BIOSB Yeşil Dönüşüm Yol Haritası: Çevresel Etki Tahmini ve Sürdürülebilirlik Stratejileri

Prof.Dr. Afşın Yusuf ÇETİNKAYA
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER 1
TABLOLAR LİSTESİ 5
ŞEKİLLER LİSTESİ 7
Yönetici Özeti 9
1. BÖLÜM 11
Giriş ve Amaç 11
2. BÖLÜM 12
2.1 Enerji Altyapısı ve Tasarım Kapasitesi 12
2.2 Su Yönetimi ve Yağmur Suyu Altyapısı 12
2.3 Atık Yönetimi Planı 13
2.4 Ulaşım, Lojistik ve Karbon Ayak İzi 13
2.5 Biyoçeşitlilik ve Arazi Kullanımı 13
2.6 Genel Değerlendirme 14
3. BÖLÜM 15
Sera Gazı Envanteri (GHG Inventory – Kuruluş ve Planlama Aşaması, 2024) 15
3.1 Giriş ve Metodolojik Çerçeve 15
3.2 Emisyon Kapsamları ve Hesaplama Yaklaşımı 15
3.3 Baz Yıl Senaryosu (2026) 15
3.4 2030 Tam Kapasite Senaryosu 16
3.5 Emisyon Dağılımı ve Göstergeler 17
3.6 Karbon Nötrlük ve Azaltım Hedefi 17
3.7 Değerlendirme 18
4. BÖLÜM 19
4.1 YDA Çalışmasının Amacı ve Kapsamı 19
4.2 Sistem Sınırları ve Fonksiyonel Birim 19
4.3 Veri Kaynakları ve Varsayımlar 19
4.4 Etki Kategorileri 20
4.5 YDA Bulguları ve Görsel Referanslar 20

4.6 Hotspot" (En Yüksek Etkiye Sahip Aşamalar) Analizi 21
4.7 İyileştirme Senaryoları 21
4.8 Genel Değerlendirme 22
5. BÖLÜM 23
İklim Eylem Planı 23
5.1 Giriş 23
5.2 Hedefler 23
5.3 Azaltım (Mitigation) Stratejileri 23
5.4 Uyum (Adaptasyon) Stratejileri 24
5.5 İzleme, Raporlama ve Doğrulama (MRV) Mekanizması 25
5.6 Net Sıfır 2053 Yol Haritası 25
5.7 Değerlendirme 26
6. BÖLÜM 28
Dijital Dönüşüm ve Akıllı OSB Yaklaşımı 28
6.1 Giriş 28
6.2 Dijital OSB'nin Ana Unsurları 28
6.3 Dijital İkiz Uygulaması 29
6.4 Yapay Zekâ (AI) Entegrasyonu 29
7. BÖLÜM 31
Sürdürülebilirlik Göstergeleri (KPI'lar) 31
7.1 Giriş 31
7.2 Performans Göstergeleri ve Hedefler 31
7.2.1 Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji 31
7.2.2 Su Yönetimi ve Döngüsel Kullanım 32
7.2.3 Atık Yönetimi ve Döngüsel Ekonomi 32
7.2.4 Karbon Emisyonları ve Enerji Kaynaklı Göstergeler 33
7.2.5 Yeşil Altyapı ve Ekosistem Göstergeleri 34
7.2.6 Dijitalleşme ve Veri Yönetimi 34
7.2.7 Sosyal ve Ekonomik Göstergeler 35
7.3 Su Ayak İzi ve Su Döngüselliği Analizi (ISO 14046, kuruluş aşaması) 35
7.4 Hava Kalitesi Dağılım Modeli (AERMOD/WRF-Chem) – kuruluş aşaması ve dönüşüm senaryoları 36

7.5 Mikroiklim ve Isıl Konfor Simülasyonu (CFD/ENVI-met) – sıcak nokta haritaları ve gölgelendirme/yeşil altyapı optimizasyonu 38
7.6 Yağış–Taşkın Risk Modeli (SWMM / HEC-RAS 2D) – yüzey akış, su birikimi ve drenaj optimizasyonu 40
7.7 Gürültü ve Titreşim Analizi (ISO 9613-2 / ISO 1996 / ISO 2631-2; modelleme temelli senaryo değerlendirmesi) 41
7.8 Kaynak Verimliliği Analizi (Resource Efficiency Assessment – UNIDO Metodolojisi) 43
7.9 Sosyal Yaşam Döngüsü Analizi (S-LCA) – istihdam, eğitim, iş sağlığı-güvenliği ve toplumsal fayda göstergeleri 44
7.10 İklim Dayanıklılığı ve Uyum Analizi (ISO 14091; Sel, Sıcak Hava Dalgası, Enerji Kesintisi Senaryoları İçin Kırılganlık ve Adaptasyon Planı) 46
7.11 Döngüsel Ekonomi Göstergeleri (Circularity Metrics Framework – MCI/CI, BIOSB için baz ve 2030 hedefi) 48
7.12 YDA sonuçları 50
7.12.1 Genel Gözlem 65
7.12.2 Etki Kategorilerine Göre Ayrıntılı Analiz 65
7.12.3 Genel Değerlendirme 66
7.12.4 Politika ve Yönetim Önerileri 66
7.13 İzleme Mekanizması 68
7.14 Genel Değerlendirme 68
8. BÖLÜM 69
8.1 Giriş 69
8.2 Yeşil Dönüşümün Ekonomik Faydaları 69
8.3 Rekabet Avantajı ve Yeşil OSB Kimliği 70
8.4 Sosyal Etkiler 70
8.5 Uzun Vadeli Bölgesel Etkiler 71
8.6 Genel Değerlendirme 71
9. BÖLÜM 73
Politika ve Mevzuat Uyumu 73
9.1 Giriş 73
9.2 Türk Mevzuatı ile Uyum 73
9.3 Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı (EU Green Deal) ile Uyum 74
9.4 SKDM (Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması – CBAM) Uyumu 74

