet-bottle(2))
- <https://www.ifpenergiesnouvelles.com/article/bio-paraxylene-production-path-100-bio-based-bottles>
- <https://matmatch.com/blog/alternatives-to-pet-new-materials-for-a-food-packaging-revolution/>
- <https://www.hidex.de/wp-content/uploads/413-012-Biobased-14C.pdf>
- <https://www.livescience.com/3400-chemistry-life-oil.html>
- http://www.tuv-at.be/fileadmin/user_upload/docs/download-documents/english/ok-biobased/PD-LTC-TABE-CERT-BIO-ID-536-OKB_vs_NEN_EN_1910.pdf

התאחדות התעשיינים בישראל



איגוד תעשיות מוצרי צריכה ובנייה