T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOĞUTMALI TREYLERDE GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ SOĞUTMANIN TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

Yusuf Taha İSMAİLOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Proses Programı

Danışman

Prof. Dr. Deniz ULUSARSLAN

Aralık, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOĞUTMALI TREYLERDE GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ SOĞUTMANIN TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

Yusuf Taha İSMAİLOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 30.12.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isı Proses Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Deniz ULUSARSLAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Deniz ULUSARSLAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Hakan DEMİR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Sevan KARABETOĞLU, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Deniz ULUSARSLAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan ‘’Soğutmalı Treylerde Güneş Enerjisi Destekli Soğutmanın Teorik Olarak İncelenmesi’’ başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Yusuf Taha İSMAİLOĞLU

İmza



Aileme

TEŞEKKÜR

Çalışma konusunun belirlenmesinde ve çalışmanın hazırlanmasında bilgisiyle ve tecrübesiyle bana yol gösteren, çalışmanın başlangıcından sonunda kadar her aşamasında yardımını ve desteğinin esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Deniz ULUSARSLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii
KISALTMA LİSTESİ xv
ŞEKİL LİSTESİ xvi
TABLO LİSTESİ xix
ÖZET xx
ABSTRACT xxii
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 4
1.3 Hipotez 5
2 KARAYOLU TAŞIMACILIĞINDA GÜNEŞ ENERJİSİ 7
3 GÜNEŞ GEOMETRİSİ VE GÜNEŞ IŞINIMI 12
3.1 Güneş Sabiti ve Atmosfer Dışı Işınım Değişimi 12
3.2 Güneş Açıları 14
3.3 Atmosfer Dışında Yatay Yüzeye Düşen Güneş Işınımı 16
3.4 Yeryüzüne Düşen Güneş Işınımı 17
4 SOĞUTMALI TREYLER TÜRLERİ VE ÜRÜN MUHAFAZASI 23
4.1 Soğutmalı Treyler Türleri 23
4.2 Hava Dağıtım Sistemi 26
4.3 Zemin Türleri 30
4.4 Yükleme Türleri 31
5 ÖNERİLEN SİSTEM VE METODOLOJİ 37
5.1 Sistem Şeması 38
5.2 Metodoloji 39
6 MATEMATİK MODEL 44
6.1 Soğutma Yükü Hesaplamaları 44
6.2 Güneş ışınımı hesaplamaları 51
6.3 Yakıt Tasarrufu ve Azaltılan Emisyon Hesaplamaları 53

6.4 Verim Hesaplamaları 59
6.5 Maliyet Hesaplamaları 63
7 SONUÇ **68**
7.1 Sonuçlar 68
7.2 Öneriler 86
KAYNAKÇA **88**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **93**

SİMGE LİSTESİ

n	1 ocaktan itibaren gün sayısı
a	Ampirik sabit
b	Ampirik sabit
k_T	Anlık berraklık indeksi
$Q_{instant\ solar}$	Anlık güneş ışınımıyla elde edilebilecek toplam enerji [J]
$m_{CO_2\ empty\ instant\ solar}$	Anlık güneş ışınımıyla soğutma ünitesi dizel motorunun treylerin boşken soğutulmasında ortaya çıkaracağı emisyon [g]
$m_{fuel\ empty\ instant\ solar}$	Anlık güneş ışınımıyla soğutma ünitesi dizel motorunun treylerin boşken soğutulmasında tüketeceği yakıt [L]
$t_{empty\ instant\ solar}$	Anlık güneş ışınımıyla treylerin boşken soğutma süresi içerisinde soğutma ünitesi dizel motorunun çalışacağı süre [s]
$\Delta m_{CO_2\ empty\ instant}$	Anlık güneş ışınımıyla treylerin boşken soğutulmasında tasarruf edilebilecek emisyon [g]
$\Delta m_{fuel\ empty\ instant}$	Anlık güneş ışınımıyla treylerin boşken soğutulmasında tasarruf edilebilecek yakıt [L]
$m_{CO_2\ loaded\ instant\ solar}$	Anlık güneş ışınımıyla soğutma ünitesi dizel motorunun treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında ortaya çıkaracağı emisyon [g]
$m_{fuel\ loaded\ instant\ solar}$	Anlık güneş ışınımıyla soğutma ünitesi dizel motorunun treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında tüketeceği yakıt [L]
$t_{loaded\ instant\ solar}$	Anlık güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutma süresi içerisinde soğutma ünitesi dizel motorunun çalışacağı süre [s]
$\Delta m_{CO_2\ loaded\ instant}$	Anlık güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında tasarruf edilebilecek emisyon [g]
$\Delta m_{fuel\ loaded\ instant}$	Anlık güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında tasarruf edilebilecek yakıt [L]

G_0	Atmosfer dışında yer alan birim yatay yüzeye düşen güneş ışınımı [W/m^2]
G_{on}	Atmosfer dışında yer alan güneş ışınımına dik birim yüzeye tüm dalga boylarında düşen güneş ışınımı [W/m2]
I_0	Atmosfer dışında yer alan yatay bir yüzeye düşen anlık güneş ışınımı [J/m^2]
H_0	Atmosfer dışında yer alan yatay bir yüzeye düşen günlük güneş ışınımı [J/m^2]
I_{bT}	Atmosferde yer alan eğimli yüzeye düşen anlık direkt güneş ışınımı [J/m^2]
I_T	Atmosferde yer alan eğimli yüzeye düşen anlık toplam güneş ışınımı [J/m^2]
R	Atmosferde yer alan eğimli yüzeye düşen anlık toplam güneş ışınımının atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen anlık toplam ışınımına oranı
I_{dT}	Atmosferde yer alan eğimli yüzeye düşen anlık yayılı ışınım [J/m^2]
H_{bT}	Atmosferde yer alan eğimli yüzeye düşen günlük direkt güneş ışınımı [J/m^2]
$\bar{R}_b$	Atmosferde yer alan eğimli yüzeye düşen günlük direkt güneş ışınımının atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen günlük direkt ışınıma oranı
H_T	Atmosferde yer alan eğimli yüzeye düşen günlük toplam güneş ışınımı [J/m^2]
$\bar{R}$	Atmosferde yer alan eğimli yüzeye düşen günlük toplam güneş ışınımının atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen günlük toplam ışınıma oranı
I_b	Atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen anlık direkt güneş ışınımı [J/m^2]
I	Atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen anlık toplam güneş ışınımı [J/m^2]
I_{ref}	Atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen anlık yansıyan ışınım [J/m^2]
I_d	Atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen anlık yayılı ışınım [J/m^2]
r_t	Atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen anlık toplam güneş ışınımının atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen günlük toplam güneş ışınımına oranı
H_b	Atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen günlük direkt ışınımı [J/m^2]

H	Atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen günlük toplam güneş ışınımı [J/m^2]
H_d	Atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen günlük yayılı ışınım [J/m^2]
i	Ayın ortalama gün değeri
ω'_s	Ayın ortalama gününde yüzeye düşen güneş ışınlarının ilk düşme saat açısı [°]
Bi	Biot Sayısı
U	Bir elemanın tüm gövdesi boyunca toplam ısı transfer katsayısı [W/(m*K)]
ω_2	Büyük saat açısı [°]
δ	Deklinasyon açısı [°]
Z	Deniz seviyesinden yükseklik [m]
ΔT	Dış ortamla treylerin içi arasındaki sıcaklık farkı [K]
ρ_{diesel}	Dizel yakıtın yoğunluğu [kg/m^3]
β	Eğim açısı [°]
φ	Enlem açısı [°]
T_∞	Evaporatör dönüş havası sıcaklığı [K]
T_f	Film sıcaklığı [K]
τ	Fourier sayısı
R_b	Geometrik faktör
N	Gün uzunluğu [h]
ω_s	Güneş batış saat açısı [°]
θ	Güneş geliş açısı [°]
G_{sc}	Güneş sabiti [W/m^2]
α	Güneş yükseklik açısı [°]
K_T	Günlük berraklık indeksi
$Q_{daily\ solar}$	Günlük güneş ışınımıyla elde edilebilecek toplam enerji [J]
$t_{empty\ daily\ solar}$	Günlük güneş ışınımıyla treylerin boşken soğutma süresi içerisinde soğutma ünitesi dizel motorunun çalışması gerekmeyen süre [s]
$m_{CO_2\ empty\ daily\ solar}$	Günlük güneş ışınımıyla treylerin boşken soğutulmasında tasarruf edilebilecek emisyon [g]
$m_{fuel\ empty\ daily\ solar}$	Günlük güneş ışınımıyla treylerin boşken soğutulmasında tasarruf edilebilecek yakıt [L]

$m_{CO_2\ loaded\ daily\ solar}$	Günlük güneş ışınımıyla soğutma ünitesi dizel motorunun treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında ortaya çıkaracağı emisyon [g]
$m_{fuel\ loaded\ daily\ solar}$	Günlük güneş ışınımıyla soğutma ünitesi dizel motorunun treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında tüketeceği yakıt [L]
$t_{loaded\ daily\ solar}$	Günlük güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutma süresi içerisinde soğutma ünitesi dizel motorunun çalışacağı süre [s]
$\Delta m_{CO_2\ loaded\ daily}$	Günlük güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında tasarruf edilebilecek emisyon [g]
$\Delta m_{fuel\ loaded\ daily}$	Günlük güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında tasarruf edilebilecek yakıt [L]
c_p	Havanın özgül ısısı [kJ/kg]
ρ_{air}	Havanın yoğunluğu [kg/m^3]
n/N	İzafi güneşlenme süresi
ω_1	Küçük saat açısı [°]
Nu	Nusselt sayısı
Pr	Prandtl sayısı
Re	Reynolds sayısı
ω	Saat açısı [°]
A_1	Sabit değer
λ_1	Sabit değer [rad]
T_∞	Soğutma havası sıcaklığı [K]
v_{ev}	Soğutma havasının akış hızı [m/s]
k	Soğutma havasının ısı iletim katsayısı [W/(m*K)]
h	Soğutma havasının ısı taşınım katsayısı [W/(m^2*K)]
ν_{ev}	Soğutma havasının kinematik viskozitesi [m^2/s]
$prod_{CO_2}$	Soğutma ünitesi dizel motorunun çalışması sonucu ortaya çıkan karbondioksit miktarı [g/h]
$\dot{W}_{comp}$	Soğutma ünitesi motoru kompresör kapasitesi [kW]
η_{diesel}	Soğutma ünitesi motorunun verimi [%]
$\dot{W}_{engine}$	Soğutma ünitesinin motor gücü [kW]
$Q_{product}$	Treyler içerisinde yer alan ürünün soğutulması için gerekli enerji [J]
$m_{product}$	Treyler içerisine yüklenen ürünün ağırlığı [kg]
$c_{p\ product}$	Treyler içerisine yüklenen ürünün özgül ısısı [kJ/kg]

$\Delta t_{product}$	Treyler içerisine yüklenen ürünün soğutulması için gereken süre [s]
$\dot{Q}_{cond}$	Treyler yüzeylerinin dış ortam kaynaklı kazandığı ısı yükü [W]
t_{empty}	Treylerin boşken soğutulma süresi [s]
Q_{empty}	Treylerin boşken soğutulması için gerekli toplam enerji [J]
$W_{engine\ empty}$	Treylerin boşken soğutulması için soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji [kJ]
$m_{fuel\ empty}$	Treylerin boşken soğutulması işleminde soğutma ünitesi motorunun tüketeceği yakıt [L]
$\eta_{empty\ CO_2\ instant}$	Treylerin boşken soğutulmasında anlık toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla azaltılabilecek yüzde emisyon [%]
$\eta_{empty\ energy\ instant}$	Treylerin boşken soğutulmasında anlık toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla sağlanabilecek yüzde enerji verimi [%]
$\eta_{empty\ fuel\ instant}$	Treylerin boşken soğutulmasında anlık toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla sağlanabilecek yüzde yakıt verimi [%]
$\eta_{empty\ engine\ instant}$	Treylerin boşken soğutulmasında anlık toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerjiye göre sağlanabilecek yüzde enerji verimi [%]
$m_{CO_2\ empty}$	Treylerin boşken soğutulmasında geleneksel sistemin kullanılması durumunda ortaya çıkacak karbondioksit miktarı [g]
$\eta_{empty\ CO_2\ daily}$	Treylerin boşken soğutulmasında günlük toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla azaltılabilecek yüzde emisyon [%]
$\eta_{empty\ fuel\ daily}$	Treylerin boşken soğutulmasında günlük toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla sağlanabilecek yüzde yakıt verimi [%]
$\eta_{empty\ engine\ daily}$	Treylerin boşken soğutulmasında günlük toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerjiye göre sağlanabilecek yüzde enerji verimi [%]
$\eta_{empty\ energy\ daily}$	Treylerin boşken soğutulmasında günlük toplam güneş ışınımıyla elde edilebilecek enerjinin treylerin boşken soğutulması için gerekli enerjiye oranı [%]
$\dot{Q}_{empty}$	Treylerin boşken soğutulmasında soğutma gücü [kW]

$V_{trailer}$	Treylerin iç hacmi [m^3]
$Q_{trailer}$	Treylerin iç hacminin soğutulması için gerekli enerji [kJ]
W_{in}	Treylerin iç yüzey genişliği [m]
L_{in}	Treylerin iç yüzey uzunluğu [m]
H_{in}	Treylerin iç yüzey yüksekliği [m]
W_{tr}	Treylerin dış yüzey genişliği [m]
L_{tr}	Treylerin dış yüzey uzunluğu [m]
H_{tr}	Treylerin dış yüzey yüksekliği [m]
k_{tr}	Treylerin dış yüzeylerinin ısı iletim katsayısı [W/(m*K)]
$l_{trailer}$	Treylerin dış yüzeylerinin kalınlığı [m]
V_{inner}	Treylerin ürünle yüklenmesinin ardından treyler içerisinde kalan hava hacmi [m^3]
$m_{fuel\ loaded}$	Treylerin ürünle yüklü olduğu durumda geleneksel sistemin tüketeceği yakıt [L]
$W_{engine\ loaded}$	Treylerin ürünle yüklüyken soğutulması için soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji [J]
Q_{loaded}	Treylerin ürünle yüklüyken soğutulması işlemi için gerekli enerji [J]
$\dot{Q}_{loaded}$	Treylerin ürünle yüklüyken soğutulması işlemi için gerekli soğutma gücü [W]
$\eta_{loaded\ CO_2\ instant}$	Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında anlık toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla azaltılabilecek yüzde emisyon [%]
$\eta_{loaded\ energy\ instant}$	Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında anlık toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla sağlanabilecek yüzde enerji verimi [%]
$\eta_{loaded\ fuel\ instant}$	Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında anlık toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla sağlanabilecek yüzde yakıt verimi [%]
$\eta_{loaded\ engine\ instant}$	Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında anlık toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerjiye göre sağlanabilecek yüzde enerji verimi [%]
$m_{CO_2\ loaded}$	Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında geleneksel sistemin kullanılması durumunda ortaya çıkacak karbondioksit miktarı [g]

$\eta_{loaded\ CO_2\ daily}$	Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında günlük toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla azaltılabilecek yüzde emisyon [%]
$\eta_{loaded\ energy\ daily}$	Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında günlük toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla sağlanabilecek yüzde enerji verimi [%]
$\eta_{loaded\ fuel\ daily}$	Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında günlük toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla sağlanabilecek yüzde yakıt verimi [%]
$\eta_{loaded\ engine\ daily}$	Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında günlük toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerjiye göre sağlanabilecek yüzde enerji verimi [%]
$I_{right\ side}$	Treylerin sürüş yönüne göre sağ yüzünde yer alan güneş panellerine düşen anlık güneş ışınımı [J/m^2]
$H_{right\ side}$	Treylerin sürüş yönüne göre sağ yüzünde yer alan güneş panellerine düşen günlük güneş ışınımı [J/m^2]
$I_{left\ side}$	Treylerin sürüş yönüne göre sol yüzünde yer alan güneş panellerine düşen anlık güneş ışınımı [J/m^2]
$H_{left\ side}$	Treylerin sürüş yönüne göre sol yüzünde yer alan güneş panellerine düşen günlük güneş ışınımı [J/m^2]
Q_{inner}	Treylerin yük harici iç havasının soğutulması için gerekli enerji [J]
T_s	Ürün sıcaklığı [K]
$\dot{Q}_{conv}$	Ürün yüzeyinin taşınımla soğutulması için gerekli soğutma yükü [W]
$k_{product}$	Ürünün ısı iletim katsayısı [W/(m*K)]
α_{pr}	Ürünün ısı yayınım katsayısı [m^2/s]
T_i	Ürünün iç yüzey sıcaklığı [K]
$\dot{Q}_{cond\ product}$	Ürünün iç yüzeylerinin ısı iletimiyle soğutulması için gerekli soğutma yükü [W]
$\Delta T_{product}$	Ürünün muhafaza sıcaklığıyla treyler içerisindeki soğutma havası sıcaklığının farkı [K]
W_{pr}	Ürünün yükleme kalınlığı [m]
L_{pr}	Ürünün yükleme uzunluğu [m]
H_{pr}	Ürünün yükleme yüksekliği [m]
HV	Yakıtın ısıl değeri [kJ/kg]
ρ	Yerin yansıtma oranı
γ	Yüzey azimut açısı [°]

θ_z	Zenit açısı [°]

KISALTMA LİSTESİ

AGM	Emici Cam Mat
BM	Birleşmiş Milletler
C	Karbon
CH_4	Metan
COP	Performans Katsayısı
CO_2	Karbondioksit
GS	Güneş Saati
GYK	Güney Yarım Küre
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
IR	Hindistan Demiryolları
KYK	Kuzey Yarım Küre
PV	Fotovoltaik
TAİD	Ağır Ticari Araçlar Derneği

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Karayolu enerji tüketiminde yakıt payları [13] 8
Şekil 2.2 Kamuya açık şarj cihazlarına yapılacak yatırımlar [13] 8
Şekil 2.3 2050 perspektifinde karayolu taşımacılığı emisyonları [13] 10
Şekil 3.1 Dünya ile güneş arasındaki mesafenin yıl içerisindeki değişimi [15] 12
Şekil 3.2 Enlem, deklinasyon ve saat açıları [17] 14
Şekil 3.3 Yüzey azimut, güneş yükseklik ve zenit açıları [17] 15
Şekil 3.4 Direkt, yayılı ve yansıyan ışınımın şematik gösterimi [18] 17
Şekil 4.1 Entegre soğutmalı konteyner [20] 24
Şekil 4.2 Entegre soğutmalı konteyner içerisindeki hava akışı [21] 24
Şekil 4.3 Soğutmalı treyler ve soğutma ünitesi [22] 25
Şekil 4.4 Soğutmalı treyler içerisindeki hava akışı [23] 26
Şekil 4.5 Çok sıcaklıklı soğutmalı treylerin şematik gösterimi [24] 26
Şekil 4.6 Üstten hava dağıtım sisteminin şematik gösterimi [19] 29
Şekil 4.7 Alttan hava dağıtım sisteminin şematik gösterimi [19] 30
Şekil 4.8 Zemin türleri [19] 31
Şekil 4.9 Standart Europalet ölçüleri [27] 32
Şekil 4.10 Ortadan yükleme ve akışlı yükleme [19] 33
Şekil 4.11 Dişli yükleme ve 9-11 yükleme [19] 34
Şekil 4.12 Üstten hava dağıtım sistemiyle elle istiflenmiş yükleme [19] 35
Şekil 4.13 Paketlerin sıra, istif ve katman dizilişi [19] 36
Şekil 5.1 Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin konsept tasarımı [28] 38
Şekil 5.2 Güneş enerjisi destekli soğutma sistemi 39
Şekil 5.3 Soğutmalı treyler [29] 40
Şekil 5.4 Soğutma ünitesi [30] 41
Şekil 5.5 Ürünün treylere yüklenme şekli ve hava dağıtım sisteminin şematik gösterimi 42
Şekil 7.1 Anlık ve günlük güneş ışınımı değerleri 69
Şekil 7.2 Soğutma çevriminin CoolPack ile oluşturulan log(P)-h diyagramı ve hesaplanan COP değeri 70

Şekil 7.3 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulması için gerekli enerji ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji 71

Şekil 7.4 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulmasında soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji 72

Şekil 7.5 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulması için gerekli yakıt ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek yakıt 73

Şekil 7.6 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulmasında ortaya çıkan emisyon ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından azaltılabilecek emisyon 74

Şekil 7.7 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulması için gerekli enerji ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından elde edilebilecek enerji 75

Şekil 7.8 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulmasında soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından elde edilebilecek enerji 76

Şekil 7.9 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulması için gerekli yakıt ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek yakıt 77

Şekil 7.10 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulmasında ortaya çıkan emisyon ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek emisyon 78

Şekil 7.11 Treylerin geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli enerji ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji 79

Şekil 7.12 Treylerin geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulmasında soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji 80

Şekil 7.13 Treylerin geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli yakıt ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek yakıt 81

Şekil 7.14 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulmasında ortaya çıkan emisyon ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından azaltılabilecek emisyon 82

Şekil 7.15 Treylerin geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli enerji ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji 83

Şekil 7.16 Treylerin geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulmasında soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji 84

Şekil 7.17 Treylerin geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli yakıt ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek yakıt 85

Şekil 7.18 Treylerin geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulmasında ortaya çıkan emisyon ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından azaltılabilecek emisyon 86

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Elektrikli araçların 2022 yılında toplam satış içerisindeki oranı ve 2050 hedefleri [13] 9

Tablo 2.2 Alternatif yakıtlı araçların 2022 yılında toplam satış içerisindeki oranı ve 2050 hedefleri [13] 9

Tablo 2.3 Yakıt ikmal tesislerinin 2022 yılında toplam tesisler içerisindeki payı ve 2050 hedefleri [13] 10

Tablo 3.1 Aylara göre n değerleri [16] 13

Tablo 4.1 Taşıma sırasında önerilen ürün muhafaza sıcaklıkları [26] 27

Tablo 6.1 Piyasadan seçilen soğutucunun teknik özellikleri [30] 45

Tablo 6.2 Ürünün soğutulmasında kullanılacak teknik veriler 47

Tablo 6.3 İstanbul için güneş açıları [16] 51

Tablo 6.4 Treylerin boşken soğutulmasında geleneksel sistem tüketimleri ve güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle tasarruf edilebilecek miktarlar 65

Tablo 6.5 Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında geleneksel sistem tüketimleri ve güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle tasarruf edilebilecek miktarlar 66

Tablo 6.6 Donanım maliyetleri 67

ÖZET

Soğutmalı Treylerde Güneş Enerjisi Destekli Soğutmanın Teorik Olarak İncelenmesi

Yusuf Taha İSMAİLOĞLU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Proses Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Deniz ULUSARSLAN

Bu çalışmada frigorifik treylerlerin soğutulması için bir güneş enerjisi destek sistemi önerilmiştir. Önerilen sistemde treylerin üst ve yan yüzeylerine güneş panelleri yerleştirilmiştir. Güneş panelleri tarafından üretilen elektrik, soğutma grubu ünitesine güç sağlar. Böylece soğutucunun kullanacağı yakıttan tasarruf edilebilir ve üretilen enerji depolanabilir. Yakıt tasarrufu hem soğutma maliyetlerini hem de emisyon değerlerini azaltacaktır. Önerilen sistemin çalışma performansını belirlemek için soğutulacak ürün olarak dondurulmuş balık seçilmiştir. Aracın İstanbul şehri içerisinde hareket ettiği varsayılmıştır. Tüm bu kabullerin ardından MATLAB ile sistem parametreleri hesaplanmıştır ve sonuçlar tablolar halinde çalışmada sunulmuştur. Bu çalışma kapsamında öncelikle seçilen ürün ve treyler yerleşim şekline göre soğutma yükü hesaplanmıştır. Ardından treyler yüzeylerine düşen güneş ışınımı, anlık ortalama ve günlük ortalama olarak hesaplanmıştır. Treylerin tavan yüzeyi haricindeki yüzeylerine düşen günlük ortalama ışınımın hesaplanmasında yöntem olarak anlık ortalama ışınım değerlerin

toplamı kullanılmıştır. Treyler yüzeylerine yerleştirilen güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjisinin soğutma için gerekli enerjiye oranı belirlenerek sağlanan enerji tasarrufu grafikler halinde çalışmada sunulmuştur. Yakıt tasarrufu değerinin belirtilmesi için de aracın önerilen sistem uygulanmadığı durumda tükettiği yakıt miktarı ve önerilen sistemin uygulanması halinde tasarruf edilecek yakıt miktarı değerleri karşılaştırılmıştır. Aynı yöntemle üretilen CO_2 emisyonundaki azalmanın belirtilmesi için de sistemin araç üzerinde uygulanmadığı durum ve uygulandığı durum karşılaştırılarak tablolar halinde çalışmada sunulmuştur. Yapılan güneş enerjisi potansiyeli hesaplamaları sonucunda, treylerin boşken soğutulmasında kuzey yarım kürede temmuz ayında gerekli enerjinin %98,5'inin anlık güneş ışınımıyla sağlanabileceği belirlenmiştir. Enerji tasarrufuna bağlı olarak soğutma ünitesinin tüketeceği yakıt ve ortaya çıkan emisyon da %98,5 oranında azaltılabilir. Treylerin ürünle yüklü olması durumunda ise kuzey yarım kürede ve temmuz ayında günlük güneş ışınımıyla ürünün soğutulması için gerekli enerjinin %84,1'inin önerilen sistemle karşılanabileceği belirlenmiştir. Önerilen sistemin kullanılmasıyla soğutmalı ürün taşımacılığı için kullanılan treylerin soğutma ünitesinin tüketeceği yakıt ve ortaya çıkan emisyon da %84,1 oranında azaltılabilir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, frigorifik treyler, soğuk zincir, gıda taşımacılığı

ABSTRACT

Theoretical Investigation of Solar Energy Assisted Cooling in Refrigerated Trailers

Yusuf Taha İSMAİLOĞLU

Department of Mechanical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Deniz ULUSARSLAN

In this study, a solar energy assisted cooling system is proposed for cooling refrigerated trailers. In the proposed system, solar panels are placed on the top and side surfaces of the trailer. The electricity generated by the solar panels provides power to the refrigeration unit. Thus, the fuel to be used by the cooler can be saved. Fuel savings will reduce both cooling costs and emission values. Frozen fish is selected as the product to be cooled to determine the performance of the proposed system. It is assumed that the vehicle moves within the city of Istanbul. System parameters are calculated with MATLAB. Firstly, the cooling load depending on the selected product and trailer layout was calculated. Then, instantaneous and daily solar radiation falling on the trailer surfaces were calculated. The ratio of the electrical energy obtained from the solar panels to the energy required for cooling was determined. Afterwards, the fuel consumption of the conventional system was determined. The fuel to be saved with the proposed system were also determined. The reduction in CO_2 emissions produced by the same method was also determined and presented in tables. As a result of the solar energy potential calculations, it was

determined that 98.5% of the energy required for cooling the trailer when it is empty in July can be provided by instantaneous solar radiation. Due to the energy savings, the fuel consumption and emissions of the cooling unit can be reduced by 98.5%. If the trailer is loaded with the product, 84.1% of the energy required for cooling the product is met by daily solar radiation in July. The fuel to be consumed by the cooling unit of the trailer used for refrigerated product transportation and the resulting emission can be reduced by 84.1%.

Keywords: Solar energy, refrigerated trailer, cold chain, food transport

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Güneş enerjisi kullanılarak veya güneş enerjisiyle desteklenmiş soğutma sistemi çalışmalarının büyük bir çoğunluğu, mahal uygulamaları şeklindedir. Özellikle son yıllarda, sayıları mahal çalışmalarına göre daha az olmakla birlikte, mobil araçlar için de güneş enerjisi sistemleri çalışmaları ve buna bağlı olarak da güneş enerjili soğutma sistemi çalışmaları yapılmıştır.

M. Shravanth Vasisht, G.A. Vashista, J. Srinivasan ve Sheela K. Ramasesha, 2017 yılında yaptıkları çalışmalarında, Hindistan Demiryolları (IR)'na ait yeni nesil vagonlar için elektrik üretimini sağlayan dizel yakıt tüketimini azaltmaya yönelik bir deney gerçekleştirmişlerdir. Bu deney kapsamında seçilen bir yolcu vagonu, üzerine yerleştirilen iki adet esnek fotovoltaik modül ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen bu vagon, Hindistan'ın güney bölgesinde yer alan üç rotada test edilmiştir. Test sırasında yolcu treni 120 km/s hıza kadar çalıştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, üzerinde iki adet fotovoltaik modül bulunan yolcu vagonunun rotaya da bağlı olarak günde en az 18 kWh elektrik üretebileceği tahmin edilmektedir. Üretilen bu elektriğe bağlı olarak yıllık 1700 litre yakıt tasarrufu sağlayacağı tahmin edilmektedir. 2017 yılı verilerine göre IR bünyesinde 63511 yolcu vagonu bulunmaktadır ve tüm vagonların güneş enerjisiyle desteklenmesiyle yılda yaklaşık 108,5 milyon litre yakıt tasarrufu sağlayabilir. Böylece yılda 2,9 milyon ton CO_2 emisyonu azaltılabilir [1].

Meike Kühnel, Benedikt Hanke, Stefan Geißendörfer, Karsten von Maydell ve Carsten Agert, 2017 yılında yaptıkları çalışmalarında, Almanya özelinde kullanılabilecek bir güneş enerjisi potansiyeli tahmin algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritma, otoyolun çevre şartları ve sisteme girilen diğer parametrelere göre

Almanya'daki otoyollarda kullanılacak araçlar için ışınım potansiyeli belirlenmeye çalışmaktadır. Algoritmaya girilen veriler, ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, aracın bulunduğu konumun yüksekliğidir. Aracın bulunduğu konuma bağlı olarak enlem değerinin ve güneş geliş açısının belirlenmesinden sonra otoyollarda kullanılacak araçlar için günlük ışınım dağılımı ve yıllık ışınım kazançları belirlenmiştir. Almanya'da faaliyet gösteren sergilenen üç ticari yarı römorklu kamyonun potansiyel yıllık enerji üretimi, kullanılan hücre teknolojisine bağlı olarak 3-7 MWh olarak belirlenmiştir. Baş rüzgâr soğutmasından kaynaklanan potansiyel enerji kazancının treyler ve yıl başına 20-75 kWh olduğu tahmin edilmektedir [2].

Shung Hung Mak, Jie Mei, Xin Cheng ve K. W. Eric Cheng, 2017 yılında yaptıkları çalışmalarında, fotovoltaik tabanlı mobil bir soğutma aracı (veya soğutma kutusu) tasarlamışlardır. Araçta kurulu güneş panellerinden elde edilen enerjiyi, soğutma işlevi için ihtiyaç duyulan gücün desteklenmesi için kullanmışlardır. Bu uygulama için tasarlanan araç, bu uygulama için fotovoltaik panelleri, buzdolabı kompresörü için kontrol sistemini ve akü sistemini içermektedir. Sistem prototipi geliştirilmiş olup, performans -24 °C'ye kadar soğutma sağlayabilmektedir [3].

Miguel Centeno Brito, Teresa Santos, Filipe Moura, David Pera ve Jorge Rocha, 2021 yılında yaptıkları çalışmalarında, Lizbon (Portekiz) şehri için bir coğrafi bilgi sistemindeki verileri kullanarak otoyollar ve kentsel otoparklar için yerleşik güneş enerjisinin güneş potansiyelini değerlendirilmişlerdir. Bu kapsamda, coğrafi bilgi sistem kullanılarak günlük güneşlenme süresi ve günlük güneş ışınımı gibi parametreler belirlenerek bu değerler grafikler halinde özetlenmiştir. Sonuçlar, gölgelenme nedeniyle yıllık kayıpların otoyollar için %25'in ve kentsel park yerleri için %50'nin üzerine çıkabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu kayıplara rağmen, yerleşik güneş enerjisi araçları için yıllık güneş enerjisiyle elde edilecek kazanç 1 günde 1 km yol alan bir araç için 10 ila 18 kWp arasındadır ve bu nedenle şarj ihtiyaçlarını önemli ölçüde azaltır [4].

Komako, Townsend, Jiya ve Gouws, 2021 yılında yaptıkları çalışmalarında, süt tankerleri için güneş enerjisiyle desteklenenmiş bir soğutma sistemi tasarlamışlardır. Sütün, kalitesinin ve tazeliğinin korunması için tanker içerisinde 3–5°C arasında tutulması gerekmektedir. Bu durumda soğutma ünitesine sürekli enerji verilmesi yani tankerin sürekli çalışır durumda olması gerekir. Bu soruna çözüm olarak küçük ölçekli bir güneş enerjili akıllı soğutma sistemi geliştirilmiştir.