9.5 AB Taksonomisi ve Yeşil Finans Uyumu 75
9.6 Türkiye 2053 Net Sıfır Emisyon Stratejisi ile Uyum 75
9.7 Genel Değerlendirme 76
10. BÖLÜM 78
10.1 Genel Değerlendirme 78
10.2 Bulguların Özeti 78
10.3 Kısa Vadeli Öneriler (2026–2030) 79
10.4 Orta Vadeli Öneriler (2030–2040) 79
10.5 Uzun Vadeli Öneriler (2040–2053) 80
10.6 Stratejik Sonuç 80
11. BÖLÜM 81
İklim Eylem Planı 81
11.1 Genel Değerlendirme 95
11.2 Kısa Vadeli Öneriler (2024–2030) 96
11.3 Orta Vadeli Öneriler (2030–2040) 96
11.4 Uzun Vadeli Öneriler (2040–2053) 97
11.5 Stratejik Sonuç 97

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1: BIOSB 2026 Baz Yılı Sera Gazı Envanteri ve Emisyon Kaynakları 16

Tablo 2: BIOSB 2030 Tam Kapasite Emisyon Projeksiyonu ve Azaltım Önlemleri 16

Tablo 3: BIOSB Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) Kapsamında Değerlendirilen Çevresel Etki Kategorileri 20

Tablo 4: Çevresel İyileştirme Senaryoları ve Etki Azaltım Potansiyeli 21

Tablo 5: BIOSB İklim Eylem Planı Kapsamında Belirlenen Dönemsel Emisyon Azaltım Hedefleri 23

Tablo 6: BIOSB 2053 Net Sıfır Emisyon Yol Haritası ve Aşamalı Hedefler 25

Tablo 7: BIOSB Enerji Yönetimi ve Karbon Nötrlük Stratejileri Göstergeleri (2025–2053 Yol Haritası) 31

Tablo 8: BIOSB Su Yönetimi ve Döngüsel Su Kullanım Göstergeleri (2026–2053 Yol Haritası) 32

Tablo 9: BIOSB Atık Yönetimi, Geri Dönüşüm ve Enerji Geri Kazanımı Göstergeleri (2025–2053 Yol Haritası) 33

Tablo 10 BIOSB Sera Gazı Emisyon Yönetimi ve Karbon Nötrlük Göstergeleri (2026–2053 Yol Haritası) 33

Tablo 11 BIOSB Mikroiklim ve Yeşil Altyapı Performans Göstergeleri (2025–2053 Yol Haritası) 34

Tablo 12 BIOSB Dijital İzleme, MRV ve Akıllı Altyapı Göstergeleri (2025–2053 Yol Haritası) 34

Tablo 13 BIOSB Sosyal Sürdürülebilirlik, İstihdam ve Ar-Ge Göstergeleri (2026–2053 Yol Haritası) 35

Tablo 14 BIOSB Yeşil Dönüşüm Stratejik Öncelikleri ve Beklenen Çevresel Kazanımlar 67

Tablo 15 BIOSB Faaliyet Alanlarının AB Yeşil Taksonomisi Kategorileri ile Eşleştirilmesi 75

Tablo 16 BIOSB Kısa Vadeli (2026–2030) Yeşil Dönüşüm Uygulamaları ve Beklenen Sonuçlar 79

Tablo 17 BIOSB Orta Vadeli (2030–2040) Yeşil Dönüşüm Önerileri ve Beklenen Kazanımlar 79

Tablo 18 BIOSB Uzun Vadeli (2040–2053) Net Sıfır Stratejileri ve Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri 80

Tablo 19 BIOSB Kısa Vadeli Yeşil Dönüşüm Öncelikleri (2026–2030) 96

Tablo 20 BIOSB Orta Vadeli Sürdürülebilirlik Stratejileri (2030–2040) 96

Tablo 21 BIOSB Uzun Vadeli Net Sıfır ve Sosyal Dönüşüm Stratejileri (2040–2053) 97

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1: OSB Çevresel Etki Karakterizasyonu (Mevcut Durum – Dijitalleşme Senaryosu) 51

Şekil 2: OSB'nin Mevcut Durumu ve Yeşil Alan (Green Field) Senaryosu Arasındaki Hasar Düzeyi Karşılaştırması 53

Şekil 3: OSB'nin Mevcut Durumu ve Yeşil Alan (Green Field) Senaryosu Arasındaki Orta Uç Nokta (Midpoint) Karakterizasyon Sonuçları 55

Şekil 4: OSB'nin Mevcut Durumu ve Güneş Enerjisi (PV) Entegrasyonu Arasındaki Hasar Düzeyi Karşılaştırması 57

Şekil 5: OSB'nin Mevcut Durumu ve Yağmur Suyu Hasadı (Rain Harvest) Senaryosu Arasındaki Orta Uç Nokta (Midpoint) Karakterizasyon Sonuçları 58

Şekil 6: OSB'nin Mevcut Durumu ve Tam Karbon Azaltımı (Total Decarbonization) Senaryosu 60

Şekil 7: OSB'nin Mevcut Durumu ve Tam Karbon Azaltımı (Total Decarbonization) Senaryosu Arasındaki Orta Uç Nokta (Midpoint) Karakterizasyon Sonuçları 61

Şekil 8: OSB'nin Mevcut Durumu ve Atık Isı Geri Kazanımı (Waste Heat Recovery) Senaryosu Arasındaki Hasar Düzeyi Karşılaştırması 63

Şekil 9: OSB'nin Mevcut Durumu ve Atık Isı Geri Kazanımı (Waste Heat Recovery) Senaryosu Arasındaki Orta Uç Nokta (Midpoint) Karakterizasyon Sonuçları 64

Şekil 10: Rüzgar Gülü – BIOSB 81

Şekil 11: Aylık Yağış Dağılımı (mm) – İstanbul Ortalaması 82

Şekil 12: Balçık Dere Yönelimi ve Yüzey Akış Eğilimleri 84

Şekil 13: Aylık Ortalama Güneşlenme Süresi ve Küresel Radyasyon (ölçek: her ▮ ≈ 10 saat) 85

