

מעבר לגזי קירור מתקדמים בבתי אריזה ובתעשייה

ד"ר עוזי דגן, מומחה לכלכלה מעגלית והתייעלות במשאבים, המרכז לתעשייה מתקדמת

בעשור האחרון, מגמות סביבתיות ורגולטוריות מובילות את ענף הקירור למעבר מהיר מקררים (גזי קירור) מסורתיים ממשפחת ה-HFCs לגזים ידידותיים יותר לסביבה. גזים אלה, אף שאינם פוגעים בשכבת האוזון, בעלי **פוטנציאל התחממות גלובלית (GWP)** גבוה ותורמים באופן ניכר לשינויי האקלים. כתוצאה מהסכם קיגלי, ייצורם מוגבל והם הולכים ומתייקרים בשל ירידה בהיצע ושינויי חקיקה במדינות רבות.

בתעשיות רבות, ובמיוחד בבתי אריזה חקלאיים, האתגר כפול: לא רק לעמוד ברגולציה ולהפחית את השפעתם הסביבתית של מתקני הקירור, אלא גם להבטיח קירור יציב ואחיד לשמירה על טריות התוצרת החקלאית לאורך כל שרשרת האספקה – מהקטיף ועד לשיווק. פתרונות קירור יעילים הם תנאי הכרחי לשמירה על איכות, חיי מדף והפחתת פחת תוצרת, במיוחד בתנאי אקלים חמים כשל ישראל.

במאמר זה נסקור בקצרה כיצד פועלים הקררים במערכות הקירור, נציג את האתגרים והסיבות להחלפת הגזים המזהמים, ונפרט על סוגי הקררים הידידותיים לסביבה הזמינים כיום לשימוש תעשייתי, כולל יתרונותיהם וחסרונותיהם.

אופן פעולת מערכות הקירור

מערכות קירור ומיזוג פועלות על עקרון **מעגל דחיסה-התאדות**: גז הקירור נדחס במדחס, עולה בטמפרטורה ובלחץ, עובר עיבוי במעבה, מתרחב דרך שסתום התפשטות ומצטנן, ואז מתאדה במאייד תוך ספיגת חום מהחלל או המוצר שיש לקרר. המחזור חוזר שוב ושוב, ותכונות הגז – כמו טמפרטורת רתיחה, לחץ עבודה ויעילות אנרגטית – קובעות את ביצועי המערכת.

מדוע להחליף את ה-HFC?

HFCs כגון **R-404A, IR-134a** אמנם בעלי **ODP = 0** (Ozone Depletion Potential) – פוטנציאל דילול שכבת האוזון, כלומר תרומתם לפגיעה בשכבת האוזון, אך ה-**GWP** (Global Warming Potential), הפוטנציאל להשפעה על ההתחממות גלובלית שלהם גבוה מאוד. ערכי ה-GWP של חומרים אלו מגיעים לאלפים, מה שהופך אותם לגורם משמעותי לשינויי אקלים. בעבר, בשנות ה-80 וה-90, ההתייחסות העיקרית לבחירת גזי קירור הייתה מבוססת כמעט בלעדית על ערך ה-ODP במטרה לצמצם את הפגיעה בשכבת האוזון בעקבות ממצאי פרוטוקול מונטריאול. המעבר מ-CFCs ו-HCFCs ל-HFCs חשב אז לפתרון סביבתי מתקדם, משום ש HFCs אינם פוגעים באוזון. עם זאת, עם הצטברות הידע המדעי התברר כי בחינה על פי ODP בלבד אינה מספיקה, וכי יש להתייחס גם ל-GWP מדה המשקף את תרומת הגז להתחממות הגלובלית.

כתוצאה מהבנה זו, נכנסו ה-HFCs תחת מגבלות רגולטוריות בינלאומיות, ובראשן תיקון קיגלי לפרוטוקול מונטריאול, שמטרתו הפחתה הדרגתית של השימוש בהם. העלייה בעלות הייצור (עקב מגבלות ייצור והפחתת היצע), יחד עם הדרישה לצמצם פליטות גזי חממה, דוחפת את התעשייה לאמץ חלופות בעלות GWP נמוך משמעותית, מבלי לפגוע ביעילות ובביצועים התרמודינמיים של המערכות.