Bu sistem, soğutma ünitesi olarak bir termoelektrik soğutucuyu kullanır. Ayrıca bu termoelektrik soğutucuyu programlanabilir bir mantık denetleyicisi ile akıllıca çalıştırmak için tasarlanmıştır. Sistem tanker içindeki süt hacmini ve sistem güç tüketimini de gösterebilecek şekilde tasarlanmıştır [5].

Antonio Rossetti, Sergio Marinetti, Paolo Artuso, Francesco Fabris ve Silvia Minetto, 2022 yılında yaptıkları çalışmalarında, Atina (Yunanistan) şehrinde teslimat gerçekleştirecek olan bir kapalı kasa kamyonun soğutmalı kasasının üzerine monte edilmiş fotovoltaik güneş panelleriyle beslenen bir jeneratörlerle çalışan soğutma ünitesinin tasarımını yapmışlar ve performansını değerlendirmişlerdir. Sistem prototipi, güneş sisteminin soğutma ünitesinin net enerji dengesini önemli ölçüde etkileme kapasitesini gösteren, sabit koşullarda test edilmiştir. Bir teslimat senaryosu sırasında sistem performansı ve sıcak iklim koşulu bir toplu model simülasyonu kullanılarak değerlendirilmiştir. Pil paketi kapasitesinin boyutuna bağlı olarak sistemin performansını belirlemek için simülasyonlar da kullanılmış ve gölgelenme koşulları da araştırılırmıştır. Sonuçlar, Atina iklim koşullarında yıllık bazda, güneş panellerinin, kamyonun doğrudan güneş ışığı altında geçirdiği süreye bağlı olarak, soğutma ünitesi tarafından tüketilen enerjinin %65 ila %112'sini sağlayabildiğini göstermektedir [6].

M. A. Ben Taher, M. Ahachad, M. Mahdaoui, Y. Zeraouli ve T. Kousksou, 2022 yılında yaptıkları çalışmalarında, gıda maddelerinin taşınmasında ve bu taşıma süresinde aynı zamanda depolanmasında kullanılan frigorifik kamyonlar üzerinde deneysel araştırmaların ve sayısal simülasyonların mevcut durumunu incelemişlerdir. Gıdaların taşınması sırasında kalite ve güvenliğini artırmak için çeşitli çözüm ve öneriler belirtilmiştir. Bu ürünlerin sıcaklık kontrollü taşınmasıyla ilgili kilit hususlar ve ayrıca ön soğutma ünitelerinin performans iyileştirmeleri ve literatürde açıklanan kamyonların tasarımı araştırılmaktadır [7].

H. N. Patel ve Kalpesh V. Modi, 2022 yılında yaptıkları çalışmalarında; geleneksel, hibrit veya elektrik enerjisine dayalı araçların performansında bir iyileştirme sağlamak ve klima sisteminin performansını artırmak için çeşitli pasif ve aktif soğutma teknolojilerini incelenmişlerdir. Farklı parametrelerin klima sistemi performans endeksleri ve genel araç performansı üzerindeki etkisi tablolarda özetlenmiştir. Kabindeki ıslak termometre sıcaklığını azaltmak ve otomobillerde klima sistemini çalıştırmak için yenilenebilir enerji kaynakları da araştırılmış ve

gözden geçirilmiştir. Sonunda, yenilenebilir enerjiyle çalışan bağımsız klima sisteminin nihai sonucu ve gelecekteki kapsamı kısa ve özet şeklinde anlatılmıştır [8].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların büyük bölümünde mobil araçlarda güneş enerjisi destekli soğutma uygulamaları için güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmeye çalışıldığı gözlemlenmiştir. Bu potansiyeli belirlemek için coğrafi bilgi sistemlerinin de kullanıldığı algoritmalar geliştirilmiştir. Ayrıca incelenen bazı tez çalışmalarında mobil araçlar için güneş enerjili destekli soğutma sistemleri için prototipler tasarlandığı ve tasarlanan bazı prototiplerin üretiminin de gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. Tüm bunların yanı sıra literatürde henüz frigorifik treyler ve/veya treyler boyutlarında bir mobil araç için yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır.

1.2 Tezin Amacı

Küresel iklim değişikliği, özellikle son yıllarda ülkemiz ve dünyada daha sık gündeme gelmeye başlamıştır. Tüm dünyada yaşanan kuraklık, iklimde görülen bariz değişiklikler ve yağmur rejimlerindeki belirgin farklılıklar, küresel ısınmanın ve buna bağlı olarak da iklim değişikliğinin daha fazla gündeme gelmesine sebep olmuştur. Bu durumla mücadele edebilmek bireylere önlem alma çağrıları yapılmış, şirketler ve kurumlar daha çevreci üretim ve işletme politikalarına yönelmiş ve devletler bu konuda önlem planları uygulamaya başlamışlardır.

İnsan etkisinin atmosferi, okyanusu ve toprağı ısıttığı ve kirlettiği bir gerçektir. Özellikle son yıllarda atmosferde, okyanusta, kriyosferde ve biyosferde kirleticilerin konsantrasyonundaki artışta hızlı değişimler meydana gelmiştir. 1750 yılından beri sera gazı konsantrasyonlarında gözlemlenen artış insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Atmosferdeki sera gazı miktarı için maksimum konsantrasyonlar belirlenmiştir. Karbondioksit (CO_2) için belirlenen üst değer 350 ppm'dir [9]. 2011'den bu yana atmosferdeki konsantrasyonlar artmaya devam etmiştir ve 2019'da karbondioksit konsantrasyonu yıllık ortalama 410 ppm, metan (CH_4) konsantrasyonu ise 1866 ppb'ye kadar ulaşmıştır. Kara ve okyanus, son altmış yılda bölgesel farklılıklar göstermekle birlikte insan faaliyetlerinden kaynaklanan CO_2 emisyonlarını sabite yakın bir oranla (küresel olarak yılda yaklaşık %56) tutmuştur [10].

Emisyon gazlarının salınımında insan etkisi, üretimde olduğu kadar taşımacılıkta da son derece yüksektir. Dünya üzerinde yer alan kara, deniz ve hava lojistik ağlarında kullanılan araçlar ve özellikle bu araçlar üzerinde kullanılan ek sistemler (soğutma sistemleri gibi) büyük miktarda emisyona sebep olmaktadır.

Ağır Ticari Araçlar Derneği (TAİD) verilerine göre 2022 yılında ülkemizde satışı yapılan treylerlerin yaklaşık %17'sini frigorifik treylerler oluşturmaktadır [11]. Lojistik ağının önemli bir bölümünü oluşturan frigorifik araçların emisyon miktarlarının az da olsa düşürülebilmesi, ülkemizde ve dünyada kullanılan tüm frigorifik araçlar düşünüldüğünde son derece önemli bir emisyon salınımın azaltılması sebep olacak ve doğanın korunmasına önemli bir katkıda bulunacaktır.

Bu tez çalışmasının amacı, özellikle karayolu lojistik ağında ülkemizde ve dünyada büyük bir payı olan frigorifik araçların soğutma sistemlerini, treyler üzerinde yer alacak fotovoltaik güneş panellerinden üretilecek elektrikle desteklemek ve böylece emisyon miktarını azaltmaktır. Bu kapsamda gerekli ışınım ve soğutma hesapları yapılmış ve sistemin uygulanabilir hale getirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada önerilen sistemle birlikte emisyondaki azalmanın yanı sıra soğutma için gerekli yakıt maliyetinde azalma da sağlanacaktır.

1.3 Hipotez

İncelenen literatür çalışmaları sonucunda, güneş enerjili sistemlerin mobil araçlardan ziyade mahal uygulamalarında daha çok tercih edildiği gözlemlenmiştir. Güneş enerjisi ile desteklenmiş araçlar veya soğutma sistemlerinin literatür içerisindeki yeri çok kısıtlı olmakla beraber yapılan çalışmaların boyutları çalışmalarda tarif edildiği ifadeyle bir soğutma kutusu seviyesindedir. Ayrıca yapılan bu çalışmalarda, araçların sadece bir şehirde veya bölgede teslimat yaptığı durumlar incelenmiştir.

Bu çalışmayla, treylerin soğutulması için güneş enerjisi destekli bir sistem önerilmiş ve literatüre bir yenilik kazandırmak hedeflenmiştir. Soğutulacak aracın treyler olarak seçilmesi, öncelikle literatürde bu boyutta mobil bir aracın güneş enerjisi destekli bir sistemle soğutulmasının incelenmemiş olması sebebiyle literatüre bir yenilik kazandıracaktır. Ayrıca bu araçların şehirler hatta ülkeler arası taşımacılıkta kullanılmasından dolayı bu mesafelerde yol alacak bir araç için güneş

enerjisi destekli bir soğutma sisteminin düşünülmemiş olmasından dolayı da literatürde bir yenilik olarak yerini alacaktır.

Bu çalışmada, dış ölçüleri 13,600 x 2,800 x 2,600 m boyutlarında ve iç hacmi net 87,257 m^3 olan bir frigorifik treyler seçilmiştir. Soğutma ünitesi seçiminde piyasada satış adetleri yüksek olan bir marka tercih edilmiştir. Treyler içerisine yüklenecek ürün olarak ise muhafaza sıcaklığının düşük olmasından dolayı dondurulmuş balık seçilmiştir. Treylerin 20 ton dondurulmuş balık ile yüklendiği kabul edilmiştir. Seçilen treylerin İstanbul şehrinde Kuzey-Güney veya Doğu-Batı eksenlerinde hareket ettiği varsayılmıştır. Bu eksenlerde hareket eden treylerin üst ve yan yüzeylerine güneş panelleri yerleştirildiği kabul edilip bu panellerle sefer süresince üretilebilecek elektrik enerjisi belirlenmiştir. Geleneksel sistemde treyler boşken ve içerisinde ürün yüklüyken soğutma için gerekli enerjiler hesaplanmıştır. Sonrasında önerilen sistemle soğutma süresince kazanılan enerjinin soğutma için gerekli enerjiye oranı belirlenmiştir. Geleneksel sistemde kompresör işi için kullanılacak elektrik dizel motorda üretilmektedir. Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminde ise dizel motora ek olarak güneş panelleriyle üretilen elektrik de kompresörü sıkıştırmak için kullanılır. Böylece aynı soğutma işi için geleneksel sisteme kıyasla daha az dizel yakıt tüketilecektir. Yakıt tüketimindeki azalmaya bağlı olarak soğutma sisteminin ortaya çıkaracağı emisyon da azalacaktır.

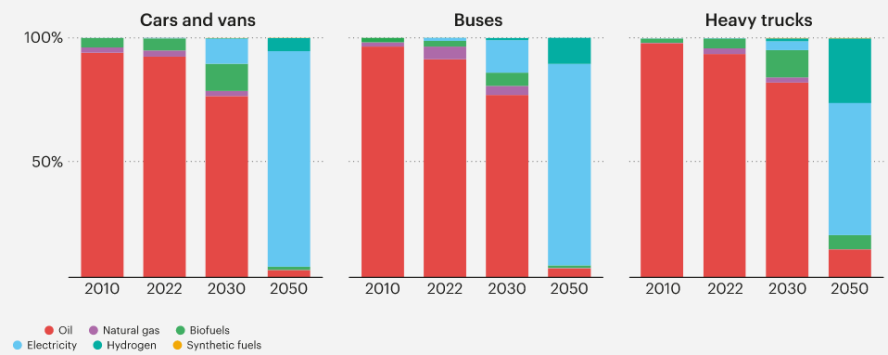
2
KARAYOLU TAŞIMACILIĞINDA GÜNEŞ ENERJİSİ

Günümüzde fosil yakıtların hızla tükenmesi ve iklim krizinin bir sonucu olarak diğer tüm sektörlerde olduğu gibi taşımacılık sektöründe de kullanılan enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması amaçlanmaktadır. Taşımacılık sektöründe kullanılacak yenilenebilir enerji kaynakları gözden geçirildiğinde ise güneş enerjisi ön plana çıkmaktadır. Bunun temel sebebi güneş enerjisinin hem şebekeden (off-grid) bağımsız olarak hem de bir şebekeye bağlı (on-grid) şekilde enerji üretebilmesidir.

Elektrikli araçlar için güneş enerjisine olan ilgi, küresel enerji krizinin yanı sıra çevre sorunlarının da etkisiyle 1970'lerin sonlarına başlamıştır. Çevresel perspektiften bakıldığında, güneş enerjili araçlar, kullanım süresi boyunca sıfır emisyon ile ışığın doğrudan elektriğe dönüştürülmesini sağlayan mevcut teknoloji ile mevcut en iyi seçeneği sunmaktadır. Güneş panelleri ile üretilen elektrikte sera gazı emisyonu söz konusu değildir ve yatırım geri ödeme süresi (kullanılan panel teknolojisine de bağlı olarak) 1 veya 2 yıl arasında değişmektedir. Bu bağlamda, ince film teknolojileri genellikle bir yıldan daha az enerji geri ödemesine sahiptir. Geleneksel C-Si teknolojisi iki yıla yakındır ve panel ömrü yaklaşık 25 yıldır. Tüm bu sebeplerle, özellikle taşımacılık sektöründe güneş enerjisi kullanımı dünyamızın geleceği açısından oldukça önemlidir [12].

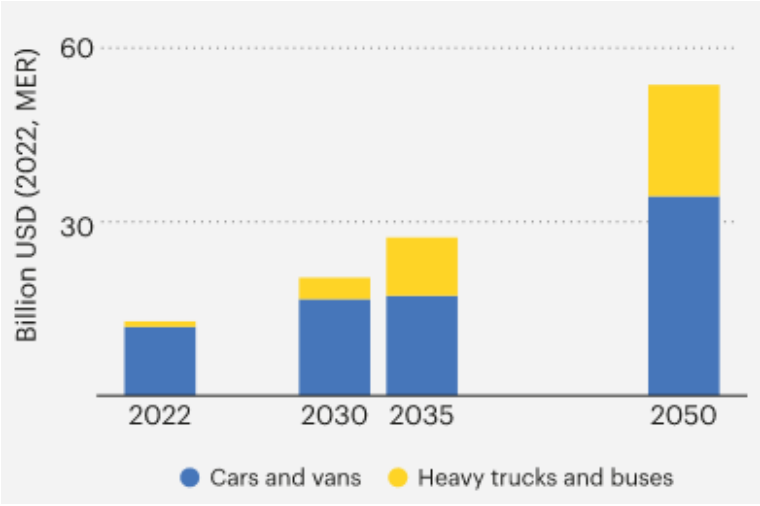
Ulaşım ve taşımacılık sektörleri, dünyada kümülatif olarak ortaya çıkan emisyonun yaklaşık %16'sını ortaya çıkarmaktadır. Elektrik kullanımının ve bio-yakıtların payının artırılmasının, 2030 yılına kadar karayolu taşımacılığının karbondan arındırılmasında önemli bir rolü olması hedeflenmektedir. Sonraki aşamada ise elektrik kullanımının daha da öne çıkmasıyla 2050 yılında elektrik enerjisinin,

karayolu taşımacılığında enerji tüketiminin dörtte üçünü karşılaması hedeflenmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2050 perspektifine göre karayolu enerji tüketiminde yakıtların payları, Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Karayolu enerji tüketiminde yakıt payları [13]

Uluslararası Enerji Ajansı'nın karayolu taşımacılığı yakıt tüketiminde 2050 perspektifi, elektrik enerjisinin tüketilen yakıt içerisindeki payının arttırılması üzerine kurulmuştur. Elektrik üretiminde ise yenilebilir enerji kaynaklarının payının arttırılması en önemli hedeflerden biridir. Hem bir şebekeye (veya istasyona) bağlı olarak hem de araç hareket halindeyken elektrik üretilebilmesi içinse öne çıkan yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisidir. 2050 perspektifi kapsamında yapılması planlanan şarj cihazı yatırımları Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Kamuya açık şarj cihazlarına yapılacak yatırımlar [13]

2050 perspektifinin kilometre taşları oluşturulurken yıllara göre hem toplam veriler için hem de bu toplam verileri oluşturan alt veri grupları için hedefler belirlenmiştir. Araç türlerine göre plug-in hibrit, bataryalı ve yakıt hücreli elektrikli araçların 2022

yılında toplam satış içerisindeki oranı ve 2030, 2035 ve 2050 yılları için hedefler Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Elektrikli araçların 2022 yılında toplam satış içerisindeki oranı ve 2050 hedefleri [13]

Araç Türü	**2022**	**2030**	**2035**	**2050**
Plug-in hibrit, bataryalı ve yakıt hücreli elektrikli (Toplam)	%13	%70	%98	%100
İki/üç tekerlekli araçlar	%16	%78	%100	%100
Otomobil ve kamyonetler	%13	%67	%100	%100
Otobüsler	%4	%56	%90	%100
Ağır kamyonlar	%1	%37	%65	%100

2050 perspektifi kapsamında petrole alternatif yakıtlar için de hedefler belirlenmiştir. Yakıt türlerine göre araçların 2022 yılında toplam satış içerisindeki oranı ve 2030, 2035 ve 2050 yılları için hedefler Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 Alternatif yakıtlı araçların 2022 yılında toplam satış içerisindeki oranı ve 2050 hedefleri [13]

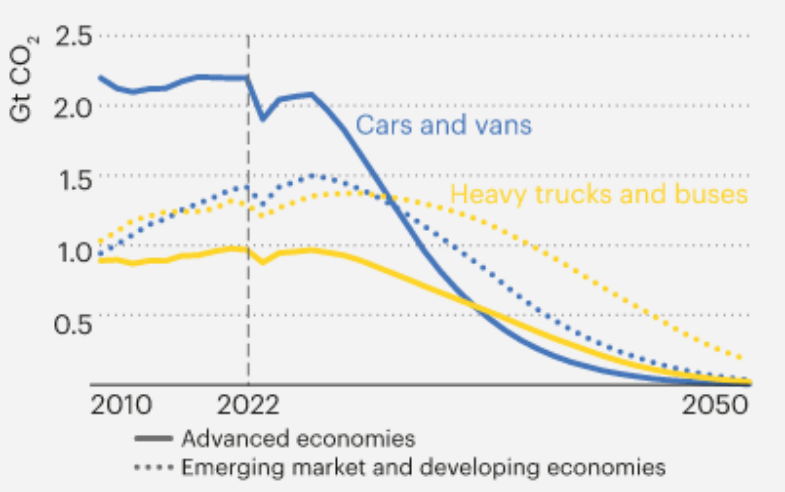
Yakıt Türü	**2022**	**2030**	**2035**	**2050**
Alternatif yakıt payları (Toplam)	%5	%20	%36	%93
Bio-yakıtlar	%5	%11	%12	%3
Elektrik	%0	%8	%22	%74
Hidrojen	%0	%1	%2	%16

Belirlenen hedeflere göre 2050 yılında yapılacak olan yeni motosiklet, otomobil, kamyonet, otobüs ve ağır kamyon satışlarının tamamının elektrikli araçlar olarak satılması hedeflenmektedir. Bu hedefe bağlı olarak yakıt ikmal tesislerinin de elektrikli araçlara ve diğer alternatif yakıt türlerinin sağlanmasına uygun olması gereklidir. Alternatif yakıt ikmal tesislerinin 2022 yılında dünya genelindeki sayıları ve buna bağlı olarak 2030, 2035 ve 2050 yılları için hedefler Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

Tablo 2.3 Yakıt ikmal tesislerinin 2022 yılında toplam tesisler içerisindeki payı ve 2050 hedefleri [13]

Yakıt İkmal Tesisleri	2022	2030	2035	2050
Elektrikli araç halka açık şarj noktaları (milyon)	3	17	18	31
Hidrojen yakıt ikmal istasyonları (bin)	1	12	15	46

Ulaşım ve taşımacılık sektörleri, üretimin yanı sıra işletme sırasında da emisyonu çok yüksek olan sektörlerdir. 2050 perspektifiyle bu emisyonun sıfıra düşürülmesi hedeflenmiştir. Emisyonun yıllar içinde hedeflenen düşüşü Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 2050 perspektifinde karayolu taşımacılığı emisyonları [13]

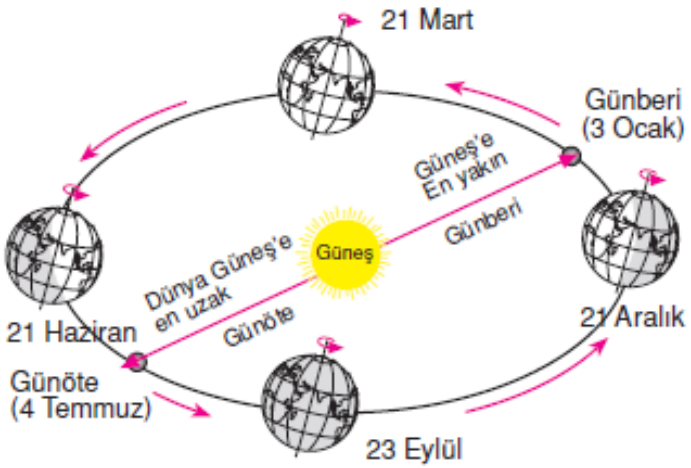
Yenilenebilir Enerji 2023 Küresel Durum Raporu'na göre 2022 yılı sonu itibariyle 128 ülkenin yenilenebilir enerjiye geçiş hedefi bulunmaktadır. Bu hedeflerin sektörel dağılımı incelendiğinde ise hedeflerin %8,3'ünün taşımacılık sektörü için belirlenmiş hedefler olduğu görülmektedir [14].

Birleşmiş Milletler (BM) üyesi ülkeler, önümüzdeki on yılların perspektifini belirlenirken özellikle karayolu taşımacılığı için sıfır emisyon hedefi belirlemişlerdir. Bu hedefin gerçekleştirilebilmesi için faydalanılacak en önemli yenilenebilir enerji kaynakları ise güneş ve rüzgar enerjileri olacaktır. Güneş enerjisi, hem araçların üzerinde fotovoltaik (PV) panellerle elektrik enerjisi üretilebilmesi hem de alan uygulamaları sayesinde elektrikli araç şarj istasyonları için elektrik enerjisi üretilebilmesiyle ön plana çıkmaktadır.

3
GÜNEŞ GEOMETRİSİ VE GÜNEŞ IŞINIMI

3.1 Güneş Sabiti ve Atmosfer Dışı Işınım Değişimi

Atmosfer dışındaki birim dik alana düşen anlık toplam güneş ışınımı, dünya ve güneş arasındaki mesafenin değişmesi sebebiyle değişkendir. Dünya ile güneş arasındaki ortalama uzaklıkta atmosfer dışında yer alan güneş ışınlarına dik bir birim alana düşen anlık toplam güneş ışınımı Güneş Sabiti (G_{sc}) olarak tanımlanır. G_{sc} değeri %1 hata ile 1367 W/m^2 olarak kabul edilir ve bu kabul güneş enerjisi hesaplamalarında kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 3.1 Dünya ile güneş arasındaki mesafenin yıl içerisindeki değişimi [15]

Yılın herhangi bir zamanında atmosfer dışında yer alan güneş ışınımına dik birim yüzeye tüm dalga boylarında düşen güneş ışınımı (G_{on}) (3.1) eşitliği yardımıyla hesaplanabilir.

$$G_{on} = G_{sc}\left(1 + 0{,}033 * \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right)\right) \tag{3.1}$$

Burada n, 1 ocaktan itibaren hesaplama yapılacak güne kadar geçen gün sayısıdır. Ayın belirli bir günü, ayı temsil eden bir gün veya ayın ortalama günü için gün sayısı aylara bağlı olarak Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

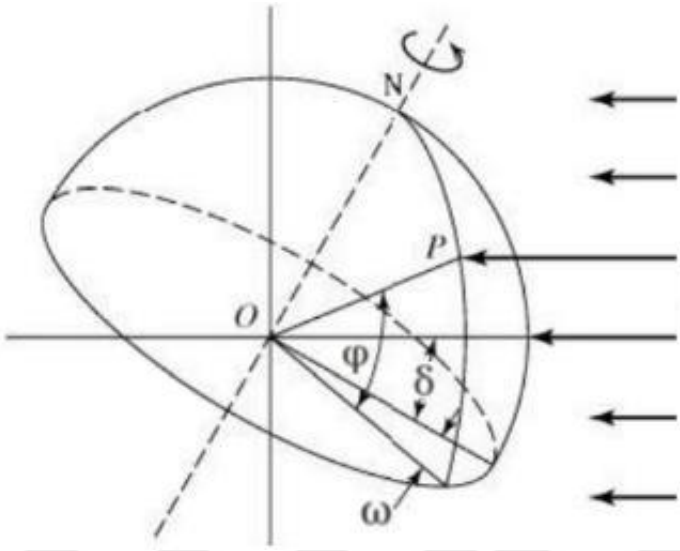
Tablo 3.1 Aylara göre n değerleri [16]

Ay	**Belirli bir gün için n değeri**	**Ayı temsil eden gün**	**Ortalama gün için n değeri**
Ocak	i	17	17
Şubat	i+31	16	47
Mart	i+59	16	75
Nisan	i+90	15	105
Mayıs	i+120	15	135
Haziran	i+151	11	162
Temmuz	i+181	17	198
Ağustos	i+212	16	228
Eylül	i+243	15	258
Ekim	i+273	15	288
Kasım	i+304	14	318
Aralık	i+334	10	344

Tabloda yer alan i değeri, içerisinde bulunulan ayın gün değeridir. 1 ocaktan itibaren geçen gün sayısı değeri olan n, düşen güneş ışınımının hesaplanmasının yanı sıra deklinasyon açısı hesabında da kullanılan bir değerdir [16].

3.2 Güneş Açıları

Güneş açıları, yeryüzündeki herhangi bir yüzeyin dünya üzerindeki konumuna ve eğimine bağlı olarak güneş ile yaptığı açılardır. Güneş enerjisi hesaplamalarında kullanılan Enlem açısı (φ), deklinasyon açısı (δ) ve saat açısı (ω) Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Enlem, deklinasyon ve saat açıları [17]

Enlem açısı (φ), yeryüzündeki herhangi bir noktayı dünyanın merkezine birleştiren doğru ile ekvator yüzeyi arasındaki açıdır. Kuzey yönü pozitif olmak üzere -90° ile +90° arasında bir değer alır.

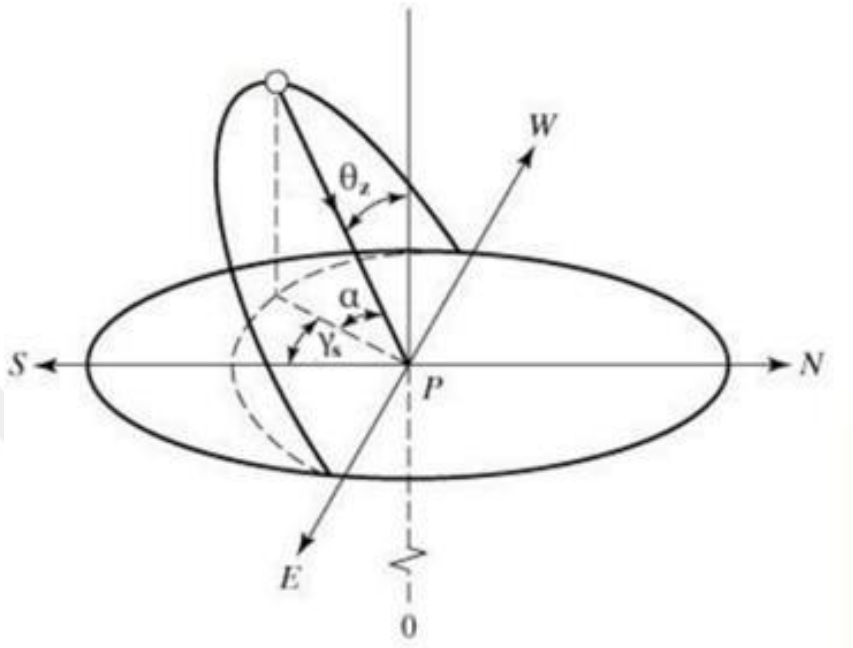
Deklinasyon açısı (δ), güneş ışınlarının ekvator yüzeyiyle yaptığı açıdır. Bu açının oluşma sebebi, dünyanın yörünge yüzeyiyle yaptığı 23° 27' değerindeki açıdır. Bu sebeple deklinasyon açısı -23,45° ile +23,45° aralığında bir değer alır. Deklinasyon açısı, (3.2) eşitliği yardımıyla hesaplanabilir.

$$\delta = 23{,}45 * \sin\left(360 * \left(\frac{284 + n}{365}\right)\right) \tag{3.2}$$

Saat açısı (ω), dünyanın kendi ekseni etrafında saatte 15° dönmesi sebebiyle güneşin yerel meridyene göre yer değiştirmesi olarak tanımlanır. Öğleden önce negatif ve öğleden sonra pozitif değer alır. Burada, Güneş Saati (GS) olmak üzere (3.3) eşitliği yardımıyla hesaplanabilir.

$$\omega = 15(GS - 12) \tag{3.3}$$

Güneş enerjisi hesaplamalarında kullanılan diğer açılar Yüzey azimut açısı (γ), güneş yükseklik açısı (α) ve zenit açısı (θ_z) Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Yüzey azimut, güneş yükseklik ve zenit açıları [17]

Yüzey azimut açısı (γ), yüzeyin normalinin yatay yüzeydeki izdüşümünün güney doğrultusu ile yaptığı açıdır. Güneyde sıfır olmak üzere doğuya doğru negatif, batıya doğru pozitif değer alır. -180° ile +180° arasında bir değer alır.

Güneş yükseklik açısı (α), güneşin ufuk çizgisinden ne kadar yüksekte olduğunu tanımlayan açıdır. Güneşin doğuş ve batış anında güneş ufuk çizgisinde olduğu için 0° değerini alır. Eğer güneş tam tepede ise bu durumda 90° değerini alır.

Eğim açısı (β), güneş ışınlarının geleceği yüzeyin yatay ile yaptığı açıdır.

Zenit açısı (θ_z), yatay yüzeyde güneş geliş açısıdır.

Güneş geliş açısı (θ), yüzeye düşen güneş ışınımı ile yüzeyin normali arasındaki açıdır. Güneş geliş açısı (θ), tanımları verilen diğer açılar cinsinden (3.4) eşitliği yardımıyla hesaplanabilir.

$$cos\theta = sin\delta * sin\varphi * cos\beta - sin\delta * cos\varphi * sin\beta * cos\gamma + cos\delta * cos\varphi * cos\beta * cos\omega + cos\delta * sin\varphi * sin\beta * cos\gamma * cos\omega + cos\delta * sin\beta * sin\gamma * sin\omega \quad (3.4)$$

Yatay yüzey için güneş geliş açısı aynı zamanda zenit açısıdır ve (3.5) eşitliği yardımıyla hesaplanabilir.

$$cos\theta_z = cos\delta * cos\varphi * cos\omega + sin\delta * sin\varphi \quad (3.5)$$

Güneş batış saat açısı (ω_s), güneşin batışında Zenit açısının 0° olması durumundan faydalanılarak (3.6) eşitliği yardımıyla hesaplanabilir.

$$cos\omega_s = -\frac{sin\delta * sin\varphi}{cos\delta * cos\varphi} \quad (3.6)$$

Gün uzunluğu (N), (3.7) eşitliği yardımıyla hesaplanabilir [16].

$$N = \frac{2}{15} cos^{-1}(-tan\varphi * tan\delta) = \frac{2}{15}\omega_s \quad (3.7)$$

3.3 Atmosfer Dışında Yatay Yüzeye Düşen Güneş Işınımı

Atmosfer dışında yer alan birim yatay yüzeye düşen güneş ışınımı (G_0) (3.8) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$G_0 = G_{on} * cos\theta_z \quad (3.8)$$

(3.8) eşitliğinde yer alan G_{on} ve $cos\theta_z$ ifadeleri (3.1) ve (3.4) kullanılarak G_0 değeri (3.9) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$G_0 = G_{sc}\left(1 + 0{,}033 * \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right)\right)(cos\delta * cos\varphi * cos\omega + sin\delta * sin\varphi) \quad (3.9)$$

Güneş enerjisi potansiyeli hesaplanırken genellikle günlük güneş ışınımı kullanılır. (3.9) eşitliğinin güneşin doğuşundan batışına kadar integrasyonuyla atmosfer dışında yer alan yatay bir yüzeye düşen günlük güneş ışınımı (H_0) (3.10) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Burada, G_{sc} için kullanılan W/m^2 birimi J/m^2'ye çevrilmiştir.