Şekil 14: Thornthwaite Su Fazlası/Noksanı (temsili – ÇED verileri) 86

Şekil 15: Rüzgar Konfot Zonları (Lawson Esinli) 87

Şekil 16: Yağış-Şiddet-Süre-Tekerrür (IDF) Eğrileri - Temsili 89

Şekil 17: PMV Isıl Konfor Haritesı (temsili) 90

Şekil 18: UTCI-benzeri Isıl Stres Haritası (Proxy) 92

Şekil 19: Aylık Yağmur Suyu Hasadı Potansiyeli (m^3) – Farklı Çatı Oranları 93

Şekil 20: Rüzgar Koridoru – KD Esinti Altındaki Akış Çizgileri (Şematik) 94

Şekil 21: BIOSB - Karbon Yoğunluk Haritası (Carbon Mapping) 98

Şekil 22: Biyoteknoloji İhtisas OSB – Elektirifikasyon Potansiyeli ve Emisyon Azaltımı Diyagramı 99

Şekil 23: BIOSB – Endüstriyel Simbiyoz Ağı (Circularity Map)..... 100

Yönetici Özeti

Biyoteknoloji İhtisas Organize Sanayi Bölgesi (BIOSB), İstanbul ilinin Tuzla ilçesinde, yaklaşık 2,6 km²'lik bir alan üzerinde kurulmakta olup, Türkiye'nin ileri teknoloji temelli biyoteknoloji üretim üssü olma hedefiyle faaliyet göstermektedir. Bu rapor, BIOSB'nin yeşil dönüşüm yol haritasının belirlenmesi, iklimsel risklerin değerlendirilmesi, sera gazı azaltım stratejilerinin geliştirilmesi ve sürdürülebilirlik göstergelerinin tanımlanması amacıyla hazırlanmıştır.

Çalışma, uluslararası standartlara uygun metodolojilerle gerçekleştirilmiştir.

- Sera Gazı Envanteri (GHG): IPCC (2006) ve ISO 14064 standartlarına göre, enerji tüketimi, yakıt kullanımı, atık yönetimi ve lojistik faaliyetler dikkate alınarak Kapsam 1-2-3 emisyonları hesaplanmıştır.
- Yaşam Döngüsü Analizi (YDA): OSB'nin enerji, su ve atık yönetimi süreçleri "beşikten mezara" sistem sınırında incelenmiş; küresel ısınma potansiyeli (GWP), asitlenme potansiyeli (AP), ötrifikasyon (EP) ve enerji tüketim göstergeleri analiz edilmiştir.
- Mikroiklim Analizi: Nihai ÇED Raporu verileri temel alınarak, OSB'nin iklimsel dinamikleri ve yüzeysel akış özellikleri modellenmiştir

Ana Bulgular

1. İklimsel Yapı:

   BIOSB, kuzeydoğu yönlü hâkim rüzgârların etkisinde olup, yıllık ortalama sıcaklık 14,5 °C ve yıllık yağış miktarı 690,5 mm'dir. Yaz aylarında belirgin ısıl stres gözlenmekte, kış aylarında ise yüzeysel akış artmaktadır.

2. Enerji ve Emisyonlar:

   Elektrik tüketimi tahmini toplam karbon ayak izinin yaklaşık %65'ini oluşturmakta; doğalgaz kullanımı ve proses ısısı kaynaklı Kapsam 1 emisyonları toplam emisyonun %25'ine karşılık gelmektedir.

3. Su Yönetimi:

   Yıllık tahmini su tüketimi 700.000 m³ civarındadır. Yağmur suyu hasadı (Şekil C2) analizine göre, %50 çatı oranı ve %85 verimle yılda yaklaşık 1,9 milyon m³ su geri kazanılabilir.

4. Atık Yönetimi:

   Toplam atığın %68'i tehlikesiz olup, geri dönüşüm oranı %45'tir. 2030 yılı hedefi bu oranın %70'e çıkarılmasıdır.

5. Mikroiklim ve Konfor:

   PMV (Şekil 17) ve UTCI (Şekil 18) analizleri, yaz aylarında 35–38 °C sıcaklıkta konforun bozulduğunu; 2 m/s rüzgâr hızının konforu geri kazandırdığını göstermektedir.

Öneriler

- Enerji: Çatı GES uygulamalarıyla yenilenebilir enerji oranı %10'dan %45'e çıkarılabilir.
- Su: Yağmur suyu hasadı ve gri su sistemleri ile su geri kazanımı %30 seviyesine ulaşabilir.
- Atık: Tehlikesiz atıkların %70'inin yeniden kullanımına yönelik "BiyoAtık Döngü Merkezi" kurulması önerilmektedir.
- Ulaşım: Elektrikli servis araçları ve şarj altyapısı ile yıllık 450 ton CO_2 azaltımı mümkündür.
- İklim Uyum: Yeşil koridorlar, geçirgen yüzeyler ve su dengeleme havuzlarıyla aşırı yağış riskleri azaltılabilir.

1. BÖLÜM

Giriş ve Amaç

BIOSB, İstanbul ili Tuzla ilçesi sınırlarında yer almakta olup, Türkiye'nin biyoteknoloji odaklı ilk ihtisas OSB'si olarak yüksek katma değerli üretim, yenilikçilik ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda planlanmaktadır. 2024 yılında kurulan BIOSB, yalnızca bir üretim alanı değil, aynı zamanda yeşil dönüşüm, dijitalleşme ve iklim uyumlu sanayi planlamasının entegre edildiği bir model OSB olarak konumlandırılmıştır.

Bu raporun hazırlanmasındaki temel amaç, BIOSB'nin planlama ve işletme sürecinde ortaya çıkabilecek çevresel etkileri önceden değerlendirmek, sürdürülebilirlik kriterleri çerçevesinde önleyici stratejiler geliştirmek ve uzun vadede 2053 Net Sıfır Emisyon Hedefi ile uyumlu bir yol haritası oluşturmaktır.

Çalışma, Nihai ÇED Raporu, IPCC 2006 Kılavuzları, ISO 14040/44 (Yaşam Döngüsü Analizi) ve ISO 14064 (Sera Gazı Envanteri) standartları temel alınarak hazırlanmıştır. Ayrıca, Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı, Türkiye Yeşil Sanayi Eylem Planı (2023–2030) ve Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın Yeşil OSB kriterleri dikkate alınmıştır.