סוגי גזי קירור ידידותיים לסביבה

1. גזים טבעיים (Natural Refrigerants)

○ **CO₂ (R-744)**: $GWP \approx 1, ODP = 0$ מתאים במיוחד למערכות קירור מדורג ובתי קירור גדולים.

○ **אמוניה (R-717):** GWP = 0, ODP = 0, יעילות גבוהה מאוד, אך מצריכה אמצעי בטיחות מחמירים.

○ **הידרוקרבוני (R-290, R-600a):** GWP נמוך מאוד, יעילות אנרגטית גבוהה, רגישים לדליקות.

2. HFOs – Hydrofluoroolefins:

○ דוגמאות – R-1234yf, R-1234ze בעלי GWP נמוך במיוחד, ODP = 0, מתאימים למיזוג ותעשייה קלה.

3. HFC/HFO (Blends): תערובות:

○ משלבות ביצועים גבוהים עם GWP מופחת, כגון R-449A, R-452A, R-513A.

טבלה 1: רשימת הקררים הנפוצים בשימוש תעשייתי והשפעתם על הסביבה

סוג	גז קירור	הערות עיקריות	GWP (Global Warming Potential)	ODP (Ozone Depletion Potential)
HFC	R-134a	בשימוש נרחב במיזוג אוויר לרכב ולתעשייה קלה. GWP גבוה.	1,430	0
תערובת HFC	R-404A	נפוץ במערכות קירור מסחריות; נחשב אחד המזיקים ביותר מבחינת GWP.	3,922	0
תערובת HFC	R-410A	נפוץ במזגנים ביתיים ותעשייתיים; יוסר בהדרגה מהשוק.	2,088	0
תערובת HFC	R-507A	ביצועים דומים ל-R-502/404A; נתון למגבלות/הפחתה בגלל GWP גבוה מאוד.	3,985	0
טבעי	R-744 (CO ₂)	בטוח סביבתית, דורש עבודה בלחצים גבוהים.	1	0
טבעי	R-717 (אמוניה)	יעילות תרמודינמית גבוהה מאוד, רעיל ודליק במידה.	0	0
טבעי	R-290 (פרופאן)	יעילות גבוהה, דליק – מתאים למערכות קטנות ובינוניות.	3	0
HFO	R-1234yf	חלופה ל-R-134a במיזוג לרכב. GWP נמוך מאוד.	<1	0

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC AR5), U.S. Environmental Protection Agency (EPA), ASHRAE Refrigerant Designations.

סיכום

המעבר מגזי HFC מסורתיים לגזי קירור ידידותיים לסביבה אינו עוד "מגמה ירוקה" – הוא הכרח תעשייתי, כלכלי וסביבתי. בעוד שבעבר נמדדה הצלחתם של גזי קירור בעיקר לפי תרומתם להפחתת פגיעת האוזון (ODP), היום ברור כי יש להתייחס במקביל גם לפוטנציאל ההתחממות הגלובלית שלהם (GWP). ההבנה הזו, יחד עם רגולציה מחמירה ועליית מחירי קררי HFC מחייבת את התעשייה להתאים את עצמה ולהיערך לשינוי.

הטכנולוגיות הקיימות כיום – גזים טבעיים, HFOs, ותערובות חדשניות – מציעות חלופות עם ביצועים תרמודינמיים גבוהים, עלויות תפעול מופחתות ופגיעה סביבתית נמוכה באופן משמעותי. עבור מגזרי תעשייה רגישים, כמו בתי אריזה חקלאיים, יישום פתרונות אלו הוא לא רק שדרוג טכנולוגי אלא גם דרך ישירה לשיפור חיי המדף של התוצרת, הפחתת פחית, וחיזוק התחרותיות בשוק המקומי והבינלאומי.

כעת הזמן לפעול: לבצע מיפוי של ציוד הקירור הקיים, לבחון חלופות מותאמות טכנולוגית ורגולטורית, ולהכין תוכנית מעבר הדרגתית לגזי קירור בעלי GWP נמוך. פעולה יזומה היום תבטיח עמידה בתקני המחר, תצמצם סיכונים תפעוליים וכלכליים, ותשמור על יתרון תחרותי בשוק עולמי שהולך ומאמץ פתרונות בני-קיימא.

להרשמה לתכנית הסיוע: <https://www.cfai.co.il/harshama>

המאמר נערך על בסיס הנחיות מקצועיות ונתמך בכלי ה-ChatGPT AI של OpenAI.