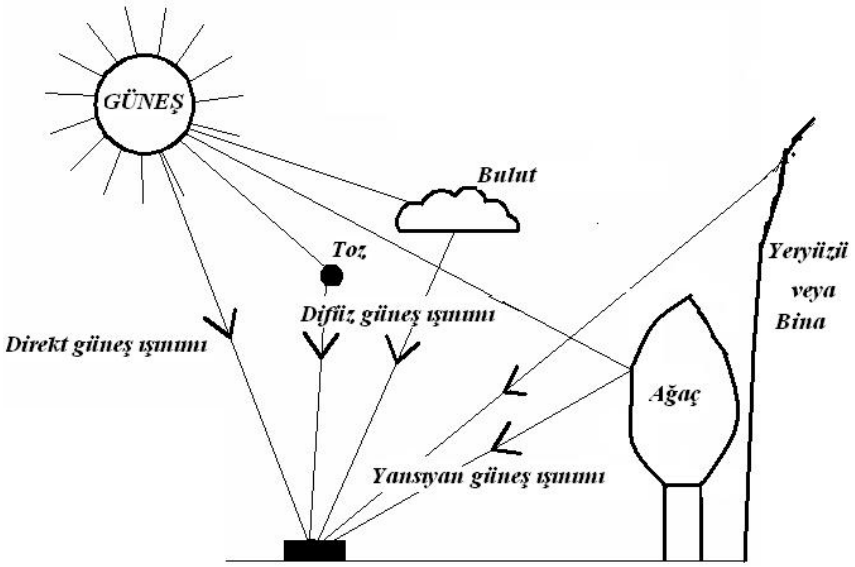
$$H_0 = \frac{24 * 3600 * G_{sc}}{\pi}\left(1 + 0{,}033 * \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right)\right)\left(cos\delta * cos\varphi * cos\omega_s + \frac{2 * \pi * \omega_s}{360} * sin\delta * sin\varphi\right) \quad (3.10)$$

Güneş enerjisi potansiyeli hesaplamalarında günlük güneş ışınımı kadar önemli olan bir diğer veri de anlık güneş ışınımıdır. Belirli iki saat aralığında anlık güneş ışınımının hesaplanmasında saat açıları ω_1 ve ω_2 kullanılır. Burada ω_2 büyük olan saatin açısıdır. Atmosfer dışında yer alan yatay bir yüzeye düşen anlık güneş ışınımı (I_0) (3.11) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$I_0 = \frac{12 * 3600 * G_{sc}}{\pi}\left(1 + 0{,}033 * \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right)\right)\left(cos\delta * cos\varphi * cos\omega_s + \frac{2 * \pi * (\omega_2 - \omega_1)}{360} * sin\delta * sin\varphi\right) \quad (3.11)$$

3.4 Yeryüzüne Düşen Güneş Işınımı

Atmosfer dışına düşen güneş ışınımının %10'u ila %80'i arasında değişen bir miktarı yeryüzüne ulaşır. Yeryüzüne düşen toplam güneş ışınımı da kendi içinde direkt güneş ışınımı (beam radiation) ve yayılı veya difüz ışınım (diffuse radiation) olarak ikiye ayrılır. Direkt, difüz ve yansıyan ışınım şematik olarak Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Direkt, yayılı ve yansıyan ışınımın şematik gösterimi [18]

Direkt güneş ışınımı, atmosfere girdiğinde dağılmayan ve doğrudan yeryüzüne ulaşan güneş ışınımıdır. Güneş ile yeryüzünün uzaklığı oldukça fazla olduğundan direkt güneş ışınımı, yeryüzüne paralel olarak düşünülebilir.

Difüz ışınım, atmosferde dağılan ışınımdır. Atmosferdeki bileşenler tarafından yansıtılan ve böylece herhangi bir yüzeye düşen ışınımdır.

Direkt ve difüz ışınımlar kısa dalga boylu ışınımlardır. Yeryüzünde, herhangi bir cisim tarafından yutulan veya yansıtılan uzun dalga boylu ışınımlara da yansıyan ışınım adı verilir. Difüz ışınım, yeryüzündeki cisimlerden saçılırken yansıyan ışınım ise yeryüzündeki cisimlerden yansımaktadır [16].

3.4.1 Yatay Yüzeye Düşen Günlük Işınım

Belirli bir bölgede bulutsuz ve açık bir günde yatay yüzeye düşen günlük güneş ışınımının günlük güneş ışınımına oranı orijinal Angstom regresyonunda günlük güneş ışınımı yerine atmosfer dışında yatay yüzeye düşen güneş ışınımı kullanılarak Page tarafından önerilen ifade (3.12) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\frac{H}{H_0} = a + b * \frac{n}{N} \tag{3.12}$$

Burada H, atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen günlük toplam güneş ışınımıdır. a ve b, ampirik sabitlerdir. n/N, izafi güneşlenme süresidir.

Ampirik sabitler olarak tanımlanan a ve b değerleri, konum, güneş ışınımı ve izafi güneşlenme süresi değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Türkiye için bu değerler deniz seviyesinden yükseklik (Z), deklinasyon açısı (δ) ve enlem açısı (φ) değerlerine bağlı olarak hesaplanmıştır. a değeri (3.13) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$a = 0{,}103 + 0{,}000017 * Z + 0{,}198 * cos(\varphi - \delta) \tag{3.13}$$

Aynı değişkenlere bağlı olarak b değeri (3.14) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$b = 0{,}533 - 0{,}65 * cos(\varphi - \delta) \tag{3.14}$$

Günlük berraklık indeksi (K_T) atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen günlük toplam güneş ışınımının (H) atmosfer dışında yer alan yatay yüzeye düşen günlük

toplam güneş ışınımına (H_0) oranıdır ve (3.15) eşitliği kullanılarak belirlenebilir [16].

$$K_T = {}^{H}/_{H_0} \tag{3.15}$$

3.4.2 Yatay Yüzeye Düşen Anlık Işınım

Yatay yüzeye düşen anlık güneş ışınımının hesaplanmasında yatay yüzeye düşen günlük güneş ışınımı kullanılabilir. Yatay yüzeye düşen anlık güneş ışınımının hesaplanabilmesi için ampirik sabitler olan a ve b sabitleri yeniden hesaplanmalıdır. Anlık güneş ışınımında a sabiti (3.16) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$a = 0{,}409 + 0{,}5016 * \sin(\omega_s - 60) \tag{3.16}$$

Aynı değişkenlere bağlı olarak Anlık güneş ışınımında b sabiti (3.17) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$b = 0{,}6609 - 0{,}4767 * \sin(\omega_s - 60) \tag{3.17}$$

Atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen anlık toplam güneş ışınımı (I) yatay yüzeye düşen günlük güneş ışınımına (H) oranı r_t olarak tanımlanır ve (3.18) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$r_t = {}^{I}/_{H} = \frac{\pi}{24} * (a + b * cos\omega) * \frac{(cos\omega - cos\omega_s)}{sin\omega_s - \left(\frac{2\pi sin\omega_s}{360}\right) cos\omega_s} \tag{3.18}$$

Anlık berraklık indeksi (k_T) atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen anlık toplam güneş ışınımının (I) atmosfer dışında yer alan yatay yüzeye düşen anlık toplam güneş ışınımına (I_0) oranıdır ve (3.19) eşitliği kullanılarak belirlenebilir [16].

$$k_T = {}^{I}/_{I_0} \tag{3.19}$$

3.4.3 Eğimli Yüzeye Düşen Anlık Işınım

Güneş enerjisi sistemlerinin kurulumu yapılırken güneş enerjisini tutacak kolektör veya paneller genellikle belirli eğim açılarıyla yerleştirilirler. Bu sebeple, yatay bir yüzeye düşen güneş ışınımının belirlenmesinin yanı sıra eğimli bir yüzeye düşen güneş ışınımının da belirlenmesi oldukça önemlidir.

Geometrik faktör (R_b), atmosferde yer alan eğimli yüzeye düşen anlık direkt güneş ışınımının (I_{bT}) atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen anlık direkt güneş ışınımına (I_b) oranı olarak tanımlanır. Geometrik faktör, (3.20) eşitliği kullanılarak belirlenebilir ve burada I_{bn} güneş geliş açısına bağlı olmaksızın yüzeye düşen normal güneş ışınımı olarak tanımlanır.

$$R_b = {I_{bT}}/{I_b} = {I_{bn} * cos\theta}/{I_{bn} * cos\theta_z} = {cos\theta}/{cos\theta_z} \tag{3.20}$$

Güneş ışınımı toplayıcılarının yerleştirilmesinde ideal durum, Dünya'nın kuzey yarım küresinde (KYK) bulunan bir alanda toplayıcıların güney yönüne bakmasıdır. Aynı şekilde Dünya'nın güney yarım küresinde (GYK) bulunan bir alanda toplayıcıların kuzey yönüne bakmasıdır. Kuzey yarım kürede güneye dönük yüzeyler için γ = 0° olacaktır ve bu durumda geometrik faktör, eşitlik (3.18)'de $cos\theta$ ve $cos\theta_z$ ifadelerinin yerine yazılmasıyla (3.21) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) * cos\delta * cos\omega + \sin(\varphi - \beta) * sin\delta}{\cos\varphi * cos\delta * cos\omega + \sin\varphi * sin\delta} \tag{3.21}$$

Güney yarım kürede kuzeye dönük yüzeyler için γ = 180° olacaktır ve bu durumda geometrik faktör, eşitlik (3.20)'de $cos\theta$ ve $cos\theta_z$ ifadelerinin yerine yazılmasıyla (3.22) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$R_b = \frac{\cos(\varphi + \beta) * cos\delta * cos\omega + \sin(\varphi + \beta) * sin\delta}{\cos\varphi * cos\delta * cos\omega + \sin\varphi * sin\delta} \tag{3.22}$$

Atmosferde yer alan eğimli yüzeye düşen anlık güneş ışınımı (I_{bT}), geometrik faktör ve atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen anlık güneş ışınımının çarpımıyla (3.23) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$I_{bT} = R_b * I_b \tag{3.23}$$

Atmosferde yer alan eğimli yüzeye düşen anlık yayılı ışınım (I_{dT}) atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen anlık yayılı ışınım (I_d) kullanılarak (3.24) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$I_{dT} = I_d * \frac{1 + cos\beta}{2} \tag{3.24}$$

Atmosferde yer alan eğimli yüzeye düşen anlık yansıyan ışınım (I_{ref}) ise (3.25) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$I_{ref} = (I_b + I_d)\rho\left(\frac{1-cos\beta}{2}\right) = I\rho\left(\frac{1-cos\beta}{2}\right) \quad (3.25)$$

Burada ρ yerin yansıtma oranı olarak tanımlanır. Yerin karlı olması durumunda yansıtma oranı için 0,7 değeri önerilir. Yerin karlı olmaması durumunda ise 0,2 değerinin kullanılması önerilir.

Bu durumda, atmosferde yer alan eğimli yüzeye düşen anlık toplam güneş ışınımı (I_T), eşitlik (3.21), eşitlik (3.24) ve eşitlik (3.25)'in toplanmasıyla elde edilen (3.26) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\begin{aligned} I_T &= I_{bT} + I_{dT} + I_{ref} \\ &= R_b * I_b + I_d * \frac{1+cos\beta}{2} + (I_b + I_d) * \rho * \frac{1-cos\beta}{2} \end{aligned} \quad (3.26)$$

Burada R, atmosferde yer alan eğimli yüzeye düşen anlık toplam ışınımın atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen anlık toplam ışınımına oranı olarak tanımlanır ve (3.27) eşitliği kullanılarak belirlenebilir [16].

$$R = \frac{I_T}{I} = \frac{I_b}{I} * R_b + \frac{I_d}{I} * \frac{1+cos\beta}{2} + \rho\frac{1-cos\beta}{2} \quad (3.27)$$

3.4.4 Eğimli Yüzeye Düşen Günlük Işınım

Atmosferde yer alan eğimli yüzeye düşen günlük toplam güneş ışınımının (H_T), atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen günlük toplam ışınıma (H) oranı $\bar{R}$ olarak ifade edilir ve (3.28) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\begin{aligned} \bar{R} = {}^{H_T}/_{H} = \left(1 - {}^{H_d}/_{H}\right)\bar{R}_b + {}^{H_d}/_{H} * \left({}^{1+cos\beta}/_{2}\right) + \\ \rho\left({}^{1-cos\beta}/_{2}\right) \end{aligned} \quad (3.28)$$

Böylece, atmosferde yer alan eğimli yüzeye düşen toplam günlük güneş ışınımı (3.29) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\begin{aligned} H_T = H\left(1 - {}^{H_d}/_{H}\right)\bar{R}_b + H_d\left({}^{(1+cos\beta)}/_{2}\right) + H * \\ \rho\left({}^{(1-cos\beta)}/_{2}\right) \end{aligned} \quad (3.29)$$

Burada H_d atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen günlük yayılı ışınımdır. $\bar{R}_b$ atmosferde yer alan eğimli yüzeye düşen günlük direkt güneş ışınımının (H_{bT}) atmosferde yer alan yatay yüzeye düşen günlük direkt ışınıma (H_b) oranıdır ve (3.30) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\bar{R}_b = \frac{H_{bT}}{H_b} \tag{3.30}$$

Kuzey yarım kürede güneye dönük yüzeyler için γ = 0° olacaktır ve bu durumda $\bar{R}_b$ (3.31) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) * cos\delta * sin\omega'_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) * \omega'_s * \sin(\varphi - \beta) * sin\delta}{\cos\varphi * cos\delta * sin\omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) * \omega_s * \sin\varphi * sin\delta} \tag{3.31}$$

Burada ω'_s ayın ortalama gününde yüzeye düşen güneş ışınlarının ilk düşme saat açısıdır. Yatay düzlemde, güneş doğuş saat açısı olarak kullanılır. Kuzey yarım kürede güneye dönük eğimli yüzeyler için (3.32) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\omega'_s = min\begin{cases} cos^{-1}(-tan\varphi * tan\delta) \\ cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) * tan\delta) \end{cases} \tag{3.32}$$

Güney yarım kürede güneye dönük yüzeyler için γ = 180° olacaktır ve bu durumda $\bar{R}_b$ (3.33) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$R_b = \frac{\cos(\varphi + \beta) * cos\delta * sin\omega'_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) * \omega'_s * \sin(\varphi + \beta) * sin\delta}{\cos\varphi * cos\delta * sin\omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) * \omega_s * \sin\varphi * sin\delta} \tag{3.33}$$

Yatay düzlemde, güneş doğuş saat açısı olarak kullanılır. Güney yarım kürede güneye dönük eğimli yüzeyler için (3.34) eşitliği kullanılarak belirlenebilir [16].

$$\omega'_s = min\begin{cases} cos^{-1}(-tan\varphi * tan\delta) \\ cos^{-1}(-\tan(\varphi + \beta) * tan\delta) \end{cases} \tag{3.34}$$

4
SOĞUTMALI TREYLER TÜRLERİ VE ÜRÜN MUHAFAZASI

Soğutmalı veya sıcaklık kontrollü treyler, yük taşımacılığı için kullanılan diğer treyler türlerine göre temel farklılıklara sahiptir. Bu farklılıklar, soğutmalı treylerin yalıtıma sahip olması, soğutma için bir üniteye sahip olması ve treyler içerisinde yer alan kargonun türüne göre bir hava şartlandırmasına ihtiyaç duymasıdır [19].

4.1 Soğutmalı Treyler Türleri

Gıda taşımacılığı için kullanılan araçların tüm yüzeylerinin ve kapılarının ısı transferini azaltmak için yalıtımlı olması gereklidir. Yalıtım kalitesi, endüstri standartlarında U faktörü ile ölçülür. Burada U, bir elemanın tüm gövdesi boyunca toplam ısı transfer katsayısıdır. U değeri ne kadar düşükse yalıtımın o kadar başarılıdır.

Soğutmalı treylerlerde yalıtım genellikle poliüretan köpük malzemelerle yapılmaktadır. Poliüretan köpük düşük maliyetli ve hafiftir. Fakat zamanla yalıtım performansı özellikle kapılar etrafında düşer. Dış ortamda yer alan su buharı ve havanın poliüretan köpük yalıtımı içindeki kabarcıklara ve boşluklara hareketi nedeniyle, soğutmalı bir treyler her yıl yalıtım performansında yaklaşık %5'lik bir düşüş yaşayacaktır [19].

4.1.1 Entegre Soğutmalı Konteyner

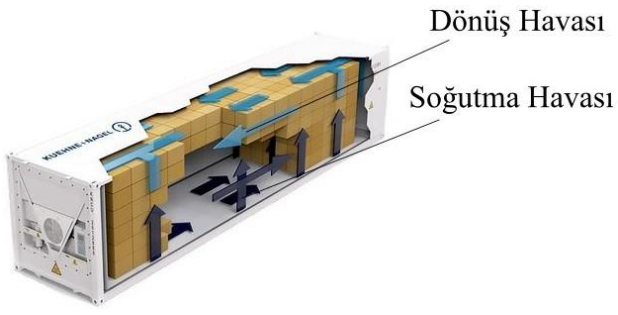
Entegre soğutmalı konteyner, sıcaklığa duyarlı yüklerin taşınmasında kullanılan ve soğutma ünitesinin konteyner içerisinde yer aldığı bir taşıma konteyneridir. Entegre soğutmalı konteynerler kara ve deniz yolları kullanılarak trenler, kamyonlar ve gemilerle taşınabilmektedir.

Entegre soğutmalı konteynerin üç temel bileşeni konteynerin dışında yer alan soğutma sistemi, kontrol ünitesi ve hava sirkülasyon sistemidir. Entegre soğutmalı konteyner, poliüretan yalıtımlı ve dizel motorda üretilen elektrikle çalışan bir soğutma ünitesine sahip metal bir taşıyıcıdır [19]. Entegre soğutmalı konteyner, Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Entegre soğutmalı konteyner [20]

Entegre soğutmalı konteynerlerde genellikle alttan hava dağıtım sistemi (ters hava akışı olarak da ifade edilebilir) kullanılır. Şartlandırılmış hava, entegre soğutmalı konteynerin içerisinde yer alan ve ön tarafında bulunan soğutma ünitesinden konteyner içine dağıtılır. Şartlandırılmış hava, T zemin kanallarından zemin boyunca ve kargonun yükleme türüne de bağlı olarak içinden dikey olarak yukarı doğru iletilir. Böylece hava, ürün sıcaklıklarını korumak için yükün hem etrafından hem de içinden geçirilmiş olur [19]. Konteyner içerisindeki hava akışı temsili olarak Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Entegre soğutmalı konteyner içerisindeki hava akışı [21]

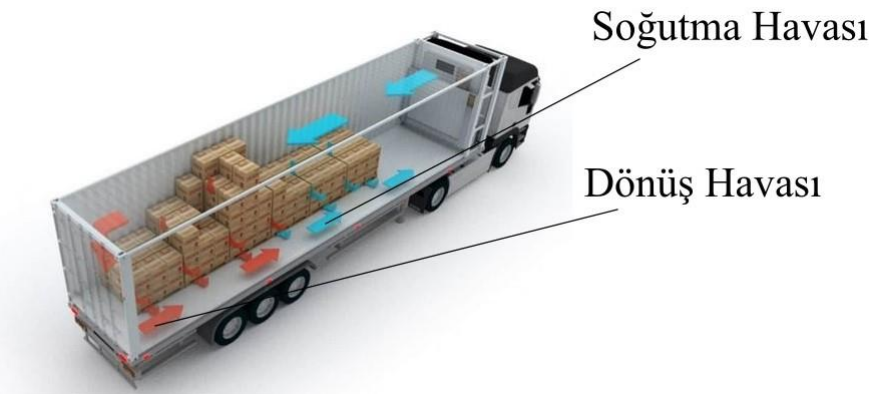
4.1.2 Soğutmalı Treyler

Soğutmalı treyler genellikle tekerlekli yalıtımlı bir römork ve ünitenin treylerin dışında (genellikle ön yüzeyinde) bulunduğu bir taşıma römorkudur. Soğutucu römorklar çoğunlukla karayolu kamyon taşımacılığı için kullanılır ancak nadir de olsa demiryolu taşımacılığında kullanıldığı uygulamalar da mevcuttur [19]. Soğutmalı treyler ve dışında yer alan soğutma ünitesi Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Soğutmalı treyler ve soğutma ünitesi [22]

Entegre soğutmalı konteynerlerin aksine soğutmalı treylerlerde genellikle üstten hava dağıtım sistemi kullanılır. Soğutma ünitesinden gelen şartlandırılmış hava yükün üzerinden yatay olarak arka kapılara (aynı zamanda yükün içinden ve etrafından da geçerek) doğru akar. Geri dönüş için ise zemin boyunca, ön bölmenin altında bırakılan boşluklar kullanılır. Böylece ürün, yükleme türüne de bağlı olarak hem üst yüzeyinden hem alt yüzeyinden hem de iç yüzeylerinden soğutulmuş olur. Hava yatay olarak kargonun altından soğutma ünitesine geri döner. Yatay hava akışı sistemi, koşullandırılmış havayı pasif bir şekilde hareket ettirirken yükün arkasından ön bölmeye kadar yol boyunca ısıyı toplar. Isı üreten bir kargo olması durumunda ise şartlandırılmış havanın ayrıca yük ve yüzey arasından da geçmesine izin verilir [19]. Konteyner içerisindeki hava akışı temsili olarak Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

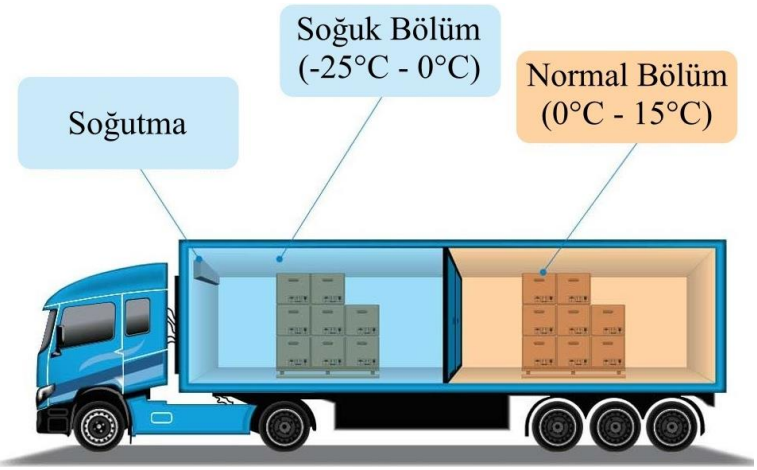


Şekil 4.4 Soğutmalı treyler içerisindeki hava akışı [23]

4.1.3 Çok Sıcaklıklı Soğutmalı Treylerler

Çok sıcaklıklı soğutmalı treylerler, içerisinde taşınan kargonun aynı anda farklı sıcaklıklarda taşınmasına olanak sağlar. Bunun yanı sıra farklı sıcaklıklarda muhafaza edilmesi gereken kargoların aynı araçla taşınmasına da olanak verir. Genellikle iki veya üç bölmeli olarak tasarlanırlar.

Bölmeler ayrılması için hareketli bir yalıtım bölmesi kullanılır ve böylece farklı bölümlerin taşıma kapasitesi arttırılabilir veya azaltılabilir. Treyler, farklı bölmelerden kargonun indirilebilmesi veya kargo yüklenebilmesi için yan kapılarla da donatılır. Çok sıcaklıklı soğutmalı treyler, Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Çok sıcaklıklı soğutmalı treylerin şematik gösterimi [24]

4.2 Hava Dağıtım Sistemi

Hava akışı, ürünlerin taşınması sırasında sağlanması gereken muhafaza şartlarının korunmasında en önemli parametrelerden biridir. Soğutma ünitesinden gelen

şartlandırılmış hava, iç ve dış ısı yüklerini absorbe etmek için yükün etrafında ve iç kısımlarında üniform olarak dolaşmalıdır. İç ısı yükü genellikle ürün kaynaklıdır. Özellikle meyve ve sebze ürünlerinin bir arada bulunmaları sonucunda solunum ısısı (posa veya küspe ısısı olarak da isimlendirilir) ortaya çıkar ve bu ısı, üniform hava akışıyla üründen uzaklaştırılmalıdır. Böylece ürün sıcaklığı, muhafaza için tavsiye edilen sıcaklıkta tutulacaktır.

İç ısıda olduğu gibi yükün taşınması sırasında ürün sürekli dış ısıya da maruz kalır. Treylerin yalıtımı, dış ısının yüke nüfuz etmesini yavaşlatabilir fakat tamamen durduramaz. Bu sebeple şartlandırılmış hava, yükün içerisinde dolaştırılmanın yanı sıra treylerin iç yüzeyleri boyunca da dolaştırılır. Yüzeylerin dışından treylerin iç yüzeylerine iletilen ısı dolaşım havasıyla absorbe edilir ve soğutma ünitesi tarafından treylerin içinden uzaklaştırılır. Optimum sıcaklıktaki hava ceketi, bir yükün etrafındaki en iyi yalıtım olarak belirtilir. Ürünün soğutulmasının yanı sıra bazı ürünler için donmanın da önlenmesi gerekir [25]. Bu sebeple, ürünler için muhafaza sıcaklıkları tavsiye edilmiştir. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından ürünlerin taşınması sırasında önerilen muhafaza sıcaklıkları Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Taşıma sırasında önerilen ürün muhafaza sıcaklıkları [26]

Ürün Kapsamı	**Ürün Türü**	**Maksimum Muhafaza Sıcaklığı**
Et ve Et Ürünleri	Sakatat	3°C
	Çiğ Kırmızı Et	7°C
	Çiğ Kanatlı Eti	4°C
	Kıyma	2°C
	Hazırlanmış Et Karışımları	4°C

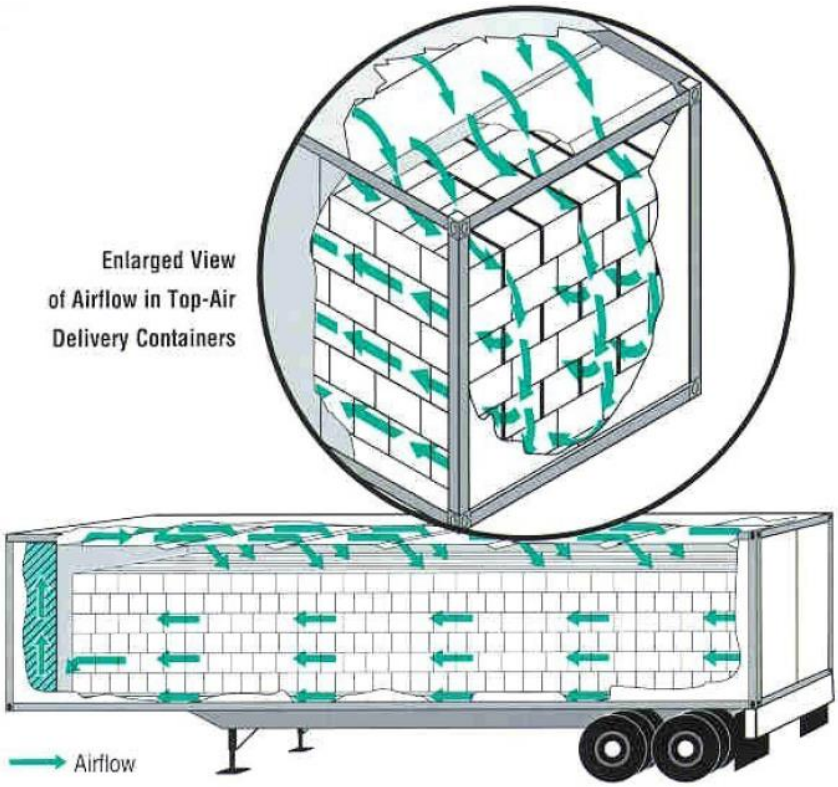
Tablo 4.1 Taşıma sırasında önerilen ürün muhafaza sıcaklıkları (devamı) [26]

Ürün Kapsamı	**Ürün Türü**	**Maksimum Muhafaza Sıcaklığı**
Balıkçılık ve Su Ürünleri	Taze Balık	0°C
	Dondurulmuş Balık	-18°C ± 3°C
Meyve ve Sebzeler	Meyve ve Sebzeler	0-15°C
Yumurta ve Süt Ürünleri	Yumurta	5-8°C
	Süt	4°C

Literatürde soğutmalı treylerler için iki farklı hava dağıtım sistemi önerilmiştir. Bu sistemlerin önerilmesindeki amaç, soğutma verimliliğini arttırmak ve ürünler için tavsiye edilen sıcaklıklar referans alınarak treyler içerisindeki sıcaklık kontrolünü sağlamaktır. Treyler içindeki sıcaklık kontrolünün sağlanmasında seçilen hava dağıtım sisteminin yanı sıra ürünlerin yüklenme türü de önemlidir.

Üstten hava dağıtım sistemi, soğutmalı treylerlerde en yaygın kullanılan hava dağıtım yöntemidir. Bunun sebebi, havanın yükün üst tarafından akması sebebiyle yükün alt tarafında özel bir zemin gerekmemesidir. Özel bir zemin gerekmediği için hem yükleme ve boşaltma daha kolay yapılmakta hem de treylerin yük taşıma kapasitesi daha etkin şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca treyler içerisine monte edilen özel zeminler, treylere ekstra ağırlık eklenmesine sebep olacaktır. Treylerler otoyollarda seyrederken ağırlık limitlerine tabidir ve bu ek ağırlıklar, sefer sırasında taşınacak yükün azalmasına sebep olacaktır.

Üstten hava dağıtımında soğutma havası, yüksek hızlı ve düşük basınçlı olarak treylerin ön yüzünde yer alan soğutma ünitesinden çıkar ve yükün üstünden hareket eder. Yükün üstünden ilerleyen ve aracın arkasına ulaşan soğutma havası, yükün arka ucu ve treyler kapılarının iç yüzeyi arasından aşağıya iner. Havanın üniteye geri dönüşü ise yükün altından ve içinden gerçekleşir. Üstten hava dağıtım sistemi şematik olarak Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



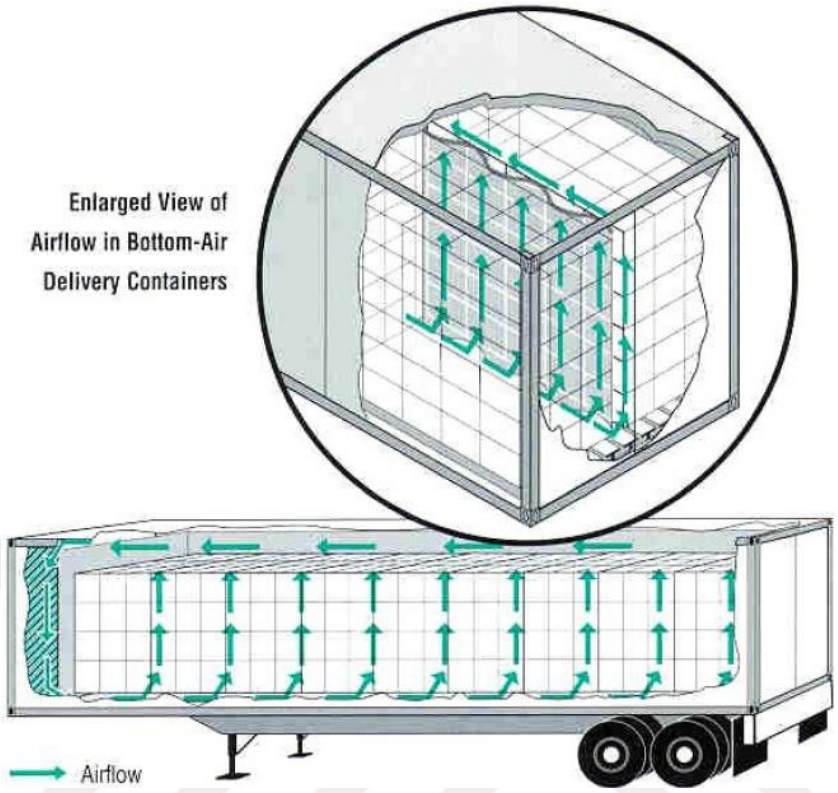
Şekil 4.6 Üstten hava dağıtım sisteminin şematik gösterimi [19]

Literatürde önerilen diğer sistem olan alttan hava dağıtım sistemi genellikle entegre soğutmalı treylerlerde ve nadiren de soğutmalı treylerlerde kullanılan bir yöntemdir. Alttan hava dağıtım sisteminde konteyner içerisinde genellikle T zemin kanalları kullanılır. Yük bu zemin kanalları üzerine yerleştirilir ve yükün tüm zemini kaplaması gerekmektedir. Treyler içerisindeki hava akışı genellikle dikey olarak gerçekleşir.