Bu kapsamda raporun amaçları şu şekilde özetlenebilir:

- BIOSB'nin kuruluş, planlama ve işletme aşamalarında enerji, su, atık ve karbon yönetimi süreçlerinin çevresel performansını değerlendirmek,
- Sera gazı envanteri oluşturarak Kapsam 1-2 emisyon kaynaklarını ve azaltım potansiyellerini belirlemek,
- Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) yoluyla OSB'nin sistematik çevresel etkilerini (GWP, AP, EP, enerji talebi) hesaplamak,
- İklim Eylem Planı geliştirerek kısa, orta ve uzun vadeli karbon azaltım ve uyum hedeflerini tanımlamak,
- Dijital ikiz ve yapay zekâ tabanlı izleme sistemleri ile BIOSB'nin sürdürülebilirlik performansını ölçülebilir hale getirmek,
- Yeşil finansman, AB taksonomisi ve SKDM (CBAM) gibi uluslararası düzenlemelerle uyumlu bir yönetim modeli ortaya koymak.

Bu rapor, yalnızca çevresel bir değerlendirme değil, aynı zamanda BIOSB'nin Türkiye'nin yeşil sanayi dönüşümüne öncülük eden bir "biyoteknoloji ekosistemi" olarak konumlandırılmasını hedefleyen stratejik bir belgedir. Çalışmanın sonucunda elde edilen göstergeler, OSB yönetimine, yatırımcılara ve kamu kurumlarına rehberlik edecek; bölgenin "düşük karbonlu, döngüsel ve dijitalleşmiş üretim kampüsü" vizyonuna ulaşması için uygulanabilir eylem planlarını içerecektir.

2. BÖLÜM

2.1 Enerji Altyapısı ve Tasarım Kapasitesi

BIOSB'nin enerji altyapısı, ileri teknoloji üretim tesislerinin yüksek elektrik gereksinimini karşılayacak şekilde tasarlanmaktadır. Kurulum sürecinde planlanan toplam kurulu güç 60 MVA olup, bu değer orta ölçekli 40 sanayi tesisinin eşzamanlı çalışmasına yetecek kapasitededir.

Enerji dağıtım sistemi çift beslemeli olarak kurulacak, iki bağımsız trafo merkezi ve yeraltı kablo hattı aracılığıyla kesintisiz enerji sağlanacaktır. Sistem, ilerleyen yıllarda akıllı enerji izleme (SCADA) ve IoT tabanlı sayaç altyapısıyla desteklenecektir.

Henüz üretim başlamamış olmakla birlikte, planlamaya göre yıllık elektrik tüketimi, üretim faaliyetine geçildikten sonraki ilk beş yılda yaklaşık 45.000–50.000 MWh/yıl düzeyine ulaşacaktır. Enerji ihtiyacının dağılımı şu şekilde öngörülmektedir:

- %70 üretim ve laboratuvar süreçleri (reaktör, soğutma, sterilizasyon)
- %20 bina HVAC sistemleri (ısıtma-soğutma)
- %10 idari, aydınlatma ve sosyal tesisler

Yenilenebilir enerji kullanımı, BIOSB'nin kuruluş vizyonunun temel unsurlarındandır. Toplam çatı alanının yaklaşık 1,04 km²'sinin uygun olduğu hesaplanmış olup, bu alanın %50'sine kurulacak çatı tipi güneş enerji santrali (GES) ile OSB'nin elektrik ihtiyacının %40–45'inin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması planlanmaktadır. Ayrıca, üretim sürecinde oluşacak atık ısının ısı değiştiriciler aracılığıyla geri kazanılması sayesinde enerji verimliliğinde %10–12 iyileşme öngörülmektedir.

2.2 Su Yönetimi ve Yağmur Suyu Altyapısı

OSB'nin su temini altyapısı, kuruluş aşamasında İSKİ ana şebekesine bağlı olarak planlanmıştır. Ancak uzun vadede, şebeke bağımlılığını azaltmak ve döngüsel su yönetimini geliştirmek amacıyla alternatif kaynakların kullanımı hedeflenmektedir.

Nihai ÇED Raporu'nda yer alan ortalama yağış verilerine göre, bölgenin yıllık ortalama yağışı 690,5 mm'dir. Bu veriler temel alınarak yapılan Yağmur Suyu Hasadı Analizi (Şekil 19) sonuçları, BIOSB'de yağmur suyu depolama sistemleri için büyük bir potansiyel olduğunu göstermektedir. Analize göre:

- %50 çatı oranı ve %85 toplama verimiyle yılda yaklaşık 1,9 milyon m³ yağmur suyu toplanabilir.
- Bu miktar, OSB'nin planlanan yıllık su ihtiyacının (yaklaşık 700.000 m³/yıl) yaklaşık 3 katına eşdeğerdir.

Bu nedenle proje kapsamında, her parsel için yağmur suyu toplama ve depolama tankları zorunlu tutulacak, ayrıca ana drenaj hattı üzerinde dengeleme havuzları ve filtrasyon yapıları oluşturulması önerilmektedir.

Atıksu yönetimi için ise 2025 yılında işletmeye alınacak merkezi ileri biyolojik arıtma tesisi planlanmıştır. Bu tesisin ilk etap kapasitesi 5.000 m³/gün, ikinci etap hedef kapasitesi ise 8.000 m³/gün'dür. Arıtılmış suyun %50'sinin yeşil alan sulaması, proses ön yıkama ve yangın suyu rezervuarlarında yeniden kullanılması hedeflenmektedir.

2.3 Atık Yönetimi Planı

Henüz üretim başlamamış olmakla birlikte, OSB'nin sektörel yapısı gereği oluşacak atık profili önceden belirlenmiştir. BIOSB'de faaliyet gösterecek işletmelerin büyük bölümü biyoteknoloji, kimya, ilaç ve laboratuvar temelli olacaktır. Bu nedenle atık karakterizasyonu, yüksek oranda tehlikeli atık (solvent, kimyasal, biyolojik) içerecektir.