Soğutma havası, yükün alt tarafında yer alan T zemin kanallarına yönlendirilir. Basınçlı hava, yükün alt tarafından treylerin arka tarafına doğru akar ve nervürlü yan duvarlar vasıtasıyla dikey olarak yük boyunca treylerin üst tarafına doğru çıkış yapar. Hava, treylerin tavanına ulaştığında soğutma ünitesine geri dönüşe geçer ve yükten aldığı ısıyı dışarıya verir.

Alttan hava dağıtım sisteminin genellikle tercih edilmeme sebepleri arasında nervürlü duvarların ve T zeminin getirdiği ekstra maliyet ve ağırlık gösterilebilir. Nervürlü duvar dolaşım havasına türbülans kazandırmasına karşın maliyeti nedeniyle çok tercih edilmez. Genellikle taşıma süresinin uzun olduğu veya uzun mesafeli taşımacılıkta (yönetmeliğe göre ağırlık kısıtlamasının bulunmadığı uzun

mesafeli seyirlerde) kullanılır [25]. Alttan hava dağıtım sistemi şematik olarak Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Alttan hava dağıtım sisteminin şematik gösterimi [19]

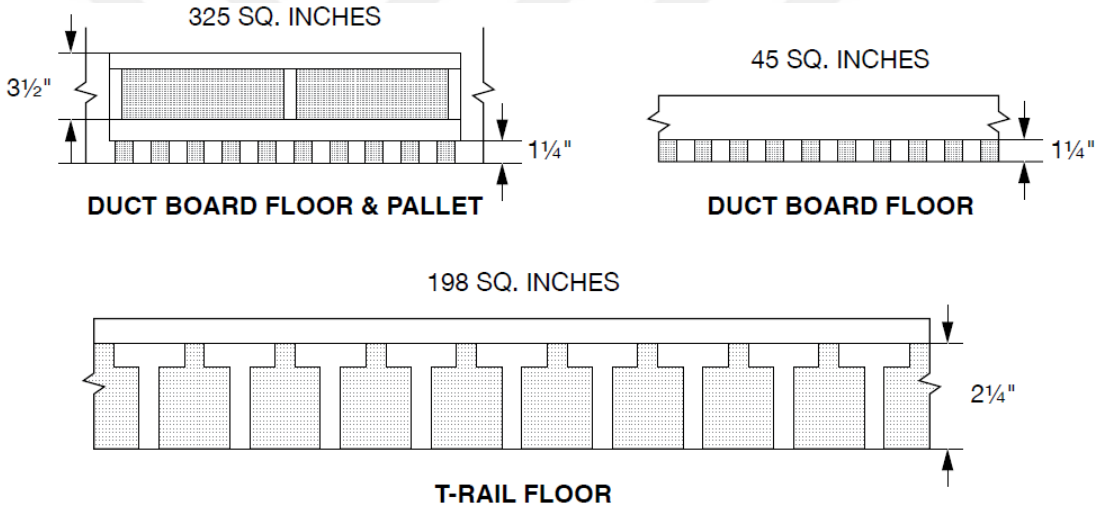
4.3 Zemin Türleri

Üstten hava dağıtım sisteminde yük ile treyler zemini arasında boşluk, soğutma ünitesinden çıkan soğutma havasının geri dönüşü için bir kanal oluşturur. Zemin ile yük arasında yeterli boşluğun olmaması durumunda yük üzerinden ısıyı çeken havanın soğutma ünitesine dönüşü zorlaşacak ve soğutma sisteminin çalışması aksayacaktır. Ortalama bir soğutmalı treylerde soğutma sisteminin etkin şekilde çalışabilmesi için en az 0,15 m^2 dönüş havası boşluğu bırakılmalıdır. Soğutmalı treylerlerde sıklıkla kullanılan zemin türleri düz (kanalsız) zemin (flat floor), kanal levhası zemin (duct board floor), kanal-T Zemin (duct-T floor) ve T zemindir (T-beam floor).

Her tasarım türü dönüş havası geçişi için birbirinden farklı kesit alanları sunar. Standart bir soğutmalı treylerde, 31,8 mm derinliğindeki kanal levhası zemin yaklaşık 0,03 m^2 dönüş havası kanalı sağlar ve bu değer yeterli kabul edilmez. Kanal-T zeminler sırasıyla yaklaşık 0,05 m^2 ve 0,07 m^2 dönüş havası alanı sağlar

ve bu da gerekli alanın yaklaşık %26 ila %37'sini karşılar. 57,2 mm derinliğinde bir T-kiriş zemin yaklaşık 0,13 m^2 dönüş havası kanalı sağlar. Düz zeminde dönüş havası için bir alan bulunmaz. Bu zemin türünün kullanılması durumunda yükleme standart paletlerle yapılabilir. Yani yükseklik palet ayak yüksekliği kadar olabilir.

Bu zemin tasarımlarının hiçbiri dönüş havası için yeterli hava geçişi sağlamaz, bu nedenle bu tür zeminler kullanıldığında ürünlerin paletlere veya ahşap raflara yüklenmesi önerilir. T zemin, diğer zemin türlerine göre daha iyi hava akışı sağlar. Fakat T zemin yükleme ve boşaltma sırasında oluşabilecek forklift hasarına sebep olabilir. Bu hasar sonucu ortaya çıkan kalıntılar hava kanalını kirletir ve tıkayabilir. Böylece hava kanalının verimliliği azalacaktır. Ayrıca forkliftle yapılan yükleme ve boşaltma işlemleri, lastiklerin direkt zemin yerine T zemine temas etmemesi nedeniyle zorlaşacaktır [25]. Zemin türleri Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Zemin türleri [19]

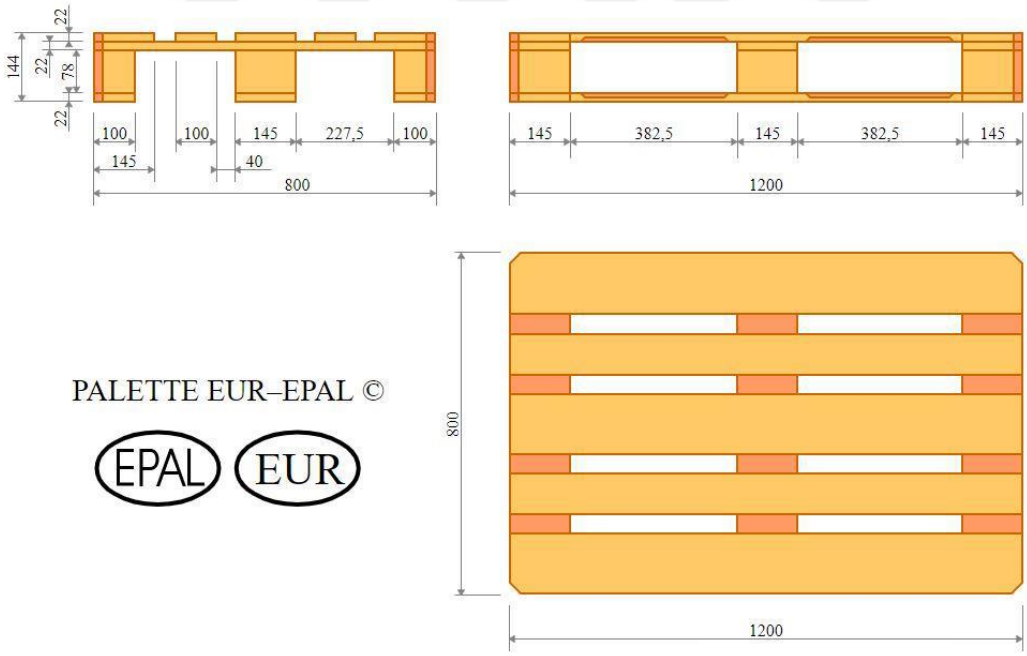
4.4 Yükleme Türleri

Treylerin içindeki yük, soğutma ünitesinden gelecek soğutma havası önünde bir engeldir ve bunun yanı sıra ürünün türüne göre bir ısı kaynağı olarak da değerlendirilir. Ürünlerin paketlenmesi ve yüklenme şekli, treylerin içerisindeki ürünün soğutulma verimi için oldukça önemlidir. Treyler içerisinde yer alan hava kanallarının kullanımı (ve eğer kullanılıyorsa türü) ve seçilecek hava akış modeli, ürünün ambalajlanması, paletli veya paletsiz yüklenmesi ve yükleme türüne göre belirlenmektedir. Ayrıca ürünün yüklenme türüne göre hava kanallarının tıkanmasını önlemek için destekler de kullanılır.

Literatürde yük, treylere genellikle iki yöntemle yüklenir. Bu yöntemlerden ilki paletli yüklemedir. Paletli yüklemede, yük önce küçük paketler halinde ambalajlanır ve bu paketler, paletler üzerine dizilir. Palet üzerine dizilmiş yük, forkliftler aracılığıyla treylere yüklenir. Paletli yüklemenin avantajları yüklemeden sonra treyler içerisinde erişim kolaylığı, daha az yükleme ve boşaltma süresi ve daha az iş gücü gerektirmesidir. Elle istiflenmiş yüklemede ise ürün paketleri ayrı ayrı elle paketlenir ve treyler içerisinde genellikle tabandan tavana kadar istif şeklinde yerleştirilir. Soğutmalı treylerlerde önerilen bir yöntem değildir. [25].

4.4.1 Paletli Yükleme

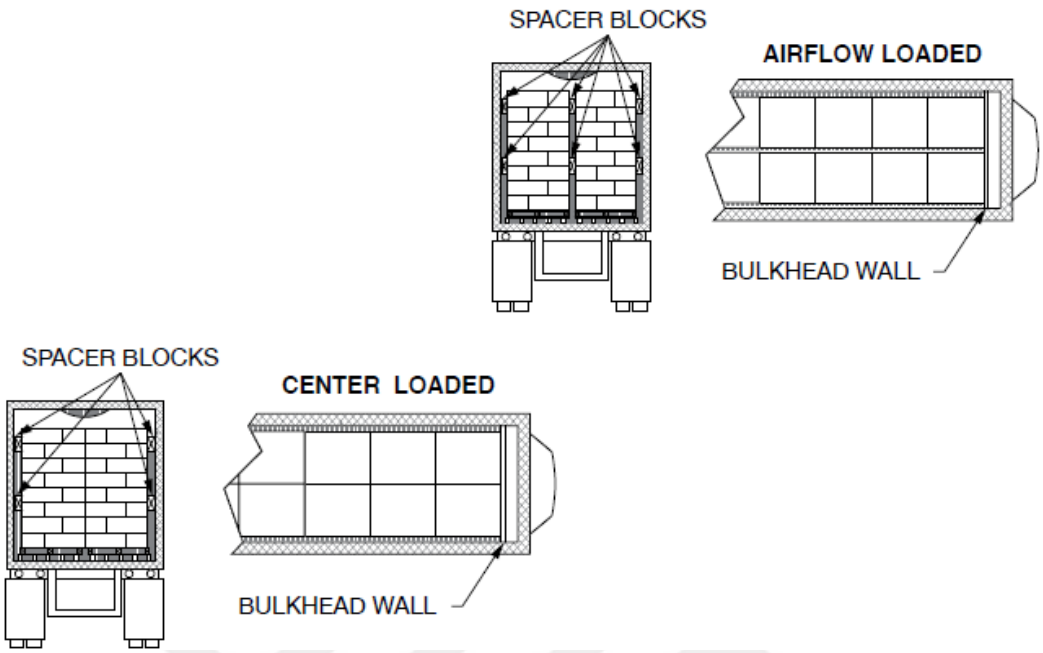
Yük, farklı boyutlardaki paletlere dizilerek paletli yükleme gerçekleştirilebilir. Bu konuda literatürde farklı standart palet ölçüleri ve bu paletlerin üzerine ürünlerin dizilmesi için farklı kombinasyonlar mevcuttur. Literatürde en çok yer verilen ve uygulamada da sıklıkla kullanılan standart palet türü ise Europalet'tir. Europalet, 0,8 m genişliğinde ve 1,20 m uzunluğunda standart ölçülere sahiptir [27]. Standart Europalet ölçüleri şematik olarak Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Standart Europalet ölçüleri [27]

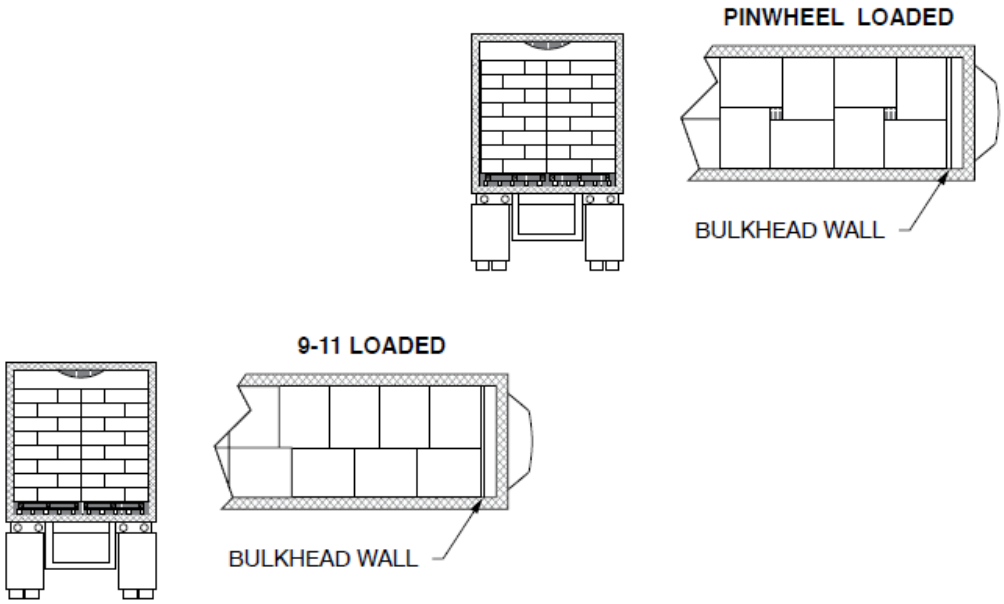
Paletli yüklemede yük ile araç duvarları arasında hava akışı için bir boşluk bırakılması literatürde tavsiye edilir. Bu boşluğun bırakılabilmesi için ortadan yükleme (center loading) veya akışlı (iki palet sırası arasında hava boşluğu

bırakacak şekilde) yükleme (airflow loading) önerilir [19]. Ortadan yükleme ve akışlı yükleme şematik olarak Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Ortadan yükleme ve akışlı yükleme [19]

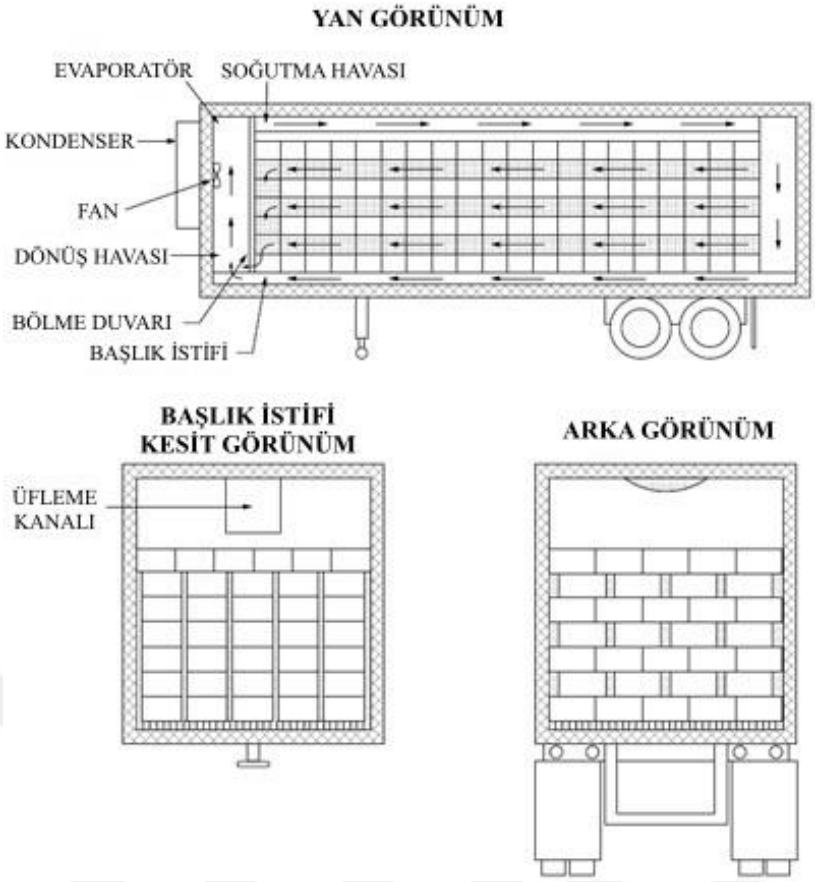
Yükün, soğutma havası için oluşturulan kanala direkt temas etmesi ve aynı zamanda hava akışını engelleyecek şekilde sıkı yüklenmesi olarak tanımlanan dişli yükleme (pinwheel loading) literatüre göre tavsiye edilen uygulamalar değildir. Bu uygulamaların yapılması durumunda treyler içerisinde hava dağılımı üniform gerçekleşmeyecek ve böylece yükün belli kısımları soğutulamayacaktır. Bunların yanı sıra soğutma havasının kısa döngüsü (veya kısa devre yapması) da önerilen bir durum değildir. Dişli yükleme bu sebeplerle önerilmez. Ayrıca uygulamada nadir de olsa kullanılan 9-11 yükleme (9-11 loading) yöntemi de literatürde mevcuttur [19]. Dişli yükleme yani yükle treyler duvarları arasında hiç boşluk bırakılmaması durumu ve 9-11 yükleme şematik olarak Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Dişli yükleme ve 9-11 yükleme [19]

4.4.2 Elle İstiflenmiş Yükleme

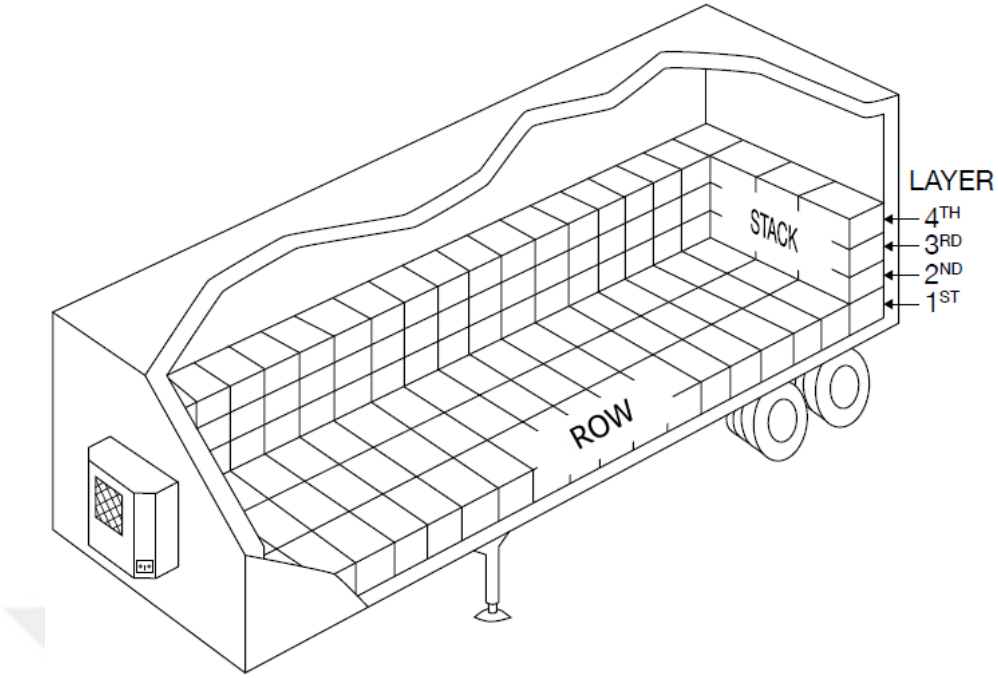
Gıda ürünlerinin solunum ısısından dolayı soğutmalı treylerlerde üstten hava dağıtım sisteminin kullanıldığı durumlarda elle istiflenmiş yükleme tavsiye edilmez. Fakat bu yöntemin uygulandığı nadir durumlarda yükün içerisinde ve etrafında hava akışına olanak sağlayacak kanallar oluşturulmalı ve yük bu şekilde yüklenmelidir. Zemin kullanılmaması durumunda geri dönüş havası için yeterli kanal alanı oluşmayacağından yüke ve yükleme türüne uygun bir zemin türü seçilmelidir. Fakat hava akışı için gerekli boşlukların bırakılması ve uygun zemin türünün kullanılması durumlarında bile bu yükleme türü önerilmez. Ayrıca taşınan yükte oluşabilecek mekanik hasar oranı, paletli yüklemeye göre daha yüksektir. Uygulamada ise genellikle havuç, soğan veya patates gibi çuval veya büyük torbalarla taşınan ürünlerde bu yükleme türü tercih edilir [19]. Üstten hava dağıtımlı soğutmalı treylerde elle istiflenmiş yükleme şematik olarak Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Üstten hava dağıtım sistemiyle elle istiflenmiş yükleme [19]

Üstten hava dağıtım sisteminde olduğu gibi alttan hava dağıtım sisteminin kullanıldığı durumlarda da elle istiflenmiş yükleme literatürde önerilen ve uygulamada tercih edilen bir yöntem değildir. Nadir de olsa uygulandığı durumlarda ise yükün treyler içerisinde hava akışına izin vermesi gerekir. Paketler genellikle havalandırma delikleriyle donatılmalı ve aynı hizada yüklenmelidir. Böylece treyler içerisindeki farklı noktalarda hava basıncı değerleri birbirine yakın olacaktır ve etkin bir soğutma sağlanacaktır.

Yüklemenin yapılabilmesi için literatürde bazı terimler tanımlanmıştır. Yüklemede sıra (row), treylerin tüm uzunluğu boyunca uzanan ve genişliği bir yüklenecek paket genişliğinde olan bir paket hattıdır. Katman (layer), treylerin uzunluğu ve genişliği boyunca uzanan bir paket yüksekliğindeki tabakadır. İstif (stack), treylerin yüksekliği boyunca yükün en üst noktasından en alt noktasına uzanan aracın üst ve alt yüzeylerine paralel bir paket yüksekliğindeki paket hattıdır [19]. Paketlerin sıra, istif ve katman dizilişi şematik olarak Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Paketlerin sıra, istif ve katman dizilişi [19]

Alttan hava dağıtım sisteminin kullanıldığı elle istiflenmiş yüklerde dikkat edilmesi gereken öncelikli konu treylerin yan duvarları ile istif arasına parçalar yerleştirilmesi (genellikle hava kanalı görevi görmesi için) ve istiflemenin sıkıca yapılmasıdır. Sıkı istifleme, yükte oluşacak mekanik hasarı azaltacaktır. Ayrıca, paketler üzerinde havalandırma delikleri yer almalıdır ve istif hizalanırken bu havalandırma deliklerinin yanı hizaya gelmesine dikkat edilmelidir. Paketlerin yüzeylerindeki hizalı havalandırma deliklerinin bir hava kanalı işlevi görmesi amaçlanır. Soğutma ünitesinden çıkan soğutma havasının geri dönüşü için yüklemede yükün arka kapı, treyler ön yüzü, tavanı ve yan yüzeylerinden en az 10 cm uzaklıkta istiflenmesi gerekmektedir. Eğer treyler tabanı paketler tarafından tam olarak kaplanamıyorsa, paketlerin kaplayamadığı taban alanı (hangi zemin türü kullanıldığından bağımsız olarak) kapatılmalıdır. Tabanın tümüyle kapalı olması havanın kısa devre yapmasını engelleyecek ve etkin soğutmaya katkıda bulunacaktır [19].

5
ÖNERİLEN SİSTEM VE METODOLOJİ

Geleneksel soğutmalı ürün taşımacılığında treyler, içerisine yüklenecek ürünün muhafaza sıcaklığına bağlı olarak boşken soğutulur. Ürünün muhafaza sıcaklığı ne kadar düşükse bu soğutma işlemi o kadar uzun sürecektir. Ürünün taşınması işlemi başlamadan soğutma ünitesi çalıştırıldığı için ürün taşınmaya başlamadan yakıt tüketilmeye ve emisyon ortaya çıkarılmaya başlanacaktır. Treyler ürün muhafaza sıcaklığına soğutulduktan sonra ürünün treyler içerisine yüklemesi gerçekleştirilir. Yükleme, literatürde belirlenmiş yöntemlere göre yapılır ve farklı türdeki ürünler için farklı yükleme türleri önerilmiştir. Ürünün yüklenmesi aynı zamanda tek bir ürün taşımayan treylerler için de önemlidir. Ürünün yüklenmesi sonrasında ise treyler sefere başlar ve sefer süresi boyunca soğutma ünitesi aralıklı olarak çalışır. Soğutma ünitesinin çalışmaya başlaması ve çalışmasını durdurması, treyler içerisindeki ürünün sıcaklığına bağlı olarak soğutucunun kontrol ünitesi tarafından kontrol edilir.

Geleneksel sistemde, treylerin boşken soğutulmasında ve treyler içerisinde ürün varken ürünün soğutulmasında dizel motorla üretilen elektrik enerjisi kullanılır. Dizel motorda üretilen elektrik enerjisi soğutma ünitesinin bataryasında depolanır. Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminde, geleneksel sistemden farklı olarak, treyler içinde yapılacak tüm soğutma işlemlerinde treyler yüzeylerine yerleştirilen güneş panelleri de kullanılır. Soğutma ünitesinin bataryası hem dizel motorun ürettiği elektrikle hem de güneş panelleriyle üretilen elektrikle beslenecektir. Bir bataryanın iki farklı kaynaktan beslenebilmesi için çoklu invertör (multiple inverter) kullanılır. Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin konsept tasarımı, Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin konsept tasarımı [28]

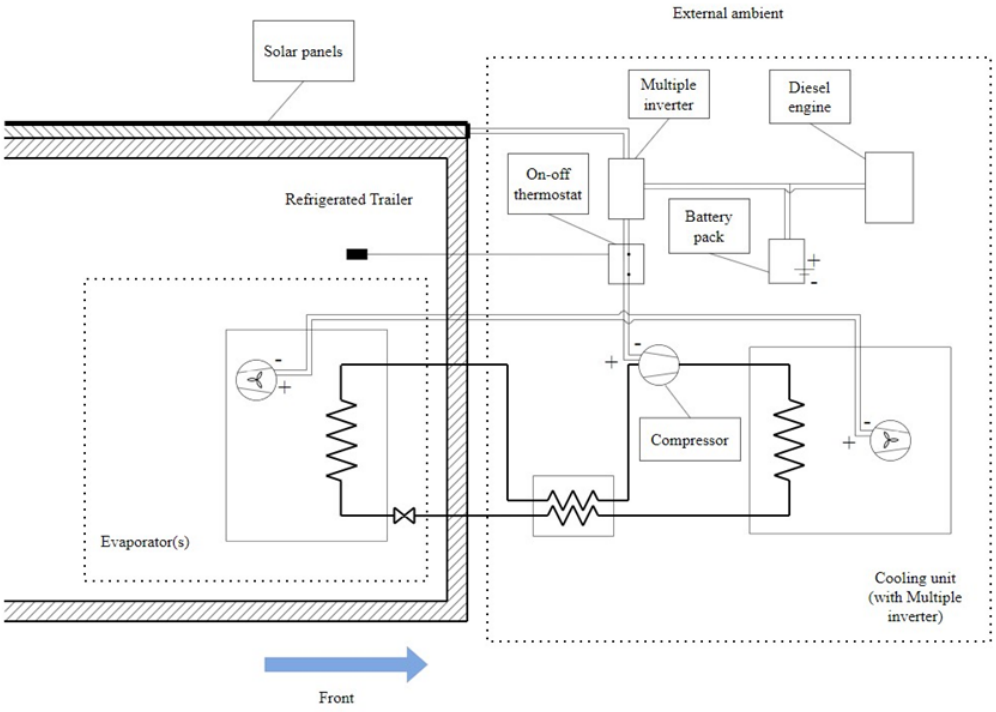
5.1 Sistem Şeması

Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminde geleneksel sistemde kullanılan bir soğutmalı treylerin üst ve yan yüzeylerine güneş panelleri yerleştirildiği varsayılmıştır. Amorf Silisyum güneş panelleri, esnek yapısı sayesinde zor yüzeylerde kolay uygulanabilmesi ve montaj kolaylığı sebebiyle bu çalışmada tercih edilmiştir.

Geleneksel sistemde soğutma kompresörü, dizel motor tarafından üretilen elektrikle beslenir. Dizel motorda üretilen elektrik bataryada düzenlenir ve depolanır. Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminde ise treylerin yüzeylerinde yer alan güneş panelleri, günlük güneş ışınımı süresi boyunca elektrik üretir. Üretilen elektrik, çoklu invertörde düzenlendikten sonra soğutma ünitesinin bataryasında depolanır. Soğutma ünitesi içinde yer alan batarya dizel motor ve aynı zamanda treyler yüzeylerine yerleştirilen güneş panelleri ile beslenir. Dizel motorda ve treyler yüzeylerine yerleştirilen güneş panellerinde üretilen elektrik enerjisi çoklu invertörde düzenlenerek bataryada depolanır.

Geleneksel sistemde soğutma ünitesinin çalışması treylerin içinde yer alan termostat ile kontrol edilmektedir. Sıcaklık istenen değerin üstüne çıktığında dizel motor çalışır ve üretilen elektrikle treylerin içi istenen sıcaklığa düşürülür. Sonrasında dizel motor stand-by konumunda bekler. Yani soğutma ünitesi sefer süresince sürekli çalışmaz, aralıklı çalışır. Güneş enerjisi destekli soğutma

sisteminde ise günlük güneşlenme süresi boyunca güneş panelleri tarafından elektrik üretilir. Böylece soğutma ünitesinin çalışmasına ihtiyaç duyulmadığı zamanlarda da yakıt tüketmeden ve emisyon üretmeden soğutma ünitesinin bataryası doldurulabilir. Treylerin içinde soğutma ihtiyacı olduğunda bataryanın şarj seviyesi yeterli ise dizel motor çalıştırılmadan veya (bataryanın şarj seviyesine bağlı olarak) geleneksel sisteme göre daha az çalıştırılarak treylerin içi soğutulabilir. Güneş enerjisi destekli soğutma sistemi, şematik olarak Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



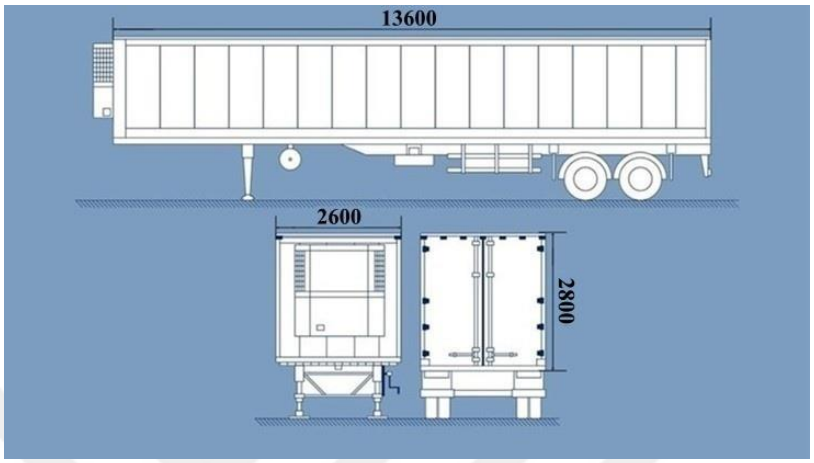
Şekil 5.2 Güneş enerjisi destekli soğutma sistemi

5.2 Metodoloji

Soğutmalı ürün taşımacılığında üretici firmaların tasarladığı özel yalıtım malzemeleriyle yalıtılmış soğutmalı treyler kullanılır. Bu treylerler genellikle tek katlı ve çift katlı olarak ikiye ayrılır. Ayrıca canlı çiçek taşımacılığı için özel bir tek katlı soğutmalı treyler türü de tasarlanmıştır.