Ön fizibiliteye göre, işletmeler faaliyete geçtiğinde yıllık toplam atık miktarının yaklaşık 10.000–12.000 ton civarında olacağı, bunun %30–35'inin tehlikeli, %65–70'inin tehlikesiz olacağı öngörülmektedir. OSB içinde kurulacak Atık Geçici Depolama ve BiyoAtık Yönetim Merkezi, hem kimyasal hem de organik laboratuvar atıkları için lisanslı toplama noktası işlevi görecektir.

Ayrıca, BiyoAtık Döngü Merkezi projesi kapsamında, laboratuvar kaynaklı organik atıkların biyogaz üretimi veya kompostlaştırma yöntemiyle değerlendirilmesi planlanmaktadır. Bu sistem, 2030 yılı itibarıyla tehlikesiz atıkların %70'inin geri kazanılmasını hedeflemektedir.

2.4 Ulaşım, Lojistik ve Karbon Ayak İzi

Kuruluş aşamasında olan BIOSB'de, iç ulaşım ağı ve çevre bağlantı yolları inşaat halindedir. D-100 karayoluna 3 km, TEM otoyoluna 6 km, Sabiha Gökçen Havalimanı'na 8 km mesafededir.

OSB içi ulaşım planlamasında düşük karbonlu hareketlilik temel alınmıştır. Yeni ulaşım planına göre:

- Yol ağının %12'si yaya ve bisiklet yolları,
- %8'i yeşil koridor (hava akışı ve mikroklimatik serinleme için) olarak tasarlanacaktır. İlerleyen aşamalarda elektrikli servis araçları, forklift ve hafif yük taşıma sistemlerinin %100 elektrikli olması hedeflenmektedir.

Henüz fiilî ulaşım kaynaklı sera gazı verileri bulunmadığından, ön projeksiyonlara göre yıllık yaklaşık 2.500 ton CO_2e ulaşım kaynaklı emisyon öngörülmektedir. Bu değerin, elektrikli servis dönüşümüyle %40 azaltılması planlanmaktadır.

2.5 Biyoçeşitlilik ve Arazi Kullanımı

BIOSB sahası, deniz seviyesinden ortalama 38–42 m yükseklikte, düşük eğimli plato topoğrafyası üzerinde yer almaktadır. Nihai ÇED Raporu'na göre, bölge yer yer Kızılçam (Pinus brutia) ve Meşe (Quercus ithaburensis) türlerini barındırmaktadır. Balçık Dere hattı boyunca doğal drenaj ve otsu bitki örtüsü korunmuş durumdadır.

OSB'nin toplam alan dağılımı tasarım aşamasında şu şekilde planlanmıştır:

- %38 üretim alanı,
- %22 teknik altyapı ve yollar,
- %18 yeşil alan ve rekreasyon,
- %12 Ar-Ge ve eğitim tesisleri,
- %10 idari ve sosyal alanlar.

Yeşil alan oranı 2030 yılına kadar %25'e çıkarılması önerilmekte olup alan boyunca ekolojik yeşil koridorlar oluşturulabilir. Bu koridorlar aynı zamanda rüzgâr akışının yönlendirilmesini (Şekil 20) ve ısıl stresin azaltılmasını (Şekil 18) sağlayabilir.

2.6 Genel Değerlendirme

2025 yılı itibarıyla kuruluş aşamasında olan BIOSB, Türkiye'nin "yeşil sanayi bölgeleri" vizyonu doğrultusunda örnek bir model teşkil etmektedir. Bölgenin tasarımında enerji verimliliği, su döngüselliği, atık yönetimi ve iklim adaptasyonu öncelikli olarak ele alınmıştır. Henüz üretim başlamadan önce bu stratejilerin uygulanması, OSB'nin ilerleyen yıllarda net sıfır karbon statüsüne ulaşmasını kolaylaştıracaktır.

3. BÖLÜM

Sera Gazı Envanteri (GHG Inventory – Kuruluş ve Planlama Aşaması, 2024)

3.1 Giriş ve Metodolojik Çerçeve

Bu bölümde, BIOSB için sera gazı (GHG) emisyon envanteri, üretim faaliyetleri henüz başlamamış olmakla birlikte, tasarım kapasitesi ve öngörülen işletme senaryoları temel alınarak hazırlanmıştır.

Çalışma, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 2006 Rehberi ve ISO 14064-1:2018 standardı doğrultusunda yürütülmüş; enerji, yakıt, atık ve ulaşım kaynaklı potansiyel emisyonlar Kapsam 1, 2 ve 3 altında sınıflandırılmıştır.

Analizlerde referans yılı 2025 olarak alınmış, bu yıl OSB'nin ilk sanayi tesislerinin devreye gireceği dönem olarak kabul edilmiştir. Tüm hesaplamalar, OSB'nin tam faaliyete geçeceği 2030 senaryosuna kadar öngörülmüştür.

3.2 Emisyon Kapsamları ve Hesaplama Yaklaşımı

Sera gazı envanteri aşağıdaki kapsamlar doğrultusunda hazırlanmıştır:

- Kapsam 1 (Doğrudan Emisyonlar):

  OSB sınırları içinde yakıt tüketimi, doğalgaz kullanımı, mobil ekipman (forklift, jeneratör) ve tesis içi proses kaynaklı CO_2, CH_4 ve N_2O emisyonları.

- Kapsam 2 (Dolaylı Enerji Emisyonları):

  Elektrik ve ısı enerjisinin tedarikinden kaynaklanan dolaylı emisyonlar.

- Kapsam 3 (Diğer Dolaylı Emisyonlar):

  Tedarik zinciri, lojistik, atık yönetimi, personel ulaşımları ve inşaat faaliyetlerine bağlı emisyonlar.

Hesaplamalarda IPCC standart emisyon faktörleri, TÜİK enerji istatistikleri, Ecoinvent v3.8 veri tabanı ve Nihai ÇED Raporu enerji projeksiyonları temel alınmıştır.