Bu çalışmada seçilen treyler, ölçüleri standart olarak belirlenmiş treylerler arasından seçilmiştir. Standart treylerde dış uzunluk 13,600 m, dış genişlik 2,600 m ve dış yükseklik 2,800 m'dir. Standart treylerde iç uzunluk 13,385 m, iç genişlik 2,460 m ve iç yükseklik 2,650 m'dir. Treylerin taşıyabileceği maksimum yük

miktarı uluslararası mevzuatlara göre belirlenmiştir. Bu miktar, taşınacak ürünün cinsine, ürünün treyler içerisine yüklenme şekline, treylerin sefer süresine ve bu sefer sırasında kullanılacak olan yollara bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu çalışma içerisinde treyler içerisinde 20 ton yük olduğu kabul edilmiştir. Soğutmalı treyler, şematik olarak Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Soğutmalı treyler [29]

Treylerin soğutulması için kullanılan soğutma ünitesi, treylerin sürüş yönüne göre ön yüzeyine yerleştirilmiştir. Soğutma ünitesinin treyler dışında yer alan temel parçaları, soğutucu akışkana güç sağlayan bir kompresör, bu kompresöre güç sağlayacak elektriği üretecek bir dizel motor, dizel motor tarafından üretilen elektriğin depolanacağı bir akü, yakıt deposu ve bir kontrol ünitesidir. Soğutma ünitesinin yakıt deposu, çekici aracın yakıt deposundan ayrıdır ve genellikle treyler üzerine soğutma ünitesine yakın olacak şekilde yerleştirilir.

Soğutma ünitesinin treyler içerisinde yer alan parçaları ise evaporatörler, termometreler ve fan bileşenleridir. Soğutma ünitesi, sefer süresi boyunca sürekli çalıştırılan bir sistem değildir. Treyler içerisinde yer alan ürünün tavsiye edilen muhafaza sıcaklığına ulaştığı durumda kontrol ünitesi aracılığıyla sistemin çalışması durdurulur. Ürün, izin verilen tolerans sıcaklığı kadar ısındığında ise sistem tekrar devreye girerek ürünü soğutur. Bazı soğutma ünitelerinde bir kontrol paneli de bulunur ve bu kontrol paneline güç sağlamak için düşük kapasiteli güneş panelleri de kullanılır.

Bu çalışmada seçilen soğutma ünitesi, piyasada satış sayısı yüksek modellerden biri olarak seçilmiştir. Bu modelin katalog verilerine göre ünitenin soğutma gücü 17,9

kW'tır. Evaporatör dönüş havası sıcaklığı -20 °C ve seçilen evaporatör yerleşimine bağlı olarak dönüş havası debisi 9,5 m/s'dir [30]. Soğutma ünitesi, AGM (emici cam mat) kurşun asit bataryaya sahiptir. Kurşun asit bataryadan farklı olarak AGM bataryada pozitif ve negatif plakalar arasında bir cam elyaf ayırıcı bulunur ve bu ayırıcı plaka akü asidinin tamamının emilmesine yardımcı olur. Böylece AGM batarya, standart kurşun asit bataryalara göre daha verimli çalışır ve sık şarj-deşarj koşullarına karşı daha dayanıklı olur. Soğutma ünitesi, otomatik kontrol birimiyle treyler içerisindeki dönüş havası sıcaklığını ve dönüş havasının treyler içinde dolaştıktan sonraki son sıcaklığını ölçebilir. Bu sıcaklık verilerine göre sefer süresi boyunca motorun aralıklı çalışma durumuna karar verir. Ayrıca son güncellemelerle birlikte motor durumu ve treylerin iç sıcaklığı gibi veriler şoförün sürüş ekranında da görüntülenebilir ve kontrol edilebilir. Soğutma ünitesi, Şekil 5.4'te gösterilmiştir.

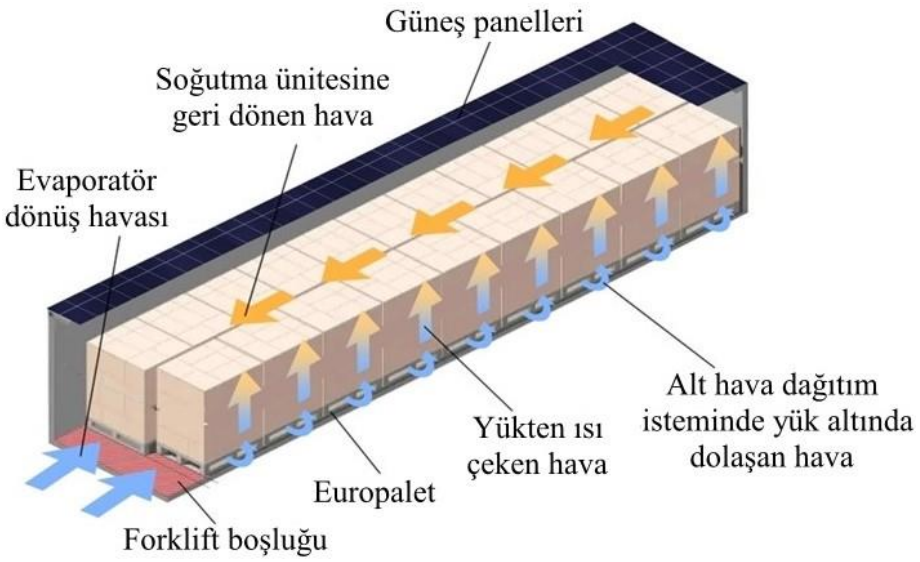


Şekil 5.4 Soğutma ünitesi [30]

Treyler ve soğuta ünitesi seçiminden sonra treylere yükleneceği varsayılan ürün seçilmiştir. Soğutmalı ürün taşımacılığında, treyler sefer sırasında sadece bir ürün taşımak durumunda değildir. Hava perdeleriyle ayrılmış farklı bölgelerde farklı muhafaza sıcaklıklarında ürünler taşınabilir. Bu çalışmada, treylerin tek bir ürünle yüklü olduğu varsayılmıştır. Dondurulmuş balık, düşük muhafaza sıcaklığı sebebiyle treylerin sefer süresi boyunca soğutma için tüketilecek yakıtın fazla olduğu bir üründür. Bu sebeplerle, çalışma kapsamında yapılacak hesaplamalarda treylerin sadece dondurulmuş balıkla yüklü olduğu kabul edilmiştir.

Ürünlerin treyler içerisine yerleştirilmesi için literatürde çalışmalar yapılmış ve ürün özelliklerine bağlı olarak yükleme türleri önerilmiştir. Bu yükleme türlerinden ürün için uygun olanın kullanılmasıyla dönüş havasının tüm ürüne eşit olarak dağıtılması ve ürünün bir bütün olarak soğutulması amaçlanmaktadır. Ayrıca havanın ürünün tümüne eşit olarak ulaştırılabilmesi için ürünün yüklendiği zemin için de farklı tasarımlar mevcuttur. Literatür incelendiğinde dondurulmuş ürünler için merkez yüklemenin önerildiği görülmüştür [19]. Bu sebeple ürünün yükleme türü olarak merkez yükleme seçilmiştir.

Yükleme zemin türü olarak da düz zemin üzerine Europalet yükleme yapıldığı kabul edilmiştir. Düz zemin üzerine Europlaet kullanıldığı için (uygulamada da tercih edildiği gibi) soğutucudan çıkan dönüş havasının yükün alt kısmından geçerek treyler içerisinde dolaştığı alttan hava dağıtım sistemi tercih edilmiştir. Böylece, üstten hava dağıtım sisteminde ihtiyaç duyulan hava perdesi kullanılmayacak ve treyler daha fazla ürünle yüklenebilecektir. Alttan hava dağıtım sistemiyle yükün alt tarafından geçerek treyler içerisinde dolaşan dönüş havası, ürünün yan yüzeyleri ile treylerin iç yüzeyi arasında merkez yüklemeden dolayı bırakılan boşluklardan yukarı yönlü akarak yükü soğutacaktır. Yükün ısısını çeken dönüş havası, yükün üstünden soğutucuyu üniteye geri dönecektir. Ürünün treylere yüklenme şekli ve hava dağıtım sistemi, şematik olarak Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Ürünün treylere yüklenme şekli ve hava dağıtım sisteminin şematik gösterimi

Soğutmalı ürün taşımacılığında kullanılan araçlar genellikle taşınacak ürüne ve taşıma mesafesine göre belirlenir. Kısa mesafeli taşımacılık için treylerlerden daha çok soğutmalı kamyonlar tercih edilir. Soğutmalı kamyonların soğutucu kapasiteleri soğutmalı treylerlere göre daha düşük olmakla birlikte ürünün yüklenmesi ve soğutulması süreçleri benzerdir.

Treylerin boyutları, soğutma ünitesi ve evaporatör tipi, ürün ve yükleme şekli seçildikten sonra treylerin rotası belirlenmiştir. Treylerin rotası, treylerin yol aldığı süre boyunca üst ve yan yüzeylerinde yer alan güneş panellerinin üreteceği elektrik miktarının belirlenmesi için önemlidir. Güneş radyasyonunun elektrik üretimi için uygun olduğu her durumda paneller elektrik üretecektir. Yani panellerin elektrik üretmesi için treylerin soğutma ünitesinin çalışır durumda olmasına gerek yoktur. Treylerin soğutma ünitesi çalışmıyor durumdayken, treylerin boşken soğutulmasında veya treyler içerisindeki ürünün soğutulmasında (eğer güneş radyasyonu değeri uygunsa) güneş panelleriyle elektrik üretilebilir. Güneş panelleriyle üretilen elektrik, sistem içerisinde yer alan çoklu invertörden geçerek düzenlenir ve bataryada depolanır.

Bu çalışmada, güneş radyasyonundan elektrik üretiminin belirlenebilmesi için treylerin İstanbul şehri içerisinde sefer yaptığı varsayılmıştır. Böylece, güneş radyasyonuyla üretilen elektriğin yılın hangi aylarında daha çok hangi aylarında daha az olacağı belirlenmiştir.

6
MATEMATİK MODEL

Önerilen sistem, treyler yüzeylerinde yer alan güneş panelleriyle üretilen elektriğin soğutma ünitesinde depolanmasına ve treylerin soğutulması işleminde kullanılmasına dayanır. Bu sebeple matematik model oluşturulurken öncelikle treyler boşken ve treyler seçilen ürünle yüklü haldeyken soğutma yükü hesaplanmıştır. Sonrasında seçilen treylerin güneş paneli yerleştirilen yüzeylerinin alanı hesaplanmış ve treylerin sefer yapacağı şehirdeki güneş açılarına bağlı olarak elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarları hesaplanmıştır. Önerilen sistemin verim hesabıyla yakıt tasarrufu belirlenmiştir. Yakıt tasarrufuna bağlı olarak azaltılabilecek emisyon miktarı da hesaplanmıştır. Son olarak önerilen sistemin maliyeti belirlenmiştir.

6.1 Soğutma Yükü Hesaplamaları

Soğutma ünitesi kataloglarında soğutma ünitesinin performans verileri paylaşılırken treylere dış ortamdan ısı geçişi de hesaplamalara dahil edilmiştir. Bu nedenle güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin geleneksel sistemle karşılaştırılmasında matematik model oluşturulurken karşılaştırmanın doğruluğunu sağlayabilmek için treyler yüzeylerinin mükemmel yalıtımlı olmadığı yani treylerin içerisinde bulunduğu dış ortamdan treylerin iç kısmına ısı geçişi olduğu kabul edilmiştir.

Treyler üreticisi şirketler, treyler yüzeyleri için yaptıkları geliştirme çalışmaları sonucu üretilen özgün polimer malzemeleri kullanarak ısı transfer katsayısını düşürmek için çalışmaktadırlar.

Soğutma yükü hesabı, aracın boş olduğu durum için ve seçilen ürün olan dondurulmuş balıkla yüklü olduğu durum için hesaplanmıştır. Piyasan seçilen

soğutma ünitesinin 20 °C dış ortam sıcaklığı için teknik özellikleri, Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1 Piyasadan seçilen soğutucunun teknik özellikleri [30]

Özellik	**Değer**
Motorun maksimum soğutma gücü	17,9 kW
Motorun kapasitesi (Evaporatör dönüş havası -20 °C iken)	7,9 kW
Motorun verimi	%31,23
Treyler boşken soğutma havası debisi	5000 m^3/h
Treyler boşken soğutma havası hızı	14 m/s
Treyler boşken +20 °C'den -20 °C'ye soğutulma süresi	2,5 h

6.1.1 Treylerin Boşken Soğutulması

Geleneksel sistemde treyler, içerisine ürün yüklenmeden önce ürünün muhafaza sıcaklığına kadar boş halde soğutulmaktadır. Bu soğutma işlemi treylerin tamamında yapılabileceği gibi treylerin bir bölümü yalıtım perdesiyle kapatılarak da yapılabilir. Yalıtım perdesinin kullanımıyla treyler içerisinde iki veya üç farklı sıcaklık alanı oluşturulabilir. Bu çalışma kapsamında treylerin boşken soğutulmasında treyler iç hacminin tümünün soğutulduğu varsayılmıştır.

Treylerin boş olduğu durum için geleneksel sistemle güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin performansının karşılaştırılması için oluşturulan matematik modelde treylerin içerisindeki havanın soğutulması için gerekli soğutma yükü ve dış ortam kaynaklı ısı yükü de hesaplanmıştır. Treylerin iç hacmi ($V_{trailer}$) (6.1) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$V_{trailer} = L_{in} * H_{in} * W_{in} \tag{6.1}$$

Burada L_{in} treylerin iç yüzey uzunluğudur. H_{in} treylerin iç yüzey yüksekliğidir. W_{in} treylerin iç yüzey genişliğidir. Treylerin iç hacminin soğutulması için gerekli enerji ($Q_{trailer}$) (6.2) eşitliği kullanılarak belirlenebilir [31].

$$Q_{trailer} = V_{trailer} * \rho_{air} * c_p * \Delta T \tag{6.2}$$

Burada ρ_{air} havanın yoğunluğudur. c_p havanın özgül ısısıdır. ΔT dış ortamla treylerin içi arasındaki sıcaklık farkıdır. Treyler yüzeylerinin dış ortam kaynaklı kazandığı ısı yükü ($\dot{Q}_{cond}$) (6.3) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{k_{tr} * (2 * (H_{tr} * L_{tr} + W_{tr} * L_{tr}) + W_{tr} * H_{tr}) * \Delta T}{l_{trailer}} \tag{6.3}$$

Burada $l_{trailer}$ treylerin dış yüzeylerinin kalınlığıdır. k_{tr} treylerin dış yüzeylerinin ısı iletim katsayısıdır. W_{tr} treylerin dış yüzey genişliğidir. L_{tr} treylerin dış yüzey uzunluğudur. H_{tr} ise treylerin dış yüzey yüksekliğidir.

Treylerin boşken soğutulması için gerekli soğutma yüküne ve soğutma zamanına bağlı olarak treylerin boşken soğutulması için gerekli toplam enerji hesaplanır. Soğutma ünitesi üreticisinin kataloğuna göre treylerin boşken soğutulması 150 dakika sürmektedir [30]. Buna göre treylerin boşken soğutulması için gerekli toplam enerji (Q_{empty}) (6.4) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$Q_{empty} = Q_{trailer} + \dot{Q}_{cond} * t_{empty} \tag{6.4}$$

Burada t_{empty} treylerin boşken soğutulma süresidir. Treylerin boşken soğutulmasında soğutma gücü ($\dot{Q}_{empty}$) (6.5) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\dot{Q}_{empty} = {Q_{empty}}\Big/{t_{empty}} \tag{6.5}$$

Soğutma ünitesinin motor gücü $\dot{W}_{engine}$ (6.6) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\dot{W}_{engine} = {\dot{W}_{comp}}\Big/{\eta_{diesel}} \tag{6.6}$$

Burada $\dot{W}_{comp}$ soğutma ünitesi motorunun kompresör kapasitesidir. η_{diesel} ise soğutma ünitesi motorunun verimidir. Treylerin boşken soğutulması için soğutma

ünitesi motorunun tüketeceği enerji ($W_{engine\ empty}$) (6.7) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$W_{engine\ empty} = \dot{W}_{engine} * t_{empty} \tag{6.7}$$

Treylerin boşken soğutulması işleminde soğutma ünitesi motorunun tüketeceği yakıt ($m_{fuel\ empty}$) (6.8) eşitliği kullanılarak belirlenebilir [31].

$$m_{fuel\ empty} = {W_{engine\ empty} * 1000}\Big/{HV * \rho_{diesel}} \tag{6.8}$$

Burada HV, yakıtın ısıl değeridir ve soğutma ünitesi motorunun kullandığı dizel yakıt için bu değer 42636 kJ/kg'dır. Ayrıca dizel yakıtın yoğunluğu (ρ_{diesel}) 830 kg/m^3'tür [32].

6.1.2 Treylerin Ürünle Yüklüyken Soğutulması

Treyler ürünle yüklendiğinde seçilen yükleme türü ve soğutma için seçilen evaporatör yerleşimi soğutma performansında etkili olmaktadır. Bu çalışma kapsamında seçilen ürün olan dondurulmuş balığın literatürde donmuş ürünler için önerilen yöntem olan merkez yükleme ile treylere yüklendiği varsayılmıştır. Zemin türü olarak ise düz zemin üzerine Europalet kullanıldığı varsayılmıştır.

Evaporatör seçimi, soğutma ünitesiyle birlikte piyasada kullanımı yaygın olan tip ve yerleşimler incelenerek yapılmıştır. Yaygın uygulamalar arasında farklı tipte evaporatörlerin aynı anda kullanıldığı durumlar (çoklu soğutma uygulamalarında) olduğu gibi sadece soğutma ünitesi evaporatörünün kullanıldığı durumlar da mevcuttur. Treylerin ürünle yüklüyken soğutulması hesaplamalarında kullanılan teknik veriler Tablo 6.2'de gösterilmiştir [30],[31],[36],[37],[38].

Tablo 6.2 Ürünün soğutulmasında kullanılacak teknik veriler

Özellik	Değer
Soğutma havası sıcaklığı	-20 °C
Treyler ürünle yüklüyken soğutma havası hızı	9,5 m/s

Tablo 6.2 Ürünün soğutulmasında kullanılacak teknik veriler (devamı)

Özellik	Değer
Soğutma havası sıcaklığı	-20 °C
Treyler ürünle yüklüyken soğutma havası hızı	9,5 m/s
Treyler ürünle yüklüyken soğutma havası debisi	4680 m^3/h
Dondurulmuş balık için özgül ısı	1,65 kJ/kg*K
Dondurulmuş balık için ısı yayınım katsayısı	$6,42*10^{-7}$ m^2/s
Dondurulmuş balık için ısı iletim katsayısı	1,428 W/m*K
Treyler dış yüzeylerinin ısı iletim katsayısı	0,31 W/m*K

Soğutma havası, yükün yan yüzeylerinden akacak ve yüzeylerin ısı taşınımıyla soğumasının ardından yükün iç kısımları da ısı iletimiyle soğutulacaktır. Soğutma işlemi süresince treylerin içi dış ortam sıcaklığından kaynaklı olarak ısı iletimiyle ısınacaktır. Ürün, önerilen muhafaza şartlarına uygun olarak en yüksek -15 °C sıcaklığında treylere yüklenir [26]. Ürünün tamamı, -15 °C sıcaklığında bir blok olarak kabul edilmiştir. Soğutma havası sıcaklığı -20 °C'dir [30]. Ürün, önerilen muhafaza şartlarına uygun olarak -18 °C sıcaklığında olmalıdır [26]. Isı taşınımıyla ürün yüzeylerinin soğutulabilmesi için öncelikle film sıcaklığı belirlenmelidir. Film sıcaklığı (T_f) (6.9) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$T_f = {(T_\infty + T_s)}/{2} \tag{6.9}$$

Burada T_∞ soğutma havası sıcaklığı ve T_s ürünün sıcaklığıdır. Film sıcaklığının belirlenmesinin ardından taşınımla ısı transferinin hesaplanmasında kullanılan boyutsuz sayılardan biri olan Reynolds sayısı (Re) (6.10) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$Re = {v_{ev} * H_{pr}}/{\nu_{ev}} \quad (6.10)$$

Burada ν_{ev} soğutma havasının kinematik viskozitesidir. L_{pr} ürünün yükleme uzunluğudur. v_{ev} soğutma havasının akış hızıdır. Reynolds sayısının hesaplanmasından sonra taşınımla ısı transferi hesaplamalarında kullanılan bir diğer boyutsuz sayı olan Nusselt sayısı (Nu) (6.11) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$Nu = 0{,}0308 * Re^{0,8} * Pr^{1/3} \quad (6.11)$$

Burada Pr Prandtl sayısıdır. Nusselt sayısına bağlı olarak soğutma havasının ısı taşınım katsayısı (h) (6.12) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$h = {Nu * k}/{H_{pr}} \quad (6.12)$$

Burada k soğutma havasının ısı iletim katsayısıdır. Taşınımla ısı transfer katsayısının bulunmasının ardından ürün yüzeyinin taşınımla soğutulması için gerekli soğutma yükü ($\dot{Q}_{conv}$) (6.13) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\dot{Q}_{conv} = 2 * h * L_{pr} * H_{pr} * \Delta T_{product} \quad (6.13)$$

Burada H_{pr} ürünün yükleme yüksekliğidir. $\Delta T_{product}$ ise ürünün muhafaza sıcaklığıyla treyler içerisindeki soğutma havası sıcaklığının farkıdır. Ürün yüzeyinin -18 °C'ye soğutulmasının ardından ürünün iç yüzeylerinin ısı iletimiyle soğutulması için gerekli soğutma yükü ($\dot{Q}_{cond\ product}$) (6.14) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\dot{Q}_{cond\ product} = {4 * k_{product} * L_{pr} * H_{pr} * \Delta T_{product}}/{W_{pr}} \quad (6.14)$$

Burada W_{pr} ürünün yükleme kalınlığıdır. $k_{product}$ ise ürünün ısı iletim katsayısıdır. Treylerin ürünle yüklenmesinin ardından treyler içerisinde kalan hava hacmi (V_{inner}) (6.15) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$V_{inner} = L_{in} * H_{in} * W_{in} - L_{pr} * H_{pr} * W_{pr} \quad (6.15)$$

Ürünün treyler içinde soğutulması sırasında treyler içerisinde kalan hava da soğutulacaktır. Treylerin yük harici iç havasının soğutulması için gerekli enerji (Q_{inner}) (6.16) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$Q_{inner} = V_{inner} * \rho_{air} * c_p * \Delta T_{product} \tag{6.16}$$

Treyler içerisinde yer alan ürünün soğutulması için gerekli enerji ($Q_{product}$) (6.17) eşitliği kullanılarak belirlenebilir [31].

$$Q_{product} = m_{product} * c_{p\,product} * \Delta T_{product} \tag{6.17}$$

Burada $m_{product}$ treyler içerisine yüklenen ürünün ağırlığıdır. $c_{p\,product}$ treyler içerisine yüklenen ürünün özgül ısısıdır. Treyler içerisine yüklenen ürünün soğutulması için gereken süre ($\Delta t_{product}$) (6.18) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\Delta t_{product} = {Q_{product} + Q_{inner}}\Big/{(\dot{Q}_{cooling} * 1000 - \dot{Q}_{cond})} \tag{6.18}$$

Geleneksel sistemde treyler içerisindeki ürünün sıcaklığı ürün yüzeylerinden ölçülmektedir. Fakat ürünün iç yüzeylerinin de önerilen muhafaza sıcaklığını koruması gerekmektedir [19]. Bu sebeple ürünün merkez sıcaklığı soğutma zamanına bağlı olarak zamana bağlı ısı iletimiyle hesaplanmıştır. Büyük düzlem duvar ve tek yönde ısı iletimi kabulüyle Biot sayısı (Bi) (6.19) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$Bi = {h * L_{pr}}\Big/{k_{product}} \tag{6.19}$$

Hesaplanan Biot sayısına bağlı olarak λ_1 ve A_1 sabitleri belirlenir. Sabitlerin belirlenmesinin ardından Fourier sayısı (τ) (6.20) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\tau = {\Delta t_{product} * \alpha_{pr} * 4}\Big/{L_{pr}{}^2} \tag{6.20}$$

Burada α_{pr} ürünün ısı yayınım katsayısıdır. Fourier sayısının hesaplanmasının ardından ürünün merkez sıcaklığı (T_0) (6.21) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$T_0 = A_1 * e^{-\lambda_1{}^2 * \tau} * (T_i - T_\infty) + T_\infty \tag{6.21}$$

Burada T_i ürünün iç yüzey sıcaklığı ve T_∞ evaporatör dönüş havası sıcaklığıdır. Ürünün iç yüzeyinin muhafaza sıcaklığına soğutulması için gerekli enerji Heisler Diyagramı kullanılarak Biot ve Fourier sayılarının bilinmesiyle elde edilebilir [39]. Fakat bu çalışmada kötü koşulun sağlanması için maksimum ısı transfer miktarı kullanılmıştır.

Geleneksel sistemde treylerin ürünle yüklüyken soğutulması işlemi için gerekli enerji (Q_{loaded}) (6.22) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$Q_{loaded} = Q_{product} + Q_{inner} + \dot{Q}_{cond} * \Delta t_{product} \quad (6.22)$$

6.2 Güneş ışınımı hesaplamaları

Güneş ışınımı hesaplamaları, bu çalışma için seçilen şehir olan İstanbul şehrinde yılın 12 ayı için hesaplanmıştır. Treylerin üst yüzeyinde yer alan güneş panelleri için yatay yüzeye düşen günlük ve anlık güneş ışınımı hesaplamaları yapılmıştır. Treylerin yan yüzeylerinde yer alan güneş panelleri içinse eğimli yüzeye düşen günlük ve anlık güneş ışınımı hesaplamaları yapılmıştır. İstanbul için güneş açıları Tablo 6.3'te gösterilmiştir.

Tablo 6.3 İstanbul için güneş açıları [16]

Açı	Sembol	Değer
Enlem Açısı	φ	41,14°
Yükseklik	z	33m
1 Ocaktan İtibaren Gün Sayısı	n	162 (Temmuz ayı için)
İzafi Güneşlenme Süresi	n/N	0,73

Bu değerler kullanılarak deklinasyon açısı (3.2) eşitliği kullanılarak belirlenir. Deklinasyon açısının belirlenmesinden sonra güneş batış saat açısı da (3.6) eşitliği kullanılarak belirlenir.

Bir yüzeye düşen güneş ışınımı hesaplamaları, öncelikle atmosfer dışında yatay bir yüzeye düşen günlük güneş ışınımının belirlenmesiyle başlar. Atmosfer dışında yatay bir yüzeye düşen güneş ışınımı (3.10) eşitliği kullanılarak belirlenir. Sonrasında (3.12) eşitliğinde yer alan a ve b sabitlerinin belirlenmesi gerekir. a sabiti (3.13) eşitliği ve b sabiti de (3.14) eşitliği kullanılarak belirlenir. Belirlenen sabitler yerlerine yazıldığında atmosfer içerisinde yer alan bir yüzeye düşen günlük güneş ışınımı (3.12) eşitliği kullanılarak belirlenir.

Anlık güneş ışınımı hesaplamaları için 14:00-16:00 aralığı seçilmiştir. Saat açısı (3.3) eşitliği kullanılarak belirlenir. Saat açısına bağlı olarak anlık güneş ışınımı için a ve b sabitleri ise (3.16) ve (3.17) eşitlikleri kullanılarak belirlenir.

Saat açısı ve ampirik sabitlerin belirlenmesinin ardından yatay düzleme düşen anlık güneş ışınımının yatay düzleme düşen günlük güneş ışınımına oranı (3.18) eşitliği kullanılarak belirlenir. Bu oranın belirlenmesinin ardından yatay yüzeye düşen anlık güneş ışınımı da hesaplanır. Böylece, yatay yüzeye düşen günlük ve anlık ışınımın belirlenmesinin ardından eğimli yüzeye düşen günlük ışınım da belirlenmiştir.

Eğimli yüzeye düşen günlük ışınımın belirlenmesinin ardından eğimli yüzeye düşen anlık ışınımın belirlenmesi için öncelikle geometrik faktör belirlenmelidir. Geometrik faktörün belirlenmesinde kullanılacak olan güneş geliş açısı (3.4) eşitliği kullanılarak belirlenir. Zenit açısı ise (3.5) eşitliği kullanılarak belirlenir. Yüzey eğimli olduğu için güneş geliş açısı zenit açısına eşit olmayacaktır. Geometrik faktör, (3.21) eşitliği kullanılarak belirlenir. Geometrik faktörün sıfırdan küçük çıkması durumunda hesaplamaların yapıldığı saat aralığı için istenen yüzeyin anlık direkt güneş ışınımı almadığı belirlenir.

Eğimli yüzeye düşen anlık direkt güneş ışınımı (3.23) eşitliği kullanılarak belirlenir. Geometrik değerin negatif olmasından dolayı bu değerin de negatif çıkması durumunda belirlenen saat aralığında incelenen yüzeyin anlık direkt güneş ışınımı tespit edilir. Eğimli yüzeye düşen anlık yayılı güneş ışınımı (3.24) eşitliği kullanılarak belirlenir ve aynı şekilde eğimli yüzeye düşen anlık yansıyan güneş ışınımı (3.25) eşitliği kullanılarak belirlenir. Eğimli yüzeye düşen anlık toplam güneş ışınımı ise direkt güneş ışınımı, yayılı güneş ışınımı ve yansıyan güneş ışınımlarının toplamıdır ve (3.26) eşitliği kullanılarak belirlenir.

Treylerin üst yüzeyine düşen güneş ışınımı, yatay yüzeye düşen günlük ve anlık güneş ışınımı hesaplamaları kullanılarak belirlenebilir. Işınım hesaplamasının ardından treylerin üst yüzeyinde güneş panellerinin yerleştirileceği alan belirlenir ve böylece treylerin üst yüzeyinden elde edilebilecek enerji belirlenmiş olur.

Treylerin yan yüzeylerine düşen güneş ışınımı için ise eğimli yüzeye düşen günlük ve anlık güneş ışınımı değerleri kullanılır. Treylerin yan yüzeylerinin eğimi 90° olduğundan hesaplamalarda eğim açısı olarak bu değer kullanılır. Treylerin üst yüzeyinde olduğu gibi yan yüzeylerde güneş panellerinin yerleştirileceği alanın belirlenmesinden sonra treylerin yol üzerindeki coğrafi konumuna bağlı olarak elde edilebilecek enerji belirlenmiş olur.

6.3 Yakıt Tasarrufu ve Azaltılan Emisyon Hesaplamaları

Yakıt tasarrufu ve bu tasarrufa bağlı olarak azaltılabilecek emisyonun miktarı treylerin boşken soğutulması veya ürünle yüklüyken soğutulması durumlarında farklılık gösterecektir. Yakıt tasarrufunu sağlayan temel etken soğutma için gerekli olacak enerjinin bir kısmının soğutma ünitesi içerisinde yer alan dizel motor ile üretilmesi bir kısmının da güneş panelleriyle sağlanacak olmasıdır. Böylece, güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle çalışan bir treylerin dizel motoru aynı soğutma işlemi için geleneksel sistemde yer alan dizel motora göre daha az çalışacaktır. Böylece daha az yakıt tüketilecek ve emisyon miktarı azaltılacaktır.

6.3.1 Treylerin Boşken Soğutulmasında Yakıt Tasarrufu

Treylerin boşken soğutulması, soğutma ünitesi kataloğuna göre 150 dakika sürmektedir [22]. Bu sebeple öncelikle anlık toplam güneş ışınımıyla elde edilebilecek yakıt tasarrufu hesaplanmıştır. Anlık güneş ışınımının hesaplanması için 14:00-16:00 saat aralığı kullanılmıştır. Anlık güneş ışınımıyla elde edilebilecek toplam enerji ($Q_{instant\ solar}$) (6.23) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$Q_{instant\ solar} = I * L_{tr} * W_{tr} + (I_{left\ side} + I_{right\ side}) * H_{tr} * L_{tr} \qquad (6.23)$$

Burada $I_{left\ side}$ treylerin sürüş yönüne göre sol yüzünde yer alan güneş panellerine düşen anlık güneş ışınımıdır. $I_{right\ side}$ treylerin sürüş yönüne göre sağ yüzünde yer alan güneş panellerine düşen anlık güneş ışınımıdır. Geleneksel sistemde treylerin boşken soğutulması işlemi için soğutma ünitesi motorunun tüketeceği

enerji (6.7) eşitliği kullanılarak belirlenir. Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin anlık güneş ışınımıyla kullanılması durumunda treylerin boşken soğutma süresi içerisinde soğutma ünitesi dizel motorunun çalışacağı süre ($t_{empty\ instant\ solar}$) (6.24) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$t_{empty\ instant\ solar} = {(Q_{empty} - Q_{instant\ solar})}/{\dot{Q}_{empty}} \tag{6.24}$$

Güneş enerjisi desteli soğutma sisteminde dizel motor, aynı soğutma işi için geleneksel sisteme göre daha kısa süre çalışacaktır. Treylerin boşken soğutulmasında geleneksel sistemle çalışan dizel motorun tüketeceği yakıt miktarı (6.8) eşitliği kullanılarak belirlenir. Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin anlık güneş ışınımıyla kullanılması durumunda soğutma ünitesi dizel motorunun treylerin boşken soğutulmasında tüketeceği yakıt ($m_{fuel\ empty\ instant\ solar}$) (6.25) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$m_{fuel\ empty\ instant\ solar} = \frac{\dot{W}_{engine} * t_{empty\ instant\ solar} * 1000}{HV * \rho_{diesel}} \tag{6.25}$$

Güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle anlık güneş ışınımının kullanılmasıyla treylerin boş olduğu durumda tasarruf edilebilecek yakıt miktarı ($\Delta m_{fuel\ empty\ instant}$) (6.26) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\Delta m_{fuel\ empty\ instant} = m_{fuel\ empty} - m_{fuel\ empty\ instant\ solar} \tag{6.26}$$

Treylerin boşken soğutulması geleneksel sistemle 150 dakika sürmesine karşın matematik model oluşturulurken treylerin boşken soğutulması için gerekli enerji ile günlük güneş ışınımıyla elde edilebilecek enerji de karşılaştırılmıştır. Günlük güneş ışınımıyla elde edilebilecek toplam enerji ($Q_{daily\ solar}$) (6.27) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$Q_{daily\ solar} = H * L_{tr} * W_{tr} + (H_{left\ side} + H_{right\ side}) * H_{tr} * L_{tr} \tag{6.27}$$

Burada $H_{left\ side}$ treylerin sürüş yönüne göre sol yüzünde yer alan güneş panellerine düşen günlük güneş ışınımıdır. $H_{right\ side}$ treylerin sürüş yönüne göre sağ yüzünde yer alan güneş panellerine düşen günlük güneş ışınımıdır. Geleneksel sistemde treylerin boşken soğutulması işlemi için soğutma ünitesi motorunun

tüketeceği enerji (6.7) eşitliği kullanılarak belirlenir. Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin günlük güneş ışınımıyla kullanılması durumunda treylerin boşken soğutma süresi içerisinde soğutma ünitesi dizel motorunun çalışması gerekmeyen süre ($t_{empty\ daily\ solar}$) (6.28) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$t_{empty\ daily\ solar} = {(Q_{daily\ solar} - Q_{empty})}/{\dot{Q}_{empty}} \tag{6.28}$$

Treylerin boşken soğutulmasında geleneksel sistemle çalışan dizel motorun tüketeceği yakıt miktarı (6.8) eşitliği kullanılarak belirlenir. Güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle günlük güneş ışınımının kullanılması durumunda tasarruf edilebilecek yakıt miktarı ($m_{fuel\ empty\ daily\ solar}$) (6.29) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$m_{fuel\ empty\ daily\ solar} = \frac{\dot{W}_{engine} * t_{empty\ daily\ solar} * 1000}{HV * \rho_{diesel}} \tag{6.29}$$

6.3.2 Treylerin Boşken Soğutulmasında Azaltılan Emisyon

Soğutma ünitesi dizel motorunun çalışması sonucu ortaya çıkan karbondioksit miktarı ($prod_{CO_2}$) 9,17866 g/h'tir [33]. Güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle dizel motor daha kısa süre çalışacağı için ortaya çıkaracağı emisyon da daha az olacaktır. Treylerin boşken soğutulmasında geleneksel sistemin kullanılması durumunda ortaya çıkacak karbondioksit miktarı ($m_{CO_2\ empty}$) (6.30) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$m_{CO_2\ empty} = {prod_{CO_2} * t_{empty}}/{3600} \tag{6.30}$$

Güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle anlık güneş ışınımının kullanılması durumunda dizel motorun ortaya çıkaracağı karbondioksit miktarı ($m_{CO_2\ empty\ instant\ solar}$) (6.31) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$m_{CO_2\ empty\ instant\ solar} = {prod_{CO_2} * t_{empty\ instant\ solar}}/{3600} \tag{6.31}$$

Güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle anlık güneş ışınımının kullanılması durumunda azaltılabilecek karbondioksit miktarı ($\Delta m_{CO_2\ empty\ instant}$) (6.32) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\Delta m_{CO_2\ empty\ instant} = m_{CO_2\ empty} - m_{CO_2\ empty\ instant\ solar} \quad (6.32)$$

Güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle günlük güneş ışınımının kullanılması durumunda azaltılabilecek karbondioksit miktarı ($m_{CO_2\ empty\ daily}$) (6.33) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$m_{CO_2\ empty\ daily\ solar} = {prod_{CO_2} * t_{empty\ daily\ solar}}/{3600} \quad (6.33)$$

6.3.3 Treylerin Ürünle Yüklüyken Soğutulmasında Yakıt Tasarrufu

Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında yakıt tasarrufunun hesaplanabilmesi için ürünün soğutma süresi belirlenmelidir. Ürünün soğutulması süresi, treyler içerisindeki ürünün türüne, yükleme türüne ve treylerin bir veya birden fazla ürünle yüklenmiş olmasına göre değişkenlik gösterir. Treyler, bu çalışmada olduğu gibi 20 ton dondurulmuş balıkla yüklendiğinde treylerin ürünle yüklüyken soğutulması yaklaşık 33,114 saat sürmektedir. Bu sebeple treylerin ürünle yüklü olduğu durumda yakıt tasarrufunun hesaplanmasında günlük güneş ışınımıyla tasarruf edilebilecek yakıt miktarı daha gerçekçi sonuçlar verecektir.

Treylerin boşken soğutulmasında yakıt tasarrufunun hesaplanmasında olduğu gibi matematik model oluşturulurken öncelikle anlık güneş ışınımıyla tasarruf edilebilecek yakıt miktarı hesaplanmıştır. Anlık güneş ışınımının hesaplanması için 14:00-16:00 saat aralığı kullanılmıştır. Anlık güneş ışınımıyla elde edilebilecek toplam enerji (6.20) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin ürünle yüklüyken soğutulması için soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji ($W_{engine\ loaded}$) (6.34) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$W_{engine\ loaded} = \dot{W}_{engine} * \Delta t_{product} \quad (6.34)$$

Geleneksel sistemde treylerin ürünle yüklüyken soğutulması işlemi için gerekli soğutma gücü ($\dot{Q}_{loaded}$) (6.35) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\dot{Q}_{loaded} = {Q_{loaded}}/{\Delta t_{product}} \quad (6.35)$$

Treylerin ürünle yüklü olduğu durumda geleneksel sistemin tüketeceği yakıt ($m_{fuel\ loaded}$) (6.36) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$m_{fuel\ loaded} = {W_{engine\ loaded} * 1000}/{HV * \rho_{diesel}} \quad (6.36)$$

Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin anlık güneş ışınımıyla kullanılması durumunda treylerin ürünle yüklüyken soğutma süresi içerisinde soğuma ünitesi dizel motorunun çalışacağı süre ($t_{loaded\ instant\ solar}$) (6.37) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$t_{loaded\ instant\ solar} = {(\dot{W}_{engine} * \Delta t_{product} - Q_{instant\ solar})}/{\dot{Q}_{loaded}} \quad (6.37)$$

Güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle çalışan soğutma ünitesi dizel motorunun anlık güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında tüketeceği yakıt ($m_{fuel\ loaded\ instant\ solar}$) (6.38) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$m_{fuel\ loaded\ instant\ solar} = \frac{\dot{W}_{engine} * t_{loaded\ instant\ solar} * 1000}{HV * \rho_{diesel}} \quad (6.38)$$

Güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle anlık güneş ışınımının kullanılmasıyla treylerin ürünle yüklü olduğu durumunda tasarruf edilebilecek yakıt miktarı ($\Delta m_{fuel\ loaded\ instant}$) (6.39) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\Delta m_{fuel\ loaded\ instant} = m_{fuel\ loaded} - m_{fuel\ loaded\ instant\ solar} \quad (6.39)$$

Treylerin ürünle yüklü olduğu durumda yakıt tasarrufunun hesaplanmasında günlük güneş ışınımıyla tasarruf edilebilecek yakıt miktarının kullanılması daha uygundur. Matematik model oluşturulurken treylerin ürünle yüklü olduğu durumda soğutulmasında anlık güneş ışınımının hesaplanmasının ardından soğutma sırasında günlük toplam güneş ışınımından faydalanma durumu hesaplanmıştır.

Günlük güneş ışınımıyla elde edilebilecek toplam enerji (6.27) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Geleneksel sistemde treylerin ürünle yüklüyken soğutulması işlemi için gerekli enerji (6.22) eşitliği kullanılarak belirlenir. Treylerin ürünle yüklü olduğu durumda geleneksel sistemin tüketeceği yakıt (6.36) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin günlük güneş ışınımıyla kullanılması durumunda treylerin ürünle yüklüyken soğutma süresi içerisinde soğuma ünitesinin dizel motorunun çalışacağı süre ($t_{loaded\ daily\ solar}$) (6.40) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$t_{loaded\ daily\ solar} = {(Q_{loaded} - Q_{daily\ solar})}/{\dot{Q}_{loaded}} \quad (6.40)$$

Güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle çalışan soğutma ünitesi dizel motorunun günlük güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında tüketeceği yakıt ($m_{fuel\ loaded\ daily\ solar}$) (6.41) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$m_{fuel\ loaded\ daily\ solar} = \frac{\dot{W}_{engine} * t_{loaded\ daily\ solar} * 1000}{HV * \rho_{diesel}} \quad (6.41)$$

Güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle günlük güneş ışınımının kullanılmasıyla treylerin ürünle yüklü olduğu durumunda tasarruf edilebilecek yakıt miktarı ($\Delta m_{fuel\ loaded\ daily}$) (6.42) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\Delta m_{fuel\ loaded\ daily} = m_{fuel\ loaded} - m_{fuel\ loaded\ daily\ solar} \quad (6.42)$$

6.3.4 Treylerin Ürünle Yüklüyken Soğutulmasında Azaltılan Emisyon

Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında geleneksel sistemin kullanılması durumunda ortaya çıkacak karbondioksit miktarı ($m_{CO_2\ loaded}$) (6.43) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$m_{CO_2\ loaded} = {prod_{CO_2} * \Delta t_{product}}/{3600} \quad (6.43)$$

Treyler ürünle yüklüyken güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle anlık güneş ışınımının kullanılması durumunda dizel motorun ortaya çıkaracağı karbondioksit miktarı ($m_{CO_2\ loaded\ instant\ solar}$) (6.44) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$m_{CO_2\ loaded\ instant\ solar} = {prod_{CO_2} * t_{loaded\ instant\ solar}}/{3600} \quad (6.44)$$

Treyler ürünle yüklüyken güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle anlık güneş ışınımının kullanılması durumunda azaltılabilecek karbondioksit miktarı ($\Delta m_{CO_2\ loaded\ instant}$) (6.45) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\Delta m_{CO_2\ loaded\ instant} = m_{CO_2\ loaded} - m_{CO_2\ loaded\ instant\ solar} \quad (6.45)$$

Treyler ürünle yüklüyken güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle günlük güneş ışınımının kullanılması durumunda dizel motorun ortaya çıkaracağı karbondioksit miktarı ($m_{CO_2\ loaded\ daily}$) (6.46) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$m_{CO_2\ loaded\ daily} = {prod_{CO_2} * t_{loaded\ daily\ solar}}/{3600} \tag{6.46}$$

Treyler ürünle yüklüyken güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle günlük güneş ışınımının kullanılması durumunda azaltılabilecek karbondioksit miktarı ($\Delta m_{CO_2\ loaded\ daily}$) (6.47) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\Delta m_{CO_2\ loaded\ daily} = m_{CO_2\ loaded} - m_{CO_2\ loaded\ daily} \tag{6.47}$$

6.4 Verim Hesaplamaları

Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin verim hesaplamaları için matematik model oluşturulurken treylerin boş olduğu veya ürünle yüklü olduğu iki ayrı durumda soğutma işlemi için harcanan enerji, yakıt tüketimi ve azaltılan emisyon için yüzde oranlar belirlenmiştir. Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin performansı hem anlık toplam güneş ışınımıyla hem de günlük toplam güneş ışınımıyla değerlendirilmiştir.

6.4.1 Treylerin Boşken Soğutulmasında Verim

Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulması için gerekli enerji (6.4) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin boşken soğutulmasında güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle anlık toplam güneş ışınımının kullanılması durumunda elde edilebilecek enerji (6.23) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin boşken soğutulmasında anlık toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla sağlanabilecek yüzde enerji verimi ($\eta_{empty\ energy\ instant}$) (6.48) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\eta_{empty\ energy\ instant} = {Q_{instant\ solar}}/{Q_{empty}} * 100 \tag{6.48}$$

Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulması için soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji (6.7) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin boşken soğutulmasında anlık toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla soğutma ünitesi

motorunun tüketeceği enerjiye göre sağlanabilecek yüzde enerji verimi ($\eta_{empty\ engine\ instant}$) (6.49) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\eta_{empty\ engine\ instant} = {Q_{instant\ solar}}/{W_{engine\ empty}} * 100 \qquad (6.49)$$

Treyler boşken geleneksel sistemle soğutulması için geleneksel sistemin tüketeceği yakıt miktarı (6.8) eşitliği kullanılarak belirlenir. Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin anlık toplam güneş ışınımıyla kullanılması durumunda tasarruf edilebilecek yakıt miktarı (6.26) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin boşken soğutulmasında anlık toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla sağlanabilecek yüzde yakıt verimi ($\eta_{empty\ fuel\ instant}$) (6.50) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\eta_{empty\ fuel\ instant} = {\Delta m_{fuel\ empty\ instant}}/{m_{fuel\ empty}} * 100 \qquad (6.50)$$

Treyler boşken geleneksel sistemle soğutulmasında dizel motorun ortaya çıkaracağı karbondioksit miktarı (6.30) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin anlık toplam güneş ışınımıyla kullanılması durumunda azaltılabilecek karbondioksit miktarı (6.32) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin boşken soğutulmasında anlık toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla azaltılabilecek yüzde emisyon ($\eta_{empty\ CO_2\ instant}$) (6.51) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\eta_{empty\ CO_2\ instant} = {\Delta m_{CO_2\ empty\ instant}}/{m_{CO_2\ empty}} * 100 \qquad (6.51)$$

Treylerin boşken soğutulmasında güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle günlük toplam güneş ışınımının kullanılması durumunda elde edilebilecek enerji (6.27) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin boşken soğutulmasında günlük toplam güneş ışınımıyla elde edilebilecek enerjinin treylerin boşken soğutulması için gerekli enerjiye oranı ($\eta_{empty\ energy\ daily}$) (6.52) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\eta_{empty\ energy\ daily} = {Q_{daily\ solar}}/{Q_{empty}} * 100 \qquad (6.52)$$

Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulmasında soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji (6.7) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin boşken

soğutulmasında günlük toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerjiye göre sağlanabilecek yüzde enerji verimi ($\eta_{empty\ engine\ daily}$) (6.53) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\eta_{empty\ engine\ daily} = {Q_{daily\ solar}}/{W_{engine\ empty}} * 100 \qquad (6.53)$$

Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin günlük toplam güneş ışınımıyla kullanılması durumunda tasarruf edilebilecek yakıt miktarı (6.29) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin boşken soğutulmasında günlük toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla sağlanabilecek yüzde yakıt verimi ($\eta_{empty\ fuel\ daily}$) (6.54) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\eta_{empty\ fuel\ daily} = {m_{fuel\ empty\ daily\ solar}}/{m_{fuel\ empty}} * 100 \qquad (6.54)$$

Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin günlük toplam güneş ışınımıyla kullanılması durumunda azaltılabilecek karbondioksit miktarı (6.33) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin boşken soğutulmasında günlük toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla azaltılabilecek yüzde emisyon ($\eta_{empty\ CO_2\ daily}$) (6.55) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\eta_{empty\ CO_2\ daily} = {m_{CO_2\ empty\ daily}}/{m_{CO_2\ empty}} * 100 \qquad (6.55)$$

6.4.2 Treylerin Ürünle Yüklüyken Soğutulmasında Verim

Treylerin geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli enerji (6.22) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle anlık toplam güneş ışınımının kullanılması durumunda elde edilebilecek enerji (6.23) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında anlık toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla sağlanabilecek yüzde enerji verimi ($\eta_{loaded\ energy\ instant}$) (6.56) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\eta_{loaded\ energy\ instant} = {Q_{instant\ solar}}/{Q_{loaded}} * 100 \qquad (6.56)$$

Treylerin geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulması için soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji (6.34) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin

ürünle yüklüyken soğutulmasında anlık toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerjiye göre sağlanabilecek yüzde enerji verimi ($\eta_{loaded\ engine\ instant}$) (6.57) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\eta_{loaded\ engine\ instant} = {Q_{instant\ solar}}/{W_{engine\ loaded}} * 100 \qquad (6.57)$$

Treyler ürünle yüklüyken geleneksel sistemle soğutulması için geleneksel sistemin tüketeceği yakıt miktarı (6.36) eşitliği kullanılarak belirlenir. Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin anlık toplam güneş ışınımıyla kullanılması durumunda tasarruf edilebilecek yakıt miktarı (6.39) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında anlık toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla sağlanabilecek yüzde yakıt verimi ($\eta_{loaded\ fuel\ instant}$) (6.58) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\eta_{loaded\ fuel\ instant} = {\Delta m_{fuel\ loaded\ instant}}/{m_{fuel\ loaded}} * 100 \qquad (6.58)$$

Treyler ürünle yüklüyken geleneksel sistemle soğutulmasında dizel motorun ortaya çıkaracağı karbondioksit miktarı (6.43) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin anlık toplam güneş ışınımıyla kullanılması durumunda azaltılabilecek karbondioksit miktarı (6.45) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında anlık toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla azaltılabilecek yüzde emisyon ($\eta_{loaded\ CO_2\ instant}$) (6.59) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\eta_{loaded\ CO_2\ instant} = {\Delta m_{CO_2\ loaded\ instant}}/{m_{CO_2\ loaded}} * 100 \qquad (6.59)$$

Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle günlük toplam güneş ışınımının kullanılması durumunda elde edilebilecek enerji (6.27) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında günlük toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla sağlanabilecek yüzde enerji verimi ($\eta_{loaded\ energy\ daily}$) (6.60) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\eta_{loaded\ energy\ daily} = {Q_{daily\ solar}}/{Q_{loaded}} * 100 \qquad (6.60)$$

Treylerin geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulması için soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji (6.34) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında günlük toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerjiye göre sağlanabilecek yüzde enerji verimi ($\eta_{loaded\ engine\ daily}$) (6.61) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\eta_{loaded\ engine\ daily} = {Q_{daily\ solar}}/{W_{engine\ loaded}} * 100 \qquad (6.61)$$

Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin günlük toplam güneş ışınımıyla kullanılması durumunda tasarruf edilebilecek yakıt miktarı (6.42) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında günlük toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla sağlanabilecek yüzde yakıt verimi ($\eta_{loaded\ fuel\ daily}$) (6.62) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\eta_{loaded\ fuel\ daily} = {\Delta m_{fuel\ loaded\ daily}}/{m_{fuel\ loaded}} * 100 \qquad (6.62)$$

Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin günlük toplam güneş ışınımıyla kullanılması durumunda azaltılabilecek karbondioksit miktarı (6.47) eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında günlük toplam güneş ışınımının kullanılmasıyla azaltılabilecek yüzde emisyon ($\eta_{loaded\ CO_2\ daily}$) (6.63) eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$\eta_{loaded\ CO_2\ daily} = {\Delta m_{CO_2\ loaded\ daily}}/{m_{CO_2\ loaded}} * 100 \qquad (6.63)$$

6.5 Maliyet Hesaplamaları

Güneş enerjisi destekli soğutma sistemi, geleneksel sistemden farklı olarak, treylerin üst ve yan yüzeylerine yerleştirilen güneş panellerine ve soğutma ünitesinin içerisinde yer alacak bir çoklu invertöre sahiptir. Treylerin üst ve yan yüzeylerine yer alan güneş panelleri, soğutma kompresörü işi için kullanılacak elektriğin üretilebilmesi için bu yüzeylere yerleştirilmiştir. Geleneksel sistemde dizel motorla ürettiği elektrikle beslenen soğutma kompresörü güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle hem güneş enerjisiyle hem de dize motorla beslenebilecektir. İki farklı kaynaktan beslemenin uygulanabilmesi için soğutma ünitesi içerisine bir çoklu invertör yerleştirilir. Çoklu invertör hem dizel motordan

gelen hem de güneş panellerinden gelen elektrik enerjisini düzenler ve tek bir bataryada depolanmasını sağlar. Soğutma için enerji ihtiyacı olduğunda soğutma kompresörü enerjiyi iki kaynaktan beslenen bu bataryadan alacaktır. Soğutma ünitesinin dizel motoru, bataryanın doluluk seviyesine göre devreye girecektir.

Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminde soğutma ünitesi kompresörünün hem güneş panellerinden gelen elektrikle hem de dizel motorda üretilen elektrikle beslenebilmesi gerekmektedir. Treylerin boş olduğu veya ürünle yüklü olduğu durumlarda soğutulması gerektiğinde soğutma ünitesinin bataryasının doluluk durumuna göre soğutma enerjisinin sağlanacağı kaynak değişmektedir. Eğer soğutma ünitesinin bataryası yeterince doluysa dizel motor çalıştırılmadan soğutma işlemi gerçekleştirilecektir. Eğer soğutma ünitesinin bataryası yeterince dolu değilse ve güneş ışınımı anlık olarak soğutma işlemi için gereken enerjiyi karşılayamıyorsa dizel motor çalışmaya başlayacaktır. Soğutma ünitesinin bataryasının iki farklı kaynaktan beslenebilmesi için çoklu invertör kullanılır. Çoklu invertör, farklı kaynaklardan gelen elektrik enerjisini öncelikle düzenler ve sonrasında bir bataryada depolanabilmesini sağlar.

Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin donanım maliyetleri hesaplanmadan önce önerilen sistemin incelendiği iki durum olan treylerin boşken soğutulması ve treylerin ürünle yüklüyken soğutulması durumlarında tasarruf edebileceği enerji, yakıt ve CO_2 miktarları belirlenmiştir. Tasarruf edilen enerji miktarına bağlı olarak hesaplanan yakıt tasarrufu miktarı, sistemin kendi maliyetini geri ödeme süresinin hesaplanmasında kullanılabilir. Ayrıca yine tasarruf edilen yakıt miktarıyla taşımacılık maliyetlerinde gerçekleştirilebilecek azaltma miktarı da belirlenebilir. Tasarruf edilen yakıt miktarı maliyeti düşürmenin yanı sıra taşımacılığın daha çevre dostu olarak gerçekleştirilmesini de sağlayacaktır.

Geleneksel sistemin treylerin boşken soğutulması işlemlerinde harcadığı enerji, tükettiği yakıt ve ortaya çıkardığı karbondioksit miktarlarıyla güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin anlık güneş ışınımıyla temmuz ayında kullanılması durumunda aynı işlemler için tasarruf edilebilecek miktarların karşılaştırılması Tablo 6.4'te gösterilmiştir.

Tablo 6.4 Treylerin boşken soğutulmasında geleneksel sistem tüketimleri ve güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle tasarruf edilebilecek miktarlar

Durum	**Geleneksel Sistemde Tüketim**	**Treylerin Doğu-Batı Ekseninde Hareketinde Tasarruf Edilebilecek Miktar**	**Treylerin Kuzey-Güney Ekseninde Hareketinde Tasarruf Edilebilecek Miktar**
Soğutma için gereken enerji	$1,579*10^8$ J	$1,213*10^8$ J	$1,555*10^8$ J
Soğutma ünitesi motorunun ürettiği enerji	$2,277*10^8$ J	$1,213*10^8$ J	$1,555*10^8$ J
Soğutma için gereken yakıt	6,434 L	4,943 L	6,338 L
Soğutmada ortaya çıkan CO_2	22,947 g	17,630 g	22,603 g

Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin performansının incelendiği ikinci durum olan treylerin ürünle yüklendiği durum için geleneksel sistemin işlemlerinde harcadığı enerji, tükettiği yakıt ve ortaya çıkardığı karbondioksit miktarlarıyla güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin anlık güneş ışınımıyla temmuz ayında günlük güneş ışınımıyla kullanılması durumunda aynı işlemler için tasarruf edilebilecek miktarların karşılaştırılması Tablo 6.5'te gösterilmiştir.

Tablo 6.5 Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında geleneksel sistem tüketimleri ve güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle tasarruf edilebilecek miktarlar

Durum	**Geleneksel Sistemde Tüketim**	**Treylerin Doğu-Batı Ekseninde Hareketinde Tasarruf Edilebilecek Miktar**	**Treylerin Kuzey-Güney Ekseninde Hareketinde Tasarruf Edilebilecek Miktar**
Soğutma için gereken enerji	$2,134*10^9$ J	$1,470*10^9$ J	$1,7956*10^9$ J
Soğutma ünitesi motorunun ürettiği enerji	$3,016*10^9$ J	$1,470*10^9$ J	$1,7956*10^9$ J
Soğutma için gereken yakıt	85,227 L	58,713 L	66,728 L
Soğutmada ortaya çıkan CO_2	303,938 g	209,383 g	255,742 g

Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminde donanım maliyetleri hesaplanırken öncelikle treylerin üst ve yan yüzeylerine yerleştirilecek olan Amorf-Silisyum güneş panellerinin maliyeti belirlenmiştir. Panellerin belirlenmesi için yapılan pazar araştırmaları neticesinde birçok üreticinin ürünleri arasından treyler yüzeylerine yerleştirilmesi halinde farklı hava ve sıcaklık şartlarında çalışma performansını koruyabilecek ve farklı şartlara dayanabilecek bir ürün seçilmiştir. Panellerin kendi maliyetlerinin yanı sıra panellerin yerleştirilmesi ve bağlantılarının yapılması için yapılacak harcamalar da hesaplanmıştır.

Panel maliyetlerinin belirlenmesinin ardından çoklu invertör için de piyasadaki ürünler incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda ürün alımı için seçilen üreticinin farklı kapasitedeki invertörleri arasından bu çalışma için uygun

kapasitede olan invertör seçilmiştir. Çoklu invertörün kendi maliyetinin yanı sıra bağlantı maliyeti için de seçilen üreticiden hizmet alınabileceği belirlenmiştir.

Güneş panelleri ve çoklu invertörün kendi maliyetleri ve soğutma ünitesi sistemi içerisinde bağlantılarının yapılması için gerekli maliyetler yapılan pazar araştırması sonucunda belirlenmiştir. Donanım maliyetleri Tablo 6.6'da gösterilmiştir [34],[35].

Tablo 6.6 Donanım maliyetleri

Ürün	**Birim Maliyet**	**Sistem Maliyeti (₺)**
Amorf Silisyum güneş panelleri	25 ₺/m^2	7537
Güneş Panelleri bağlantı ve yerleştirme	3,95 ₺/m^2	1185
Çoklu invertör	33600 ₺/adet	33600
Çoklu invertör bağlantı ve yerleştirme	5630 ₺/adet	5630
TOPLAM		**47952**

7
SONUÇ

Bu çalışmanın temel amacı, soğutmalı ürün taşımacılığında üretilen emisyonu düşürmektir. Soğutmalı ürün taşımacılığında iki kaynaktan emisyon üretimi gerçekleşir. Çekici araç, ürünle yüklü olan treylerin varış noktasına ulaştırılması için hareket ettiği sürece emisyon üretecektir. Çekici aracın yanı sıra soğutmalı ürün taşımacılığında soğutma ünitesi de emisyon üretecektir. Soğutma ünitesi içerisinde yer alan dizel motor soğutma işi için tüketilen elektrik enerjisini üretir ve böylece soğutma ünitesi de emisyon üretmiş olur.

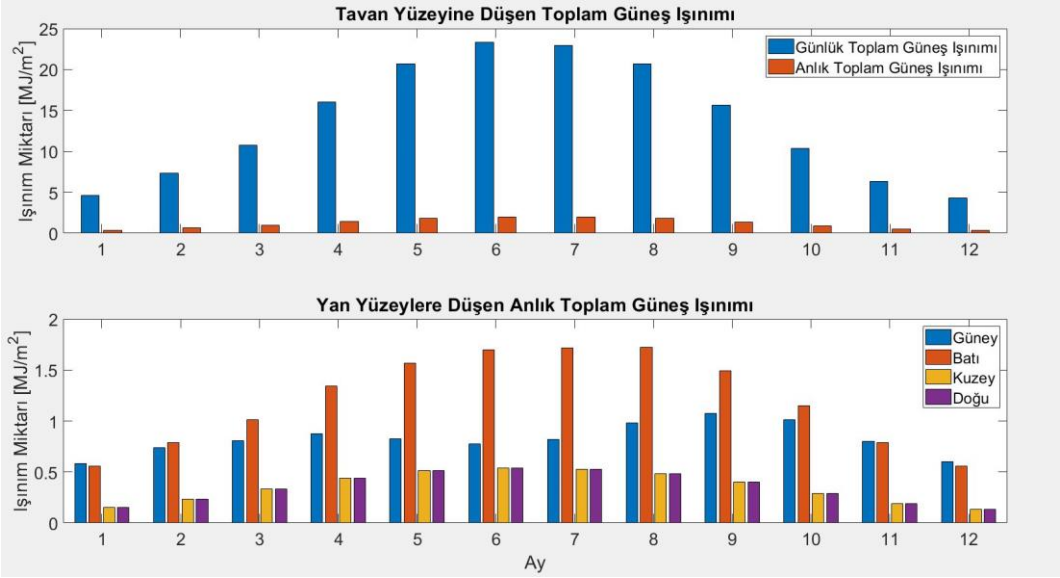
Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminde frigorifik bir treylerin üst ve yan yüzeylerine güneş panelleri yerleştirilmesini öngörmektedir. Güneş panelleri, treylerin sefer süresi boyunca elektrik üretecektir. Bu elektrik enerjisi bir bataryada depolanacak ve soğutma ünitesini beslemek için kullanılacaktır. Bu sistem soğutmalı ürün taşımacılığını daha çevre dostu bir sektör haline getirmenin yanı sıra nakliye maliyetlerini de azaltacaktır.

7.1 Sonuçlar

Çalışmanın sonuçları incelenirken sistemin çalışma şartlarında ve matematik modelde yapılan kabuller altında önerilen sistemin aylara göre performansı incelenmiştir.

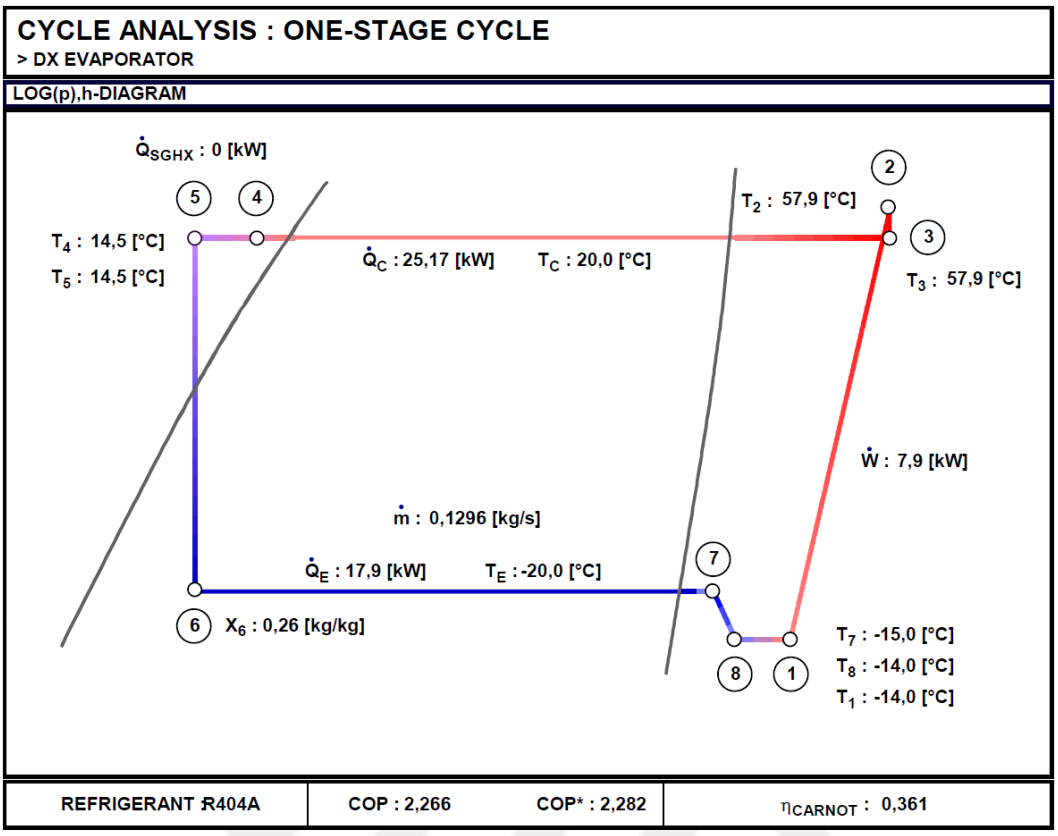
Bu çalışmada sonuçlar incelenirken öncelikle İstanbul şehrinde düz bir yüzeye düşen anlık ve günlük güneş ışınımları hesaplanmıştır. Anlık güneş ışınımının hesaplanmasında 14:00-16:00 saat aralığı kullanılmıştır. Bu hesaplamalar, treylerin üst yüzeyine yerleştirilen güneş panellerinin potansiyelinin belirlenmesinde kullanılacaktır. Düz bir yüzeye düşen güneş ışınımının hesaplanmasının ardından dört ana yönde ve 90 derece eğimli bir yüzeye düşen anlık ve günlük güneş

ışınımları hesaplanmıştır. Anlık güneş ışınımının hesaplanmasında, düz bir yüzey için yapılan hesaplamalarda olduğu gibi, 14:00-16:00 saat aralığı kullanılmıştır. Eğimli yüzey için yapılan bu hesaplamalar, treylerin yan yüzeyine yerleştirilen güneş panellerinin potansiyelinin belirlenmesinde kullanılacaktır. Treylerin istikametine bağlı olarak treylerin yan yüzeylerinin hangi yöne bakacağı değişmektedir. Bu sebeple hesaplamalar dört ana yön için yapılmış ve çalışmanın sonraki aşamalarında da hesaplamalar bu şekilde devam etmiştir. Anlık ve günlük güneş ışınımı değerleri Şekil 7.1'de gösterilmiştir.