3.3 Baz Yıl Senaryosu (2026)

BIOSB'nin enerji altyapısı devreye girdiğinde, ilk etapta 15 tesisin faaliyete geçmesi öngörülmektedir. Bu senaryoya göre yıllık enerji tüketimi yaklaşık 22.000 MWh (elektrik + doğalgaz) düzeyinde olacaktır. IPCC 2006 faktörleri kullanılarak yapılan hesaplamada:

Tablo 1: BIOSB 2026 Baz Yılı Sera Gazı Envanteri ve Emisyon Kaynakları

Emisyon Kaynağı	Tüketim (Yıllık)	Emisyon Faktörü	Emisyon (tCO_2e/yıl)	Kapsam
Elektrik tüketimi	15.000 MWh	0.42 tCO_2e/MWh	6.300	2
Doğalgaz kullanımı	700.000 m^3	2.02 $kgCO_2/m^3$	1.414	1
Araç yakıtı (lojistik + iç ulaşım)	100.000 litre dizel	2.68 $kgCO_2$/l	268	1
İnşaat ve altyapı faaliyetleri	-	tahmini	800	3
Atık yönetimi (inşaat + ofis)	-	tahmini	110	3

Toplam 2025 Baz Yılı Emisyonu:

Yaklaşık 8.892 ton CO_2e/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu miktar, OSB'nin inşaat sonrası işletmeye geçiş aşamasındaki emisyon profilini temsil etmektedir.

3.4 2030 Tam Kapasite Senaryosu

2030 yılı itibarıyla BIOSB'de toplam 40 tesisin faaliyete geçmesi, dolayısıyla enerji tüketiminin 2025 yılına göre iki kattan fazla artması öngörülmektedir. Aynı zamanda yenilenebilir enerji projelerinin (GES, atık ısı geri kazanımı) devreye girmesiyle Kapsam 2 emisyonlarının kısmen dengeleneceği varsayılmıştır.

Aşağıda özetlenen 2030 senaryosu, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji yatırımlarının uygulanması durumunda beklenen emisyon dağılımını göstermektedir:

Tablo 2: BIOSB 2030 Tam Kapasite Emisyon Projeksiyonu ve Azaltım Önlemleri

Emisyon Kaynağı	2030 Projeksiyonu	Azaltım Önlemi	Beklenen Emisyon (tCO_2e/yıl)
Elektrik (GES entegrasyonu %45)	45.000 MWh	18.000 MWh GES	12.000
Doğalgaz kullanımı	1.500.000 m^3	Atık ısı geri kazanımı %10	2.730
Araç ve lojistik	%50 elektrikli dönüşüm	1.200 ton CO_2e → 700 ton CO_2e	700

Emisyon Kaynağı	2030 Projeksiyonu	Azaltım Önlemi	Beklenen Emisyon (tCO_2e/yıl)
Atık yönetimi	BiyoAtık Döngü Merkezi devrede	450 → 220	220

Toplam 2030 Projeksiyonu:

Yaklaşık 15.650 ton CO_2e/yıl olarak hesaplanmıştır.

Yenilenebilir enerji ve geri kazanım sistemleri uygulanmadığı durumda bu değer 22.000 ton CO_2e/yıl seviyesine çıkmaktadır. Dolayısıyla, planlanan önlemler toplamda yaklaşık %30 emisyon azaltımı sağlayacaktır.

3.5 Emisyon Dağılımı ve Göstergeler

2030 yılı itibarıyla BIOSB'nin emisyon profili aşağıdaki şekilde öngörülmektedir:

- Kapsam 1 (doğrudan): 3.430 tCO_2e (%22)
- Kapsam 2 (elektrik dolaylı): 12.000 tCO_2e (%76)
- Kapsam 3 (diğer dolaylı): 220 tCO_2e (%2)

Toplam üretim kapasitesi göz önüne alındığında, emisyon yoğunluğu yaklaşık 0.38 tCO_2e/m^2 üretim alanı olarak tahmin edilmiştir. Bu değer, Türkiye'deki ortalama kimya-biyoteknoloji OSB'lerinin yaklaşık %20 altındadır.

3.6 Karbon Nötrlük ve Azaltım Hedefi

Biyoteknoloji İhtisas OSB, kuruluş aşamasında belirlenen vizyon doğrultusunda 2053 yılına kadar Net Sıfır Karbon Bölgesi olmayı hedeflemektedir. Bu kapsamda önerilen stratejiler şunlardır:

1. Kısa Vadeli (2026–2030):
    - GES kurulumlarının tamamlanması (10 MWp kapasite).
    - Atık ısı geri kazanımı sistemlerinin işletmeye alınması.
    - Elektrikli servis araçlarına geçiş (%50).
    - ISO 14064 ve ISO 50001 yönetim sistemlerinin devreye alınması.
2. Orta Vadeli (2030–2040):
    - BiyoAtık döngü tesisinin genişletilmesi.
    - Atıksu geri kazanım oranının %50'ye çıkarılması.
    - Enerji depolama sistemlerinin (batarya) entegrasyonu.

3. Uzun Vadeli (2040–2053):
    - OSB genelinde yenilenebilir enerji oranının %100'e çıkarılması.
    - Karbon yutak alanlarının (yeşil koridorlar, dikey bahçeler) oluşturulması.
    - Fazla karbonun ulusal karbon piyasasında gönüllü karbon kredisi olarak ticarileştirilmesi.

3.7 Değerlendirme

Kuruluş aşamasında oluşturulan bu sera gazı envanteri, BIOSB'nin karbon yönetimi açısından başlangıç referansını oluşturmakta ve gelecek yıllarda yapılacak MRV (Monitoring, Reporting, Verification) sistemi için temel teşkil etmektedir. Henüz üretim başlamadan bu analizlerin yapılması, OSB'nin operasyonel dönemde proaktif bir iklim yönetimi yaklaşımı benimsemesini sağlayacaktır.

Modelleme sonuçları göstermektedir ki; planlanan yenilenebilir enerji, atık ısı ve ulaşım projeleri tam olarak uygulandığında BIOSB, 2030 yılı itibarıyla Türkiye'nin en düşük karbon yoğunluklu sanayi bölgeleri arasında yer alabilecektir.

4. BÖLÜM

4.1 YDA Çalışmasının Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma, BIOSB'nin henüz kuruluş aşamasında olmasına rağmen, ilerleyen yıllarda ortaya çıkacak çevresel etkileri önceden belirlemek ve azaltım stratejilerini planlamak amacıyla yapılmıştır.

Yaşam Döngüsü Analizi (YDA), ISO 14040 ve ISO 14044 standartları çerçevesinde uygulanmış olup, "beşikten mezara" sistem sınırında OSB'nin enerji kullanımı, su tüketimi, atık yönetimi ve ulaşım sistemlerinin çevresel etkileri değerlendirilmiştir.

Bu analizle hedeflenen;

- OSB'nin gelecekteki üretim süreçlerinde karbon, enerji ve su ayak izini belirlemek,
- en yüksek çevresel etkiye sahip aşamaları ("hotspot" alanları) saptamak,
- yeşil altyapı ve teknoloji yatırımlarını önceliklendirmektir.

4.2 Sistem Sınırları ve Fonksiyonel Birim

Analiz, OSB'nin tamamını kapsamakta olup sistem sınırları aşağıdaki süreçleri içermektedir:

1. Enerji üretimi ve tüketimi: Elektrik, doğalgaz ve yenilenebilir enerji kullanımı, GES entegrasyonu ve atık ısı geri kazanımı.
2. Su döngüsü: Şebeke suyu temini, proses ve soğutma kullanımı, yağmur suyu hasadı, arıtma ve yeniden kullanım sistemleri.
3. Atık yönetimi: Tehlikeli ve tehlikesiz atık oluşumu, taşınması, geri dönüşümü ve bertarafı.
4. Ulaşım ve lojistik: OSB içi araç hareketleri, personel ulaşımı, yük taşımacılığı.
5. Yapısal altyapı: İnşaat malzemeleri, asfalt, beton ve çelik kullanımının gömülü karbon etkileri.

Fonksiyonel birim olarak "1 yıl süreyle faaliyette bulunan 1 m² üretim alanı" alınmıştır. Bu tanım, hem enerji hem su hem de karbon ayak izi göstergeleriyle doğrudan ilişkilendirilebilir bir ölçektir.

4.3 Veri Kaynakları ve Varsayımlar

Çalışmada kullanılan temel veriler şunlardır:

- Nihai ÇED Raporu meteorolojik verileri (yağış, sıcaklık, rüzgâr, buharlaşma).
- OSB altyapı projelerinde yer alan enerji ve su tasarım kapasiteleri.
- IPCC 2006 emisyon faktörleri ve Ecoinvent v3.8 veri setleri.
- Türkiye Elektrik Üretim Karışımı (2023): %39 kömür, %24 doğalgaz, %11 hidro, %9 güneş, %7 rüzgâr, %10 diğer.
- Geri dönüşüm oranı varsayımı: %45 başlangıç, %70 hedef.

Tüm hesaplamalar SimaPro 9.5 yazılımı kullanılarak yapılmış, etki değerlendirmesi CML 2001 (Baseline) metoduna göre yürütülmüştür.

4.4 Etki Kategorileri

YDA değerlendirmesi dört ana çevresel etki kategorisini içermektedir:

Tablo 3: BIOSB Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) Kapsamında Değerlendirilen Çevresel Etki Kategorileri

Etki Kategorisi	Açıklama	Birim	Değerlendirme Yöntemi
Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	CO_2, CH_4, N_2O emisyonları	kg CO_2-eq	IPCC 100 yıl
Asitlenme Potansiyeli (AP)	SO_2, NO_x, NH_3 kaynaklı etkiler	kg SO_2-eq	CML Baseline
Ötrifikasyon Potansiyeli (EP)	Su kaynaklarında besin yükü artışı	kg PO_4^{3-}-eq	CML Baseline
Birincil Enerji Tüketimi (PE)	Fosil ve yenilenebilir enerji talebi	MJ	Cumulative Energy Demand

4.5 YDA Bulguları ve Görsel Referanslar

YDA modellemesi, OSB'nin enerji-su-atık sistemlerinin bütüncül bir çevresel profilini ortaya koymuştur.

Aşağıda özetlenen bulgular, raporun önceki mikroiklim analizlerinde yer alan şekillerle ilişkilendirilmiştir:

1. Enerji Kaynaklı Etkiler (Şekil 13):

   Güneşlenme süresi ve küresel radyasyon değerleri, OSB'de yıllık ortalama 2.000–2.200 kWh/m² enerji potansiyeline işaret etmektedir. Bu, çatı GES uygulamaları için ideal koşullar sunmaktadır. GWP açısından enerji tüketimi toplam çevresel etkinin %61'ini oluşturmakta, bu nedenle yenilenebilir enerji yatırımları en kritik azaltım alanıdır.

2. Su Döngüsü ve Hidrolojik Denge (Şekil 14, Şekil 19):

   Thornthwaite analizine göre yıllık 219 mm su fazlası oluşmakta, yağmur suyu hasadıyla bu fazla değerlendirilebilir. Su tüketimi kaynaklı GWP katkısı toplam etkinin %14'ünü, ötrifikasyon etkisi ise %22'sini oluşturur. Su geri kazanım sistemleri bu etkinin yarısını ortadan kaldırabilir.

3. Atık Yönetimi (Şekil 19 Şekil 20):

   Atık bertaraf ve nakliye süreçleri toplam çevresel etkinin tahmini %10'u düzeyindedir. BiyoAtık Döngü Merkezi'nin devreye girmesiyle bu oran %5'e düşmesi hesaplanmıştır.

4. Isıl Konfor ve Mikroklimatik Enerji Kullanımı (Şekil 17 Şekil 18):

   PMV ve UTCI analizleri, yaz aylarında 35–38 °C sıcaklıkta soğutma yükünün %25 arttığını göstermektedir. Bu yükün azaltılması için gölgelendirme ve doğal havalandırma stratejileri uygulanacaktır.

5. Altyapı Kaynaklı Gömülü Karbon:

   OSB altyapısında kullanılacak beton, çelik ve asfaltın gömülü karbon etkisi 10 yıllık inşaat süreci boyunca yaklaşık 85.000 ton CO_2e olarak tahmin edilmiştir. Bu miktarın %20'si geri dönüştürülmüş malzeme kullanımıyla azaltılabilir.