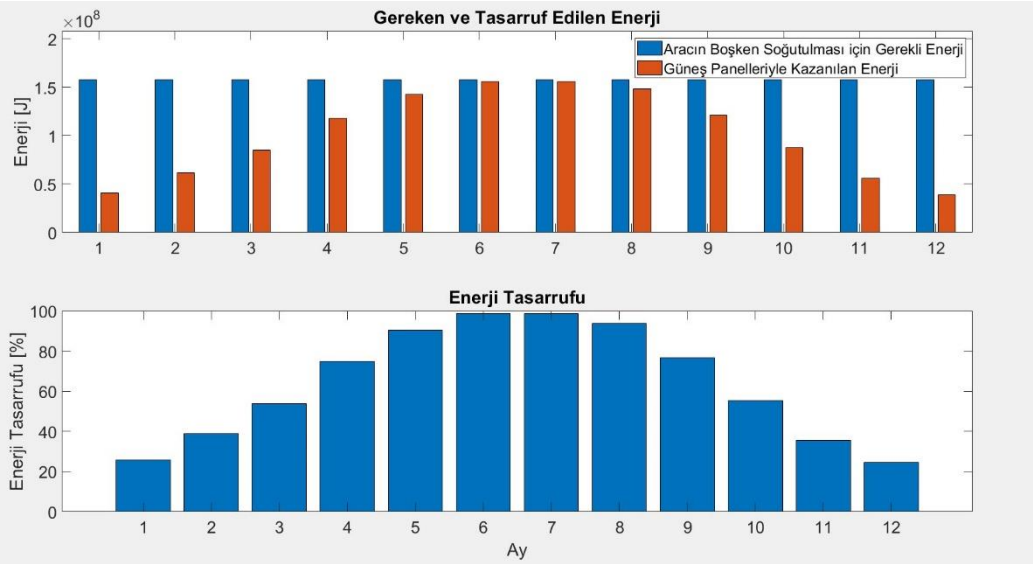
Şekil 7.1 Anlık ve günlük güneş ışınımı değerleri

Güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesinden sonra treylerin soğutulması için kullanılan soğutma ünitesinin teknik verileri kullanılarak soğutma çevriminin temel parametreleri belirlenmiştir. Soğutma çevriminin log(P)-h diyagramı soğutma sistemleri için simülasyon modelleri arşivi olan CoolPack programıyla oluşturulmuştur. Soğutma ünitesinin teknik verileri programa girilerek çevrimin log(P)-h diyagramının çizilmesinin yanı sıra çevrimin COP (Coefficient of Performance yani Performans Katsayısı) değeri de hesaplanabilmektedir. Soğutma çevriminin CoolPack ile oluşturulan log(P)-h diyagramı ve hesaplanan COP değeri Şekil 7.2'de gösterilmiştir.



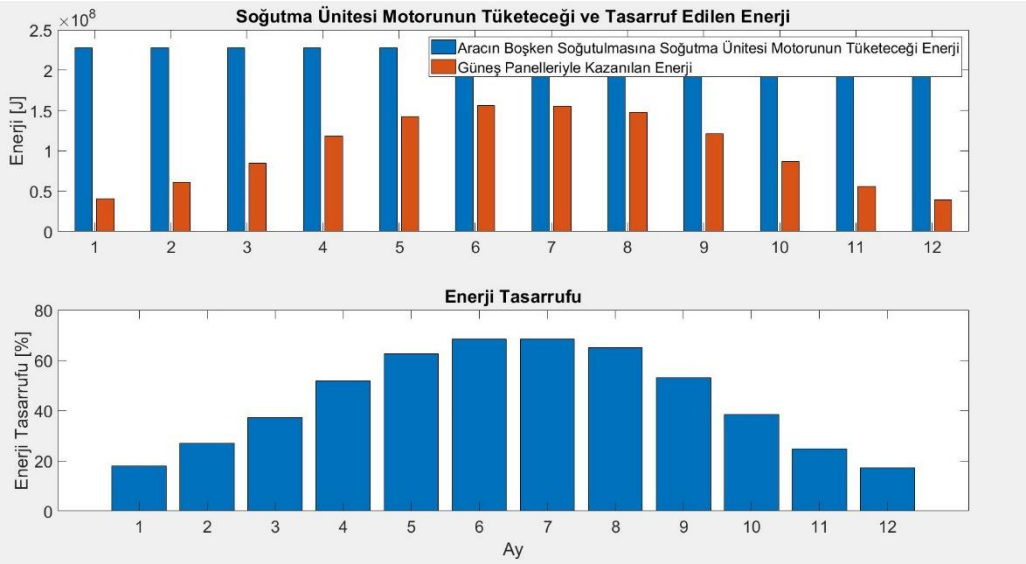
Şekil 7.2 Soğutma çevriminin CoolPack ile oluşturulan log(P)-h diyagramı ve hesaplanan COP değeri

Güneş potansiyelinin belirlenmesi ve soğutma çevriminin analiz edilmesinin ardından treylerin boşken soğutulması durumu incelenmiştir. Seçilen standart frigorifik treylerin boşken soğutulması, seçilen soğutucu ile 150 dakika sürmektedir. 150 dakika boyunca soğutucunun tüketeceği enerji hesaplanmıştır. Ayrıca bu süre zarfında üst ve yan yüzeyleri güneş panelleri ile kaplı olduğu varsayılan bir treyler için anlık güneş ışınımı kullanılarak güneş enerjisi ile kazanılacak enerji de hesaplanmıştır. Treylerin Doğu-Batı ekseninde hareket ettiği durum için temmuz ayında anlık güneş ışınımıyla treylerin boşken soğutulması için gerekli enerjinin %76,83'ünün güneş enerjisi ile sağlanabileceği belirlenmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durum içinse temmuz ayında anlık güneş ışınımıyla treylerin boşken soğutulması için gerekli enerjinin %98,49'unun güneş enerjisi ile sağlanabileceği tespit edilmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda geleneksel sistemle boşken soğutulması için gerekli enerji ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji Şekil 7.3'te gösterilmiştir.



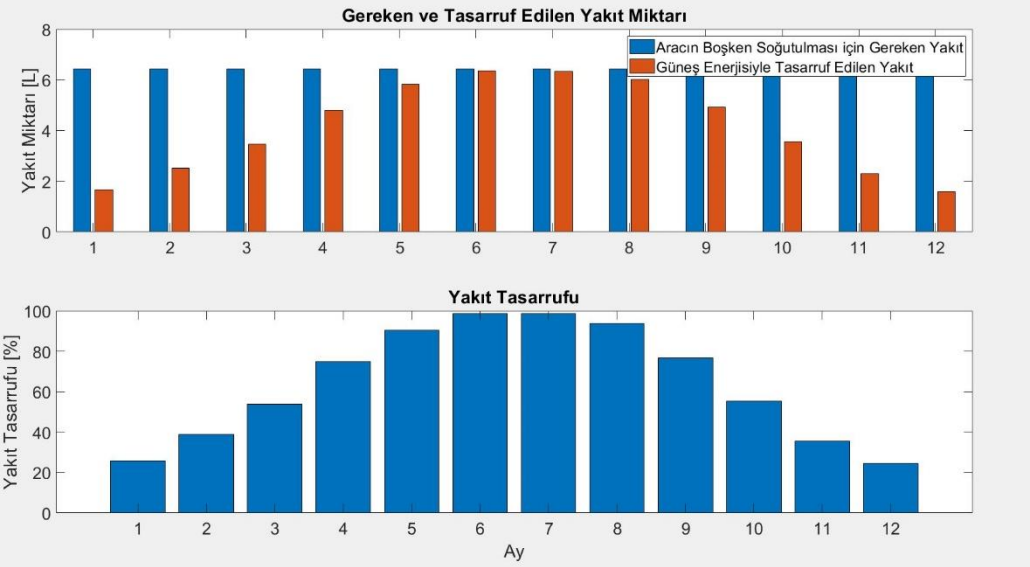
Şekil 7.3 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulması için gerekli enerji ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji

Geleneksel sistemde treylerin boşken soğutulmasında enerji tüketimi ve anlık güneş ışınımıyla tasarruf edilebilecek enerji hesaplamalarının ardından treylerin boşken soğutulması için soğutucu ünite motorunun harcayacağı enerji ve güneş panelleriyle kazanılabilecek enerji miktarları da karşılaştırılmıştır. Treylerin Doğu-Batı ekseninde hareket ettiği durumda temmuz ayında anlık güneş ışınımıyla treylerin boşken soğutulması için soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerjinin %53,28'inin güneş enerjisi ile sağlanabileceği belirlenmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durum için ise temmuz ayında anlık güneş ışınımıyla treylerin boşken soğutulması için gerekli enerjinin %68,30'unun güneş enerjisi ile sağlanabileceği belirlenmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda geleneksel sistemle boşken soğutulmasında soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji Şekil 7.4'te gösterilmiştir.



Şekil 7.4 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulmasında soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji

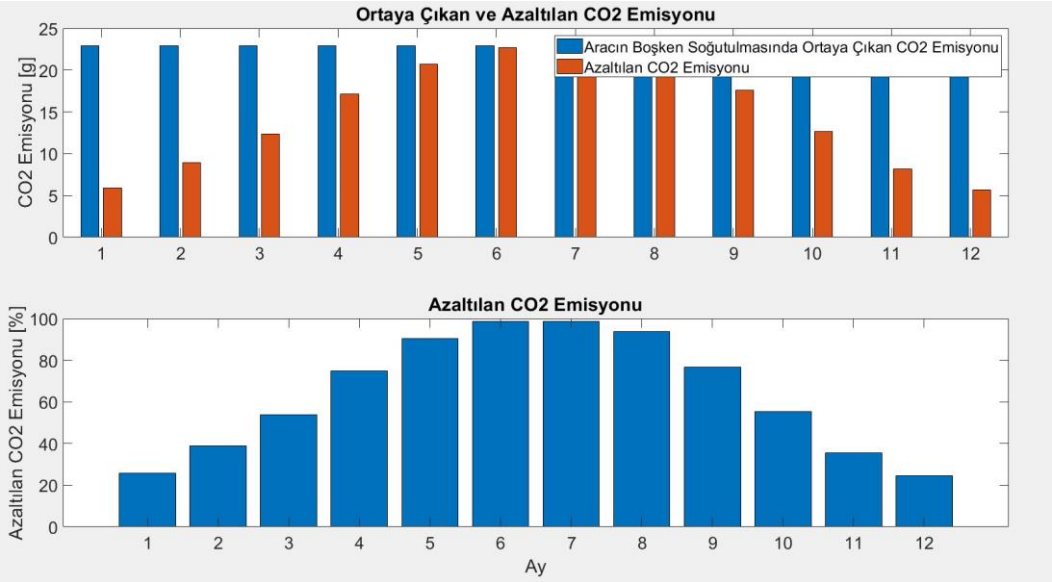
Enerji hesaplamalarının ardından treylerin boşken soğutulması durumunda tüketilen yakıt da hesaplanmıştır. Sonrasında ise önerilen sistem kullanılarak anlık güneş ışınımıyla tasarruf edilebilecek yakıt miktarı hesaplanmıştır. Treylerin Doğu-Batı ekseninde hareket ettiği durum için temmuz ayında anlık güneş ışınımıyla treylerin boşken soğutulması için gerekli yakıtın %76,83'ünün güneş enerjisi ile sağlanabileceği belirlenmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durum için temmuz ayında anlık güneş ışınımıyla treylerin boşken soğutulması için gerekli yakıtın %98,49'unun güneş enerjisi ile sağlanabileceği tespit edilmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda geleneksel sistemle boşken soğutulması için tüketeceği yakıt ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek yakıt Şekil 7.5'te gösterilmiştir.



Şekil 7.5 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulması için gerekli yakıt ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek yakıt

Bu çalışmada seçilen soğutucunun kullanıldığı geleneksel sistemde, treylerin boşken soğutulması için harcanan yakıt kaynaklı oluşan emisyon 22,95 gramdır. Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin performansını analiz etmek için treylerin 14:00-16:00 saatleri arasında anlık güneş ışınımından yararlandığı durum dikkate alınmıştır. Treylerin Doğu-Batı ekseninde hareket ettiği durum için temmuz ayında anlık güneş ışınımıyla treylerin boşken soğutulmasında ortaya çıkan emisyonun %76,83'ünün güneş enerjisi destekli soğutma sistemi kullanılarak azaltılabileceği belirlenmiştir.

Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin anlık güneş ışınımıyla kullanılmasıyla azaltılan CO_2 emisyonu temmuz ayında 22,60 gramdır. Böylece, treylerin güneş enerjisi desteğiyle soğutulması durumunda CO_2 emisyonu miktarı 0,35 gram olacaktır. Bu sonuçlara göre, CO_2 emisyonları anlık güneş ışınımıyla geleneksel sisteme kıyasla %98,49 oranında azaltılabilir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda geleneksel sistemle boşken soğutulmasında ortaya çıkan emisyon ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından azaltılabilecek emisyon Şekil 7.6'da gösterilmiştir.



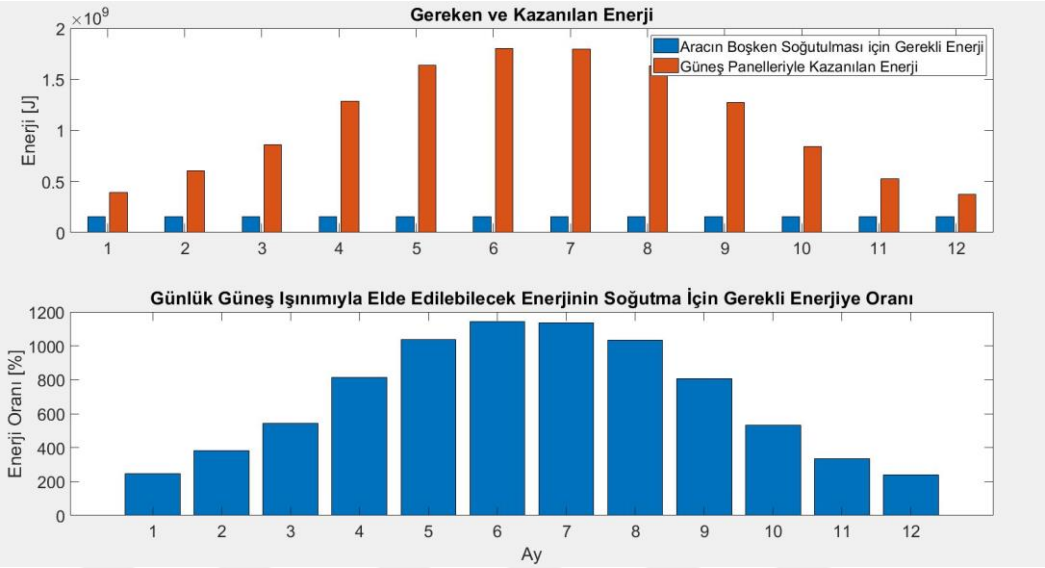
Şekil 7.6 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulmasında ortaya çıkan emisyon ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından azaltılabilecek emisyon

Treylerin boşken soğutulması, geleneksel sistemde seçilen soğutma ünitesiyle 150 dakika sürmesine karşın matematik model oluşturulurken treylerin boşken soğutulması için gerekli enerjiyle önerilen sistemin kullanılması sonucunda günlük güneş ışınımıyla elde edilebilecek enerji de karşılaştırılmıştır. İstanbul şehri için günlük güneşlenme süresi 150 dakikadan daha uzundur. Bu sebeple toplam günlük güneş ışınımı, yılın özellikle güneş ışınımının yüksek olduğu aylarda treylerin boşken soğutulması için gerekli enerjiden daha fazla olacaktır.

Anlık güneş ışınımda olduğu gibi soğutma enerjisine bağlı olarak tüketilen yakıt miktarı ve ortaya çıkan emisyon değerleri de karşılaştırılmıştır. Ayrıca soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerjiyle günlük güneş ışınımıyla elde edilebilecek toplam enerji de karşılaştırılmıştır.

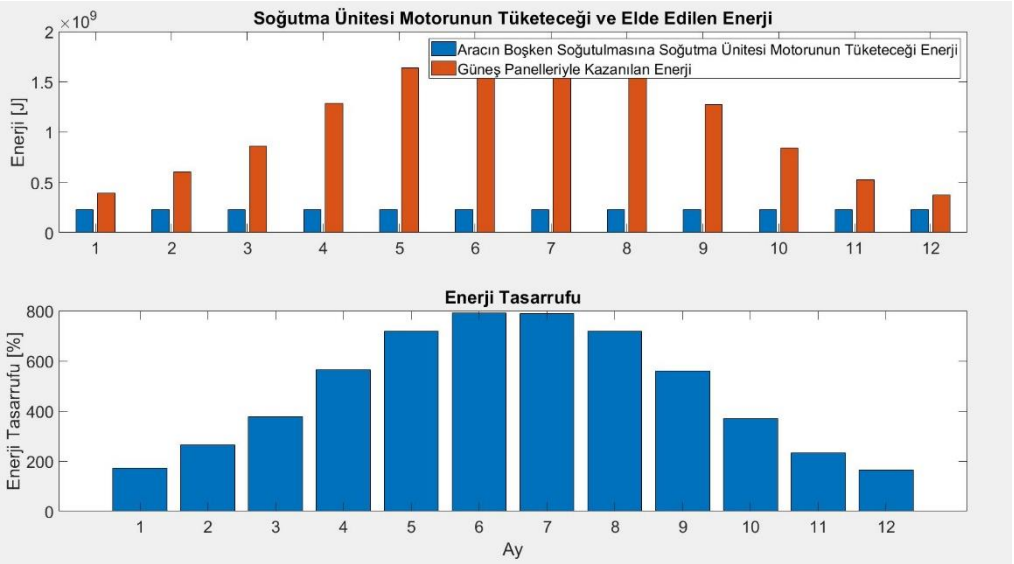
Treylerin Doğu-Batı ekseninde hareket ettiği durumda temmuz ayında günlük güneş ışınımıyla elde edilebilecek enerjinin treylerin boşken soğutulması için gerekli enerjinin 9,30 katı (veya %930,95'i) olacağı tespit edilmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda ise temmuz ayında günlük güneş ışınımıyla elde edilebilecek enerjinin treylerin boşken soğutulması için gerekli enerjinin 11,37 katı (veya %1137,05'i) olacağı tespit edilmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda geleneksel sistemle boşken soğutulması

için gerekli enerji ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından elde edilebilecek enerji Şekil 7.7'de gösterilmiştir.



Şekil 7.7 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulması için gerekli enerji ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından elde edilebilecek enerji

Treylerin Doğu-Batı ekseninde hareket ettiği durumda temmuz ayında günlük güneş ışınımıyla elde edilebilecek enerjinin treylerin boşken soğutulması için soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerjiye oranı %645,6 (yani 6,456 katı olacağı) olarak belirlenmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durum için ise günlük güneş ışınımıyla elde edilebilecek enerjinin treylerin boşken soğutulması için soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerjiye oranı %788,5 (yani 7,885 katı olacağı) olarak belirlenmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda geleneksel sistemle boşken soğutulmasında soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından elde edilebilecek enerji Şekil 7.8'de gösterilmiştir.

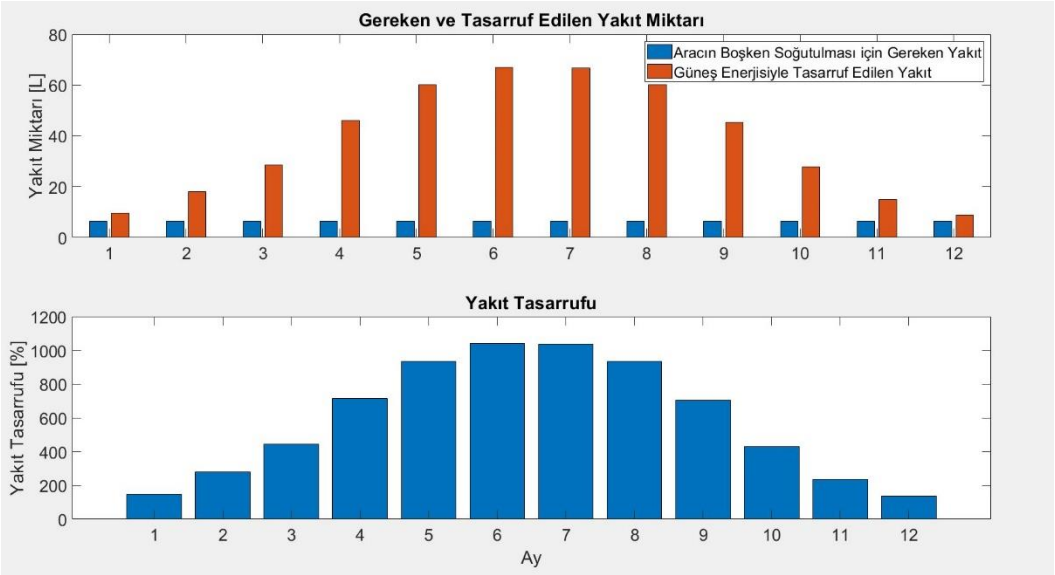


Şekil 7.8 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulmasında soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından elde edilebilecek enerji

Treylerin boşken soğutulması için geleneksel sistemin tükettiği yakıt miktarının hesaplanmasının ardından önerilen sistem kullanılarak günlük güneş ışınımıyla tasarruf edilebilecek yakıt miktarı hesaplanmıştır.

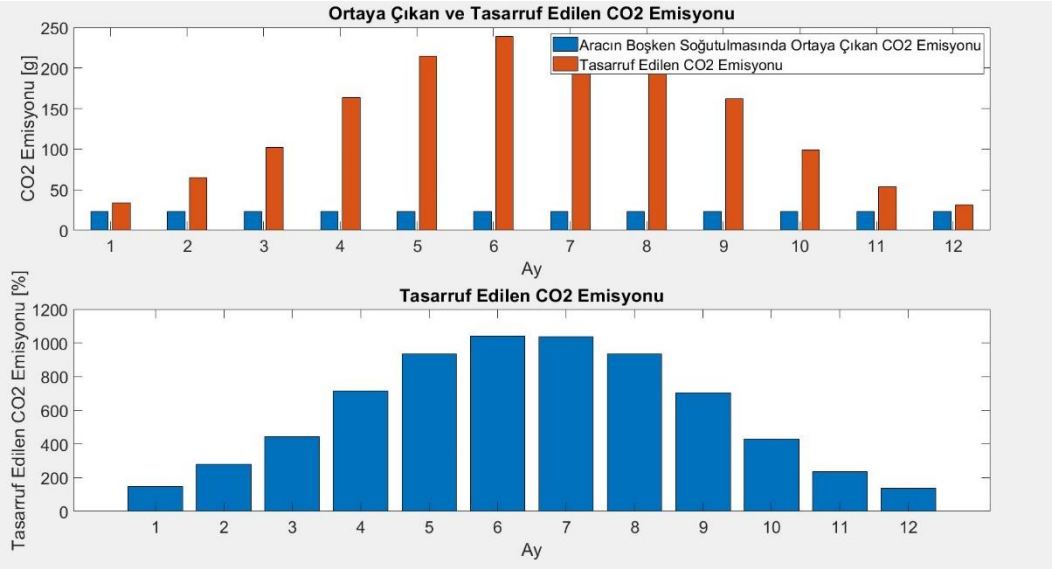
Treylerin boşken soğutulması için gerekli yakıt miktarı 6,434 L'dir. Treylerin Doğu-Batı ekseninde hareket ettiği durumda temmuz ayında günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından treylerin boşken soğutulmasının ardından tasarruf edilebilecek yakıt miktarı ise 53,467 L'dir. Yani önerilen sistemin günlük güneş ışınımıyla kullanılması durumunda 60,101 L yakıtın yakılmasına eşdeğer enerji elde edilebilir. Bu verilere bağlı olarak temmuz ayında günlük güneş ışınımıyla tasarruf edilebilecek yakıtın treylerin boşken soğutulması için gerekli yakıtın 8,30 katı (veya %830,95'i) olacağı tespit edilmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda ise temmuz ayında günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından treylerin boşken soğutulmasının ardından tasarruf edilebilecek yakıt miktarı ise 66,728 L'dir. Yani treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareketinde günlük güneş ışınımıyla kullanılması durumunda 73,162 L yakıtın yakılmasına eşdeğer enerji elde edilebilir. Temmuz ayında günlük güneş ışınımıyla tasarruf edilebilecek yakıtın treylerin boşken soğutulması için gerekli yakıtın 10,37 katı (veya %1037,05'i) olacağı tespit edilmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda geleneksel sistemle boşken soğutulması için tüketeceği yakıt

ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek yakıt Şekil 7.9'da gösterilmiştir.



Şekil 7.9 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulması için gerekli yakıt ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek yakıt

Bu çalışmada seçilen soğutucunun kullanıldığı geleneksel sistemde, treylerin boşken soğutulması için harcanan yakıt kaynaklı oluşan emisyon 22,947 gramdır ve bu soğutma işlemi 150 dakika sürmektedir. Treylerin Doğu-Batı ekseninde hareket ettiği durum için temmuz ayında günlük güneş ışınımıyla tasarruf edilebilecek emisyon miktarı 190,675 gramdır. Yani treylerin Doğu-Batı ekseninde hareket ettiği durum için temmuz ayında günlük güneş ışınımıyla treylerin boşken soğutulması işlemi için soğutucunun üreteceği emisyonun 8,30 katı (veya %830,95'i) olacağı tespit edilmiştir Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin günlük güneş ışınımıyla kullanılmasıyla tasarruf edilebilecek CO_2 emisyonu temmuz ayında 237,967 gramdır. Buna göre günlük güneş ışınımıyla azaltılabilecek emisyonun treylerin boşken soğutulması işlemi için soğutucunun üreteceği emisyonun 10,37 katı (veya %1037,05'i) olacağı tespit edilmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda geleneksel sistemle boşken soğutulmasında ortaya çıkan emisyon ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek emisyon Şekil 7.10'da gösterilmiştir.



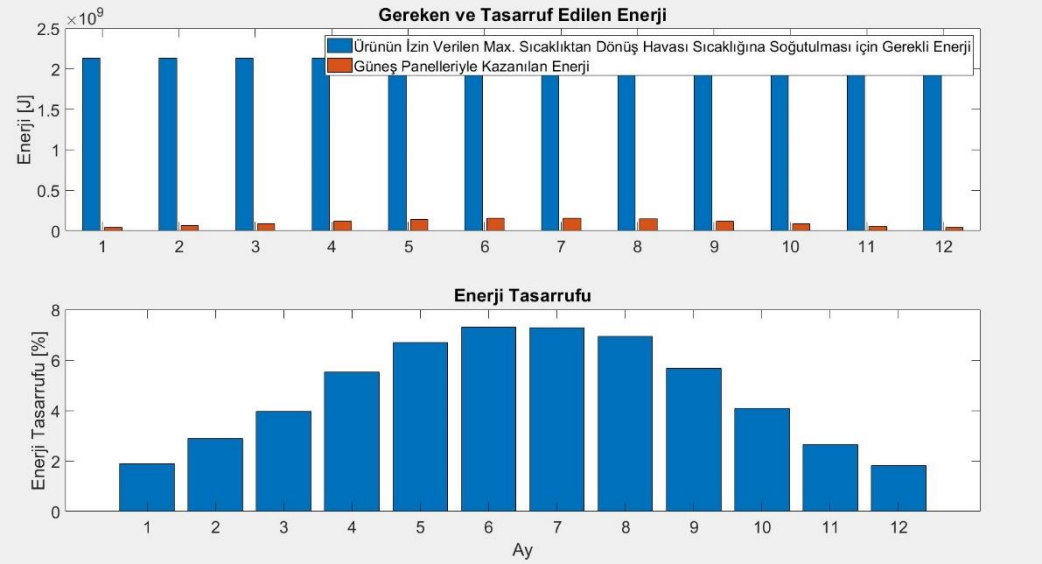
Şekil 7.10 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulmasında ortaya çıkan emisyon ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek emisyon

Treylerin boşken soğutulması durumunun incelenmesinin ardından treylerin seçilen ürün olan dondurulmuş balıkla yüklendiği durum incelenmiştir. Treylerin boşken soğutulmasında olduğu gibi treyler ürünle yüklüyken de güneş enerjisi destekli soğutma sistemiyle sağlanabilecek enerji ve yakıt tasarrufunun yanında azaltılabilecek karbondioksit emisyonu da belirlenmiştir.

Bu çalışma için seçilen standart treylerin 20 ton dondurulmuş balıkla yüklendiği durumda seçilen soğutma ünitesi kullanılarak soğutulması yaklaşık 33,114 saat sürmektedir. Bu çalışma kapsamında önerilen güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin anlık güneş ışınımıyla kullanıldığı durumlar incelenirken anlık güneş ışınımının 14:00-16:00 saat aralığı kullanılmıştır. Ürünün soğutulma süresi, anlık güneş ışınımı için belirlenen süreden çok daha uzun olmasına karşın matematik model oluşturulurken ürünün soğutulması için gerekli enerjiyle anlık güneş ışınımından elde edilebilecek enerji de karşılaştırılmıştır.

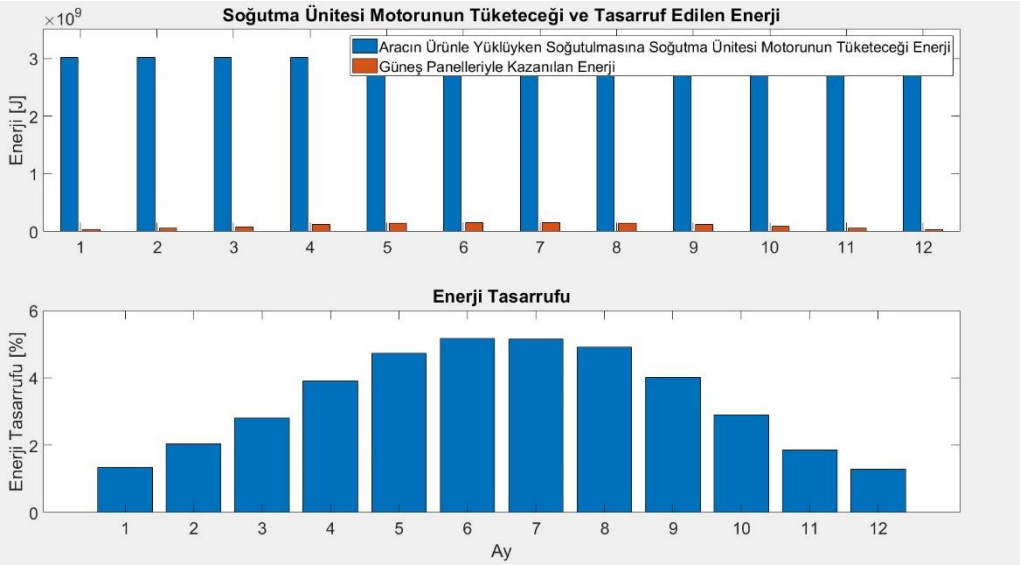
Seçilen standart frigorifik treylerin ürünle yüklüyken soğutulması, seçilen soğutucu ile yaklaşık 33,114 saat sürmektedir. 33,114 saat boyunca soğutucunun tüketeceği enerji hesaplanmıştır. Treylerin Doğu-Batı ekseninde hareket ettiği durum için temmuz ayında anlık güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli enerjinin %5,686'sının güneş enerjisi ile sağlanabileceği belirlenmiştir.

Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durum içinse temmuz ayında anlık güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli enerjinin %7,289'unun güneş enerjisi ile sağlanabileceği tespit edilmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli enerji ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji Şekil 7.11'de gösterilmiştir.



Şekil 7.11 Treylerin geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli enerji ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji

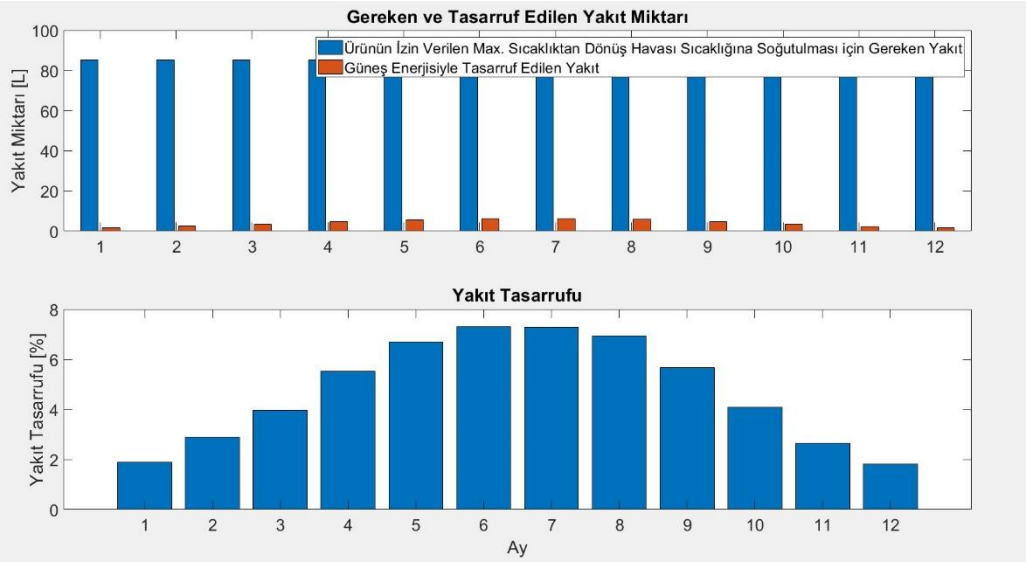
Geleneksel sistemde treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında enerji tüketimi ve günlük güneş ışınımıyla tasarruf edilebilecek enerji hesaplamalarının ardından treylerin ürünle yüklüyken soğutulması için soğutucu ünite motorunun harcayacağı enerji ve güneş panelleriyle kazanılabilecek enerji miktarları da karşılaştırılmıştır. Treylerin Doğu-Batı ekseninde hareket ettiği durumda temmuz ayında anlık güneş ışınımıyla treylerin boşken soğutulması için soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerjinin %4,023'ünün güneş enerjisi ile sağlanabileceği belirlenmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durum için ise temmuz ayında anlık güneş ışınımıyla treylerin boşken soğutulması için gerekli enerjinin %5,157'sinin güneş enerjisi ile sağlanabileceği belirlenmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda geleneksel sistemle boşken soğutulmasında soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji Şekil 7.12'de gösterilmiştir.



Şekil 7.12 Treylerin geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulmasında soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji

Treylerin ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli enerji ve anlık güneş ışınımıyla tasarruf edilebilecek enerjinin hesaplanmasının ardından aynı soğutma işlemi için geleneksel sistemin yakıt tüketimi ve güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin anlık güneş ışınımıyla kullanılması sonucunda tasarruf edilebilecek yakıt miktarı da hesaplanmıştır.

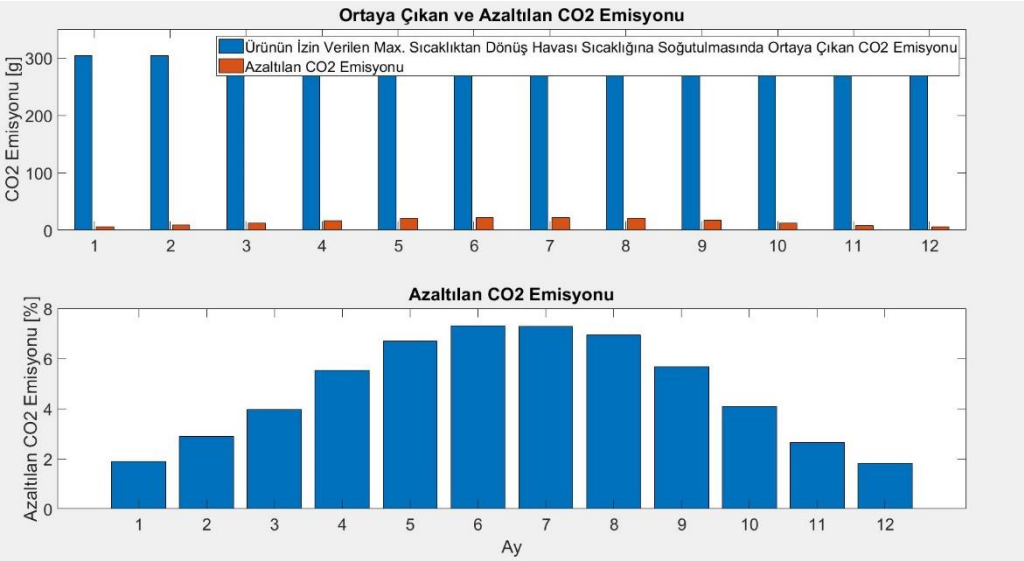
Treylerin Doğu-Batı ekseninde hareket ettiği durum için temmuz ayında anlık güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli yakıtın %5,686'sının güneş enerjisi ile sağlanabileceği belirlenmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durum için temmuz ayında anlık güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli yakıtın %7,289'unun güneş enerjisi ile sağlanabileceği tespit edilmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda geleneksel sistemle boşken soğutulması için tüketeceği yakıt ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek yakıt Şekil 7.13'te gösterilmiştir.



Şekil 7.13 Treylerin geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli yakıt ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek yakıt

Bu çalışmada seçilen soğutucunun kullanıldığı geleneksel sistemde, treylerin boşken soğutulması için harcanan yakıt kaynaklı oluşan emisyon 303,938 gramdır. Treylerin Doğu-Batı ekseninde hareket ettiği durum için temmuz ayında anlık güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında ortaya çıkan emisyonun %5,686'sının önerilen sistem kullanılarak azaltılabileceği belirlenmiştir.

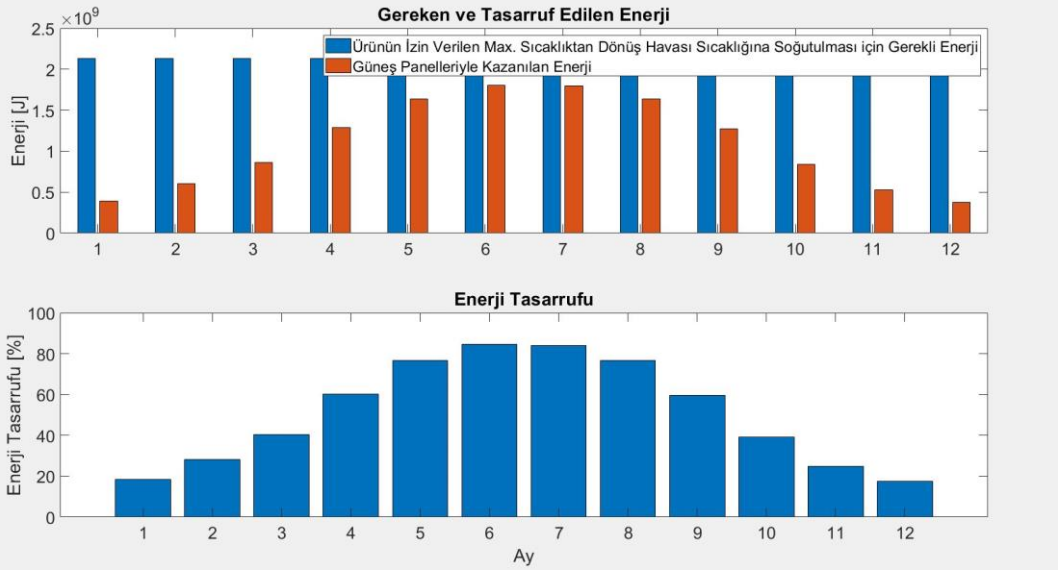
Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durum için temmuz ayında anlık güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında ortaya çıkan emisyonun %7,289'unun önerilen sistem kullanılarak azaltılabileceği belirlenmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda geleneksel sistemle boşken soğutulması için tüketeceği yakıt ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek yakıt Şekil 7.14'te gösterilmiştir.



Şekil 7.14 Treylerin geleneksel sistemle boşken soğutulmasında ortaya çıkan emisyon ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından azaltılabilecek emisyon

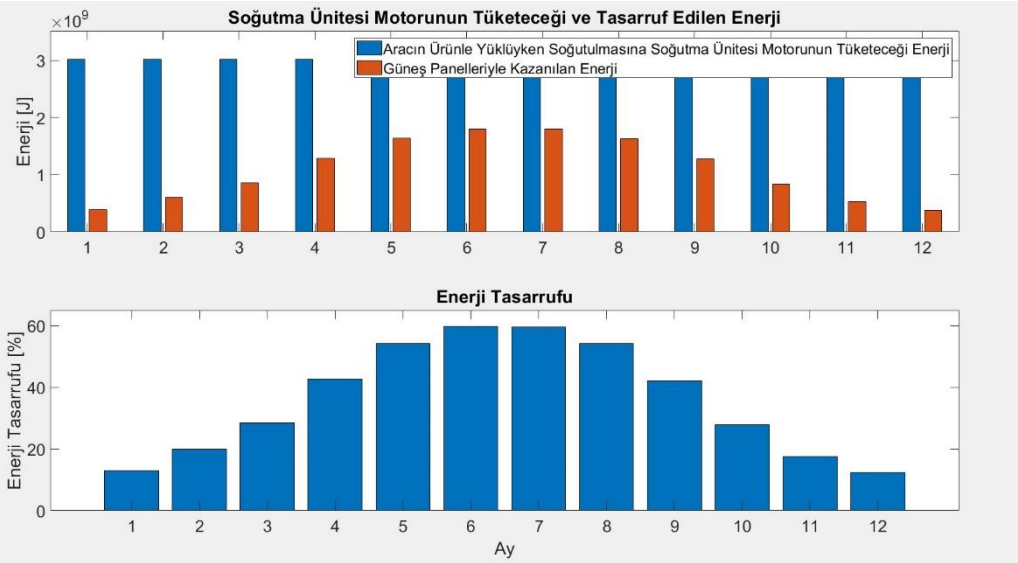
Treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin anlık toplam güneş ışınımıyla kullanılması durumu incelendikten sonra sistemin günlük toplam güneş ışınımıyla kullanılması durumu da incelenmiştir. Ürünün soğutulma süresinin günlük güneş ışınımı süresine daha yakın olması sebebiyle tasarruf edilebilecek enerji, yakıt miktarı ve azaltılabilecek karbondioksit miktarı, günlük güneş ışınımıyla daha gerçekçi sonuçlar verecektir.

Treylerin Doğu-Batı ekseninde hareket ettiği durum için temmuz ayında günlük güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli enerjinin %68,891'inin güneş enerjisi ile sağlanabileceği belirlenmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durum içinse temmuz ayında anlık güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli enerjinin %84,143'ünün güneş enerjisi ile sağlanabileceği tespit edilmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda geleneksel sistemle boşken soğutulması için gerekli enerji ve anlık güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji Şekil 7.15'te gösterilmiştir.



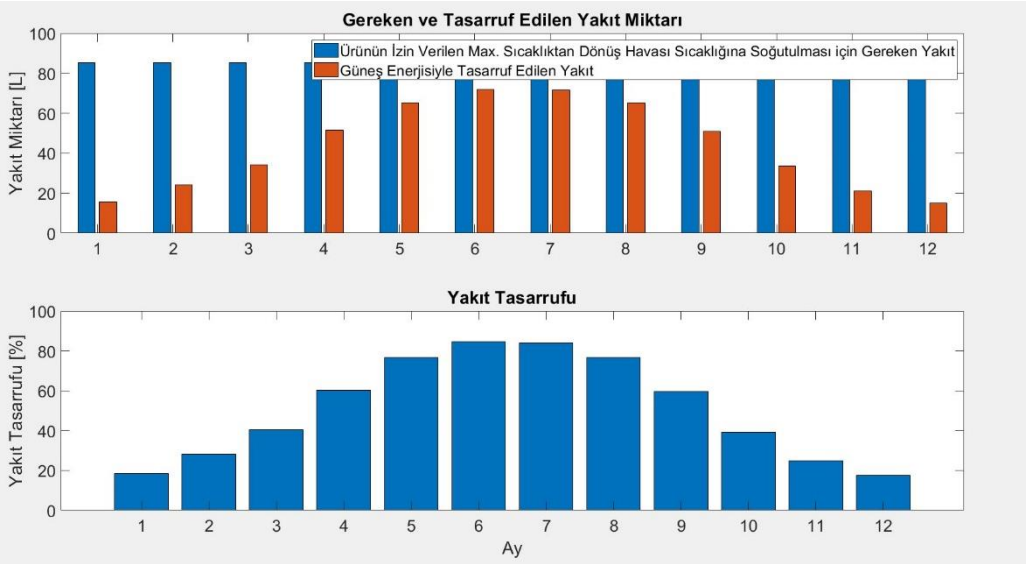
Şekil 7.15 Treylerin geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli enerji ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji

Geleneksel sistemde treylerin ürünle yüklüyken soğutulmasında enerji tüketimi ve günlük güneş ışınımıyla tasarruf edilebilecek enerji hesaplamalarının ardından treylerin ürünle yüklüyken soğutulması için soğutucu ünite motorunun harcayacağı enerji ve güneş panelleriyle kazanılabilecek enerji miktarları da karşılaştırılmıştır. Treylerin Doğu-Batı ekseninde hareket ettiği durumda temmuz ayında günlük güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulması için soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerjinin %48,741'inin güneş enerjisi ile sağlanabileceği belirlenmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durum için ise temmuz ayında günlük güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli enerjinin %59,532'sinin güneş enerjisi ile sağlanabileceği belirlenmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulmasında soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji Şekil 7.16'da gösterilmiştir.



Şekil 7.16 Treylerin geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulmasında soğutma ünitesi motorunun tüketeceği enerji ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek enerji

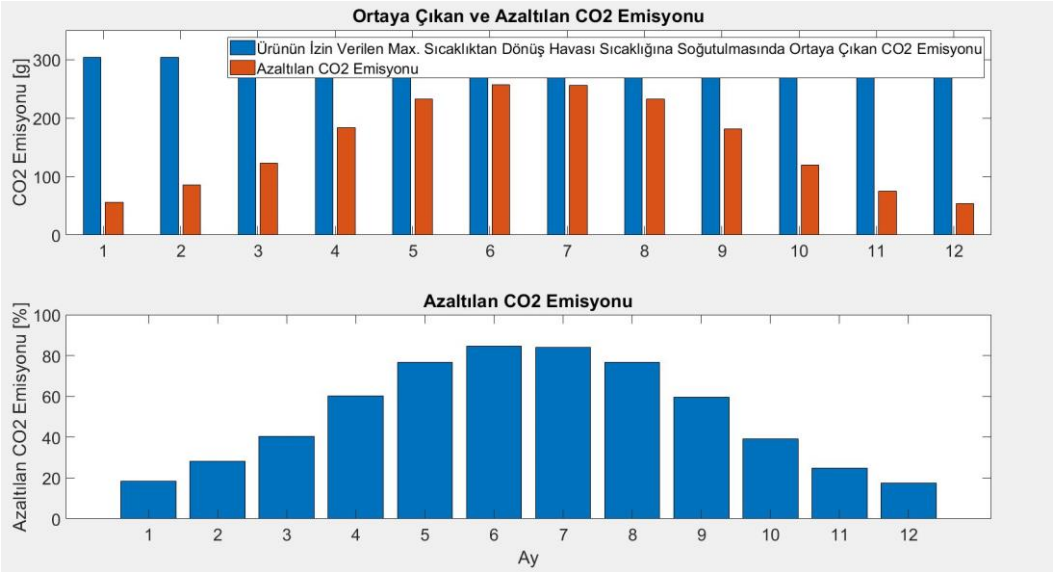
Geleneksel sistemin enerji tüketimi ve günlük güneş ışınımıyla tasarruf edilebilecek enerji hesaplamalarının ardından treylerin ürünle yüklüyken soğutulması durumunda tüketilen yakıt da hesaplanmıştır. Sonrasında ise önerilen sistem kullanılarak günlük güneş ışınımıyla tasarruf edilebilecek yakıt miktarı hesaplanmıştır. Treylerin Doğu-Batı ekseninde hareket ettiği durum için temmuz ayında günlük güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli yakıtın %68,891'inin güneş enerjisi ile sağlanabileceği belirlenmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durum için temmuz ayında günlük güneş ışınımıyla treylerin ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli yakıtın %84,143'ünün güneş enerjisi ile sağlanabileceği tespit edilmiştir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulması için tüketeceği yakıt ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek yakıt Şekil 7.17'de gösterilmiştir.



Şekil 7.17 Treylerin geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulması için gerekli yakıt ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından tasarruf edilebilecek yakıt

Bu çalışmada seçilen soğutucunun kullanıldığı geleneksel sistemde, treylerin ürünle yüklüyken soğutulması için harcanan yakıt kaynaklı oluşan emisyon 303,938 gramdır. Treylerin Doğu-Batı ekseninde hareket ettiği durum için temmuz ayında günlük güneş ışınımıyla treylerin boşken soğutulmasında ortaya çıkan emisyonun %68,891'inin önerilen sistem kullanılarak azaltılabileceği belirlenmiştir.

Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin anlık güneş ışınımıyla kullanılmasıyla azaltılan CO_2 emisyonu temmuz ayında 255,742 gramdır. Bu sonuçlara göre, CO_2 emisyonları günlük güneş ışınımıyla geleneksel sisteme kıyasla %84,143 oranında azaltılabilir. Treylerin Kuzey-Güney ekseninde hareket ettiği durumda geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulmasında ortaya çıkan emisyon ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından azaltılabilecek emisyon Şekil 7.18'de gösterilmiştir.



Şekil 7.18 Treylerin geleneksel sistemle ürünle yüklüyken soğutulmasında ortaya çıkan emisyon ve günlük güneş ışınımıyla önerilen sistem tarafından azaltılabilecek emisyon

7.2 Öneriler

Bu çalışmada, piyasada ölçüleri standart olarak belli olan frigorifik treylerlerden biri seçilmiştir. Seçilen treylerin boyutlarına bağlı olarak ürün yerleşimi ve soğutma yöntemi belirlenmiştir. Treylerin dış yalıtımı, treylerin boş olduğu ve treylerin ürünle yüklü olduğu durumda soğutulmasında hesaplamalara dahil edilmiştir. Treylerin üst ve yan yüzeylerine mono-kristal güneş panelleri yerleştirileceği varsayılmıştır. Güneş paneli yerleştirilen bu treylerin İstanbul şehri içinde sefer yapacağı varsayılmıştır. Soğutma ünitesi seçiminde piyasada satış oranı yüksek olan soğutma ünitelerinden biri seçilmiştir. Güneş ışınımı hesaplamaları hem günlük hem de anlık olarak yapılmıştır. Böylece sonuçlar hem günlük hem de günün belirli saatleri için grafikler halinde gösterilmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar yılın her ayı için grafikler halinde sunulmuştur. Bu sonuçlarda treylerin boşken soğutma durumu analiz edilmiştir. Ayrıca, treylerin içindeki ürün donmuş balık olduğunda soğutma durumu analiz edilmiştir.

Bu çalışmada piyasadan seçilen bir frigorifik treyler için temel kabuller yapılmış ve öz bir senaryo belirlenmiştir. Yapılan bu kabuller ve belirlenen bu öz senaryoda sefer yapacak olan frigorifik treylerin boşken ve ürünle yüklü olduğu iki ayrı durumda soğutulması işlemi incelenmiştir. Yüklenme durumu ve belirlenen

senaryoda sefer yapan treylerin üzerine yerleştirilen güneş panelleriyle elde edilebilecek güneş enerjisi potansiyeli belirlenmiştir. Güneş ışınımıyla elde edilebilecek olan enerjinin treylerin soğutulmasını ne ölçüde desteklediği ve soğutma işleminde ortaya çıkan emisyonun azaltılmasına olan katkısı gösterilmiştir. Burada amaç, gerçek ticari uygulamalar için böyle bir yöntemin uygulanabilirliğini göstermektir.

Çalışmada aracın sadece Kuzey-Güney ve Doğu-Batı eksenlerinde hareket ettiği varsayılmıştır. Işınım hesaplaması, aracın tam konumunun belirlenmesi halinde daha gerçekçi sonuçlar verebilir. Treyler ürünle yüklendiğinde, ürünün taşıma süresi genellikle günlük güneşlenme süresinden daha uzundur. Bu nedenle, ürünü soğutmak için gereken enerji günlük toplam güneş ışınımından oldukça yüksektir. Ayrıca soğutma ünitesi taşıma süresi boyunca aralıklı olarak çalışmaktadır. Ürün, taşıma sırasında izin verilen maksimum sıcaklığa ulaştığında soğutma ünitesi çalışır. Ürünün sıcaklığı izin verilen muhafaza sıcaklığına düştüğünde ise soğutma ünitesi çalışmayı durdurur. Ürün taşıyan aracın rotasına bağlı olarak soğutma ünitesinin çalışmadığı aralıklarda güneş panelleriyle üretilen enerji depolanabilir. Ayrıca soğutma ünitesinin çalışmadığı zaman aralığı, ürünün soğutulma süresine göre oldukça fazladır. Bu sebeplerle, bu çalışmanın aracın tam konumunun belirlenebildiği bir rota boyunca yapılması, soğutmalı ürün taşımacılığında güneş enerjisi kullanımıyla tasarruf edilebilecek yakıt miktarı ve azaltılabilecek emisyon konusunda daha kesin sonuçlar verecektir.

Bu çalışmada soğutmalı ürün taşımacılığında güneş enerjisinin kullanımı fikriyle soğutmalı treyler için güneş enerjisi potansiyeli belirlenmiştir. Güneş enerjisi potansiyeli belirlenirken yapılan kabuller çalışma içinde detaylıca açıklanmıştır. Güneş enerjisinden elde edilebilecek enerji ve elde edilebilecek enerjiye bağlı olarak tasarruf edilebilecek yakıt ve azaltılabilecek emisyon değerlerine ulaşılmasında güneş panellerinin verimleri de etkilidir. Güneş panellerinin verim değerini arttırmak için yapılan çalışmalarla birlikte soğutmalı ürün taşımacılığında güneş kaynaklı elde edilebilecek enerji, bu çalışma kapsamında belirlenmiş olan güneş enerjisi potansiyeline yaklaşacaktır.

KAYNAKÇA

[1] M. Shravanth Vasisht, G. A. Vashista, J. Srinivasan, and S. K. Ramasesha, "Rail coaches with rooftop solar photovoltaic systems: A feasibility study," Energy, vol. 118, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2016.10.103.

[2] M. Kühnel, B. Hanke, S. Geißendörfer, K. von Maydell, and C. Agert, "Energy forecast for mobile photovoltaic systems with focus on trucks for cooling applications," Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 25, no. 7, 2017, doi: 10.1002/pip.2886.

[3] S. H. Mak, J. Mei, X. Cheng, and K. W. E. Cheng, "Solar electric refrigerator truck development program," in 2017 7th International Conference on Power Electronics Systems and Applications - Smart Mobility, Power Transfer and Security, PESA 2017, 2017. doi: 10.1109/PESA.2017.8277784.

[4] M. Centeno Brito, T. Santos, F. Moura, D. Pera, and J. Rocha, "Urban solar potential for vehicle integrated photovoltaics," Transportation Research Part D: Transport and Environment, vol. 94, 2021, doi: 10.1016/j.trd.2021.102810.

[5] T. A. Komako, A. K. Townsend, I. N. Jiya, and R. Gouws, "Smart cooling system for milk transportation in rural areas," in 2021 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference, IEMTRONICS 2021 - Proceedings, 2021. doi: 10.1109/IEMTRONICS52119.2021.9422554.

[6] A. Rossetti, S. Marinetti, P. Artuso, F. Fabris, and S. Minetto, "Implementation of a solar aided refrigration unit for refrigerated trucks employing photovoltaic generators," Energy Reports, vol. 8, 2022, doi: 10.1016/j.egyr.2022.05.284.

[7] M. A. ben Taher, M. Ahachad, M. Mahdaoui, Y. Zeraouli, and T. Kousksou, “A survey of computational and experimental studies on refrigerated trucks,” Journal of Energy Storage, vol. 47. 2022. doi: 10.1016/j.est.2021.103575.

[8] H. N. Patel and K. v. Modi, “Recent advances in performance enhancement techniques and the perspective of solar energy for automobile air-conditioning system-a critical review,” Solar Energy, vol. 241. 2022. doi: 10.1016/j.solener.2022.06.003.

[9] TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI. “350 ppm nedir?” İzmir, Türkiye, 2010. Online. Mevcut: https://www.emo.org.tr/ekler/0278b30844ad239_ek.pdf?dergi=619 (Erişim Tarihi: 09/09/2024 13.32).

[10] P. R. Shukla, J. Skea, A. Reisinger, et al, "Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change", Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2021).

[11] Ağır Ticari Araçlar Derneği (TAİD), URL: https://www.taid.org.tr/rapor (Erişim Tarihi: 13/01/2023 16.28).

[12] S. H. I. Jaffery et al., “The potential of solar powered transportation and the case for solar powered railway in Pakistan,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 39. 2014. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.025.

[13] A. Fernández, T. Spencer, et al, “Net Zero Roadmap”, International Energy Agency, 2023 Update, September 2023.

[14] REN21, “Renewables 2023 Global Status Report,” 2023.

[15] Dünyanın Yıllık Hareketi ve Sonuçları, URL: https://pasifikcografya.blogspot.com/2019/09/dunyann-yllk-hareketi-ve-sonuclar.html (Erişim Tarihi: 26/11/2023 16.28).

[16] A. Yiğit ve İ. Atmaca, Güneş Enerjisi Mühendislik Uygulamaları, DORA Basım-Yayın Dağıtım, 2018.

[17] Gençoğlu Eda, “Güneş pili ile çalışan bir su pompalama sisteminin tasarımı ve gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2015.

[18] H. Bulut, “Bina enerji analizi ve güneş enerji sistemleri için eğimli yüzeylere gelen toplam güneş ışınım şiddeti değerlerinin hesaplanması”, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 435-448, 2009.

[19] J. K. Brecht, S. A. Sargent, P. E. Brecht, J. Saenz, and L. Rodowick, “Protecting Perishable Foods During Transport by Truck and Rail,” EDIS, vol. 2019, no. 2, 2019, doi: 10.32473/edis-hs1328-2019.

[20] Entegre soğutmalı konteyner, URL: https://klingecorp.com/chemical/dual-redundant-nose-mount-refrigeration-unit/ (Erişim Tarihi: 14/03/2024 12.39).

[21] Entegre soğutmalı konteyner içerisindeki hava akışı, URL: https://home.kuehne-nagel.com/en/-/knowledge/what-is-a-reefer-container (Erişim Tarihi: 14/03/2024 13.43).

[22] Soğutmalı treyler ve soğutma ünitesi, URL: https://www.thermoking.com/na/en/newsroom/2022/06-june/electrification-walmart-partnership-battery-electric-refrigerate.html (Erişim Tarihi: 14/03/2024 14.42).

[23] Soğutmalı treyler içerisindeki hava akışı, URL: https://powertorque.com.au/air-flow-can-be-tricky/ (Erişim Tarihi: 14/03/2024 15.33).

[24] Çok sıcaklıklı soğutmalı treylerin şematik gösterimi, URL: https://www.truckfrigo.com/products/refrigeration-truck-body/refrigeration-truck-body/insulated-panels-for-refrigerated-vehicle-body.html (Erişim Tarihi: 18/03/2024 15.19).

[25] Hui K. P. Catherine, “Air circulation inside refrigerated semi-trailers transporting fresh produce”, Master thesis, Department of Agricultural and Biosystems Engineering, Montreal, 2001.

[26] Lojistik Sektöründe Gıda Kaybını Önlemeye ve Azaltmaya Yönelik Kılavuz, URL: https://www.tarimorman.gov.tr/ABDGM/Belgeler/Uluslararas%C4%B1%20Kurulu%C5%9Flar/G%C4%B1dan%C4%B1%20Koru%20Lojistik%20K%C4%B1lavuzu.pdf (Erişim Tarihi: 20/03/2024 12.29).

[27] Güler Tayfun, “Klimatik Kontrollü Treyler İçerisindeki Hava Akışının Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2021.

[28] Refrigerated Vehicles, URL: https://sonomotors.com/ (Erişim Tarihi: 11/04/2024 11.16).

[29] Refrigerated or reefer trailer, URL: https://www.dsv.com/en-us/our-solutions/modes-of-transport/road-transport/trailer-sizes/refrigerated-trails-reefers (Erişim Tarihi: 10/04/2024 15.45).

[30] Thermo King SLXi Ünite Broşürü, URL: https://www.thermoking.com.tr/urunler/treyler/slxi-serisi-ve-ozellikleri/slxi-400 (Erişim Tarihi: 10/04/2024 14.42).

[31] Y. A. Cengel ve M. A. Boles, Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla, PALME Yayıncılık, 2014.

[32] Yakıtların Tep Dönüşümü Tablosu ve Birim Çevirici, URL: https://eyoder.org.tr/wp-content/uploads/2023/06/Donusturucu-3.xlsx (Erişim Tarihi: 09/08/2024 14.56).

[33] R. A. Barnitt vd.., "Emissions of Transport Refrigeration Units with CARB Diesel, Gas-to-Liquid Diesel and Emissions Control Devices," SAE Technical Papers on CD-ROM/SAE Technical Paper Series, Kasım. 2009, doi: 10.4271/2009-01-2722.

[34] Amorf-Silisyum güneş panelleri, URL: https://turkish.alibaba.com/product-detail/China-Factory-Wholesale-50W-100W-200W-1601197666311.html?spm=a2700.7724857.0.0.412f11b5C9LfCm (Erişim Tarihi: 26/09/2024 11.18).

[35] Çoklu invertör, URL: https://www.todoensolar.com/epages/61987244.sf/en_GB/?ObjectPath=/Shops/61987244/Products/ICM-AX-1000-24/SubProducts/ICM-AX-3000-24 (Erişim Tarihi: 26/09/2024 11.18).

[36] TIRSAN T.SRI C/10-12/27, URL: https://tirsan.com.tr/tirsan-buz-frigo/ buz-frigo/tsri-c-10-12-27 (Erişim Tarihi: 27/09/2024 15.16).

[37] M. J. Du Plessis, J. Van Eeden, L. Goedhals-Gerber, and J. Else, "Calculating fuel usage and emissions for refrigerated road transport using Real-World data," Transportation Research Part D Transport and Environment, vol. 117, p. 103623, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.trd.2023.103623.

[38] B. K. Kumbhar, R. S. Agarwal, and K. Das, “Thermal properties of fresh and frozen fish,” International Journal of Refrigeration, vol. 4, no. 3, pp. 143–146, May 1981, doi: 10.1016/0140-7007(81)90107-9.

[39] Y. A. Çengel and A. J. Ghajar, Heat and Mass Transfer, 6th Edition, SI Units. 2020.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Y. T. İsmailoğlu ve D. Ulusarslan, "Theoretical Investigation of Solar Energy Assisted Cooling in Refrigerated Trailers," 14th INTERNATIONAL EXERGY, ENERGY, AND ENVIRONMENT SYMPOSIUM, İstanbul, Türkiye, pp.279-282, 2023