4.6 Hotspot" (En Yüksek Etkiye Sahip Aşamalar) Analizi

YDA sonuçlarına göre BIOSB'nin çevresel "hotspot" alanları şunlardır:

1. Elektrik üretimi ve tüketimi (yüksek karbon yoğunluğu).
2. Proses soğutma ve HVAC sistemleri (yüksek enerji talebi).
3. Atıksu arıtma ve kimyasal kullanımı (ötrifikasyon yükü).
4. İnşaat malzemelerinin gömülü karbonu (beton ve çelik).

Bu dört alan, toplam çevresel etkinin %80'inden fazlasını oluşturmaktadır. Bu nedenle, karbon nötrlük hedefi doğrultusunda yatırım ve teknoloji öncelikleri bu alanlara odaklanmalıdır.

4.7 İyileştirme Senaryoları

YDA senaryoları doğrultusunda geliştirilen iyileştirme seçenekleri Tablo 4'teki gibidir:

Tablo 4: Çevresel İyileştirme Senaryoları ve Etki Azaltım Potansiyeli

Strateji	Açıklama	Beklenen Sonuç
Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu	Çatı GES (10 MWp), güneşlenme süreleriyle uyumlu üretim planı	GWP'de %45 azalma
Su Geri Kazanımı	Arıtılmış suyun yeniden kullanımı (50%)	EP'de %25 azalma
Geri Dönüştürülmüş Malzeme Kullanımı	Beton ve çelikte %20 oranında geri dönüştürülmüş içerik	Gömülü karbon %18 azalma
BiyoAtık Enerji Geri Kazanımı	Organik atıklardan biyogaz üretimi	Atık kaynaklı GWP %30 azalma

4.8 Genel Değerlendirme

Yapılan YDA modellemesi, Biyoteknoloji İhtisas OSB'nin kuruluş aşamasında olmasına rağmen çevresel etkilerin proaktif biçimde yönetilebileceğini göstermektedir. Enerji, su ve atık döngülerinin bütünleştirilmesiyle, OSB'nin 2030 itibarıyla karbon ayak izinde %40, su ayak izinde %35 azalma sağlanması mümkündür.

Mikroiklimsel verilerle (Şekil 13 Şekil 19) bütünleştirilen bu analiz, BIOSB'nin Türkiye'de "düşük karbonlu, döngüsel ve iklim dirençli sanayi bölgesi" modeline öncülük edebileceğini ortaya koymaktadır.

5. BÖLÜM

İklim Eylem Planı

5.1 Giriş

BIOSB, kuruluş vizyonunu Türkiye'nin 2053 Net Sıfır Emisyon Hedefi ile uyumlu biçimde şekillendirmiştir. Henüz üretim başlamadan önce iklim eylem planının hazırlanması, OSB'nin gelecekteki faaliyetlerinin karbon nötr, iklim dirençli ve sürdürülebilir altyapı temelli olmasını sağlayacaktır.

Bu plan;

1. Sera gazı emisyonlarının azaltımı,
2. İklim değişikliğine uyum (adaptasyon),
3. İzleme ve raporlama (MRV) mekanizmalarıolmak üzere üç temel bileşenden

oluşmaktadır.

Tüm stratejiler, Paris Anlaşması, AB Yeşil Mutabakatı (Green Deal) ve Türkiye Ulusal İklim Stratejisi (2023–2053) hedefleriyle uyumlu olarak geliştirilmiştir.

5.2 Hedefler

BIOSB için belirlenen iklim hedefleri aşağıda özetlenmiştir:

Tablo 5: BIOSB İklim Eylem Planı Kapsamında Belirlenen Dönemsel Emisyon Azaltım Hedefleri

Dönem	Hedef	Açıklama
Kısa Vadeli (2024–2030)	Emisyonlarda %30 azalma	Yenilenebilir enerji entegrasyonu, enerji verimliliği projeleri
Orta Vadeli (2030–2040)	Emisyon yoğunluğunda %50 azalma	Döngüsel su ve atık yönetimi, elektrikli ulaşım
Uzun Vadeli (2040–2053)	Net Sıfır Emisyon	%100 yenilenebilir enerji, karbon yutak alanları, dijital izleme

5.3 Azaltım (Mitigation) Stratejileri

Azaltım eylemleri, sera gazı emisyon kaynaklarının (enerji, ulaşım, atık, su) sistematik biçimde azaltılmasını hedeflemektedir. Bu kapsamda oluşturulan eylem alanları aşağıda yer almaktadır:

1. Enerji Dönüşümü
   - Çatı tipi Güneş Enerjisi Santrali (GES) kurulumu: 10 MWp kapasite, yıllık 14 GWh üretim.
   - Elektrik ihtiyacının %45'inin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması.

- Atık ısı geri kazanımı sistemlerinin kurulması (reaktör ve HVAC hatlarında).
- Enerji depolama sistemleri (Li-ion bataryalar) ile pik yüklerin dengelenmesi.
- LED aydınlatma dönüşümü ve bina otomasyon sistemleriyle %12 tasarruf.

2. Su Yönetimi ve Döngüsellik
   - Yağmur suyu hasadı sistemlerinin tüm parsellerde zorunlu hale getirilmesi.
   - Merkezi arıtma tesisinde ileri membran filtrasyon (UF/RO) teknolojilerinin kullanımı.
   - Arıtılmış suyun %50'sinin yeniden kullanımı (sulama, proses ön yıkama).
   - Yeşil altyapı çözümleri: geçirgen zeminler, biyolojik hendekler, dengeleme havuzları.
3. Ulaşım ve Lojistik
   - Tüm servis ve yük taşıma araçlarının kademeli olarak elektrikliye dönüşümü (%50'ye kadar).
   - OSB içinde şarj istasyonları ağı (20 istasyon) kurulması.
   - Yaya ve bisiklet yolları ağı (3,2 km) oluşturulması.
   - Karbon azaltım potansiyeli: yılda yaklaşık 450 ton CO_2e.
4. Atık ve Döngüsel Ekonomi
   - BiyoAtık Döngü Merkezi kurulumu: organik atıklardan biyogaz/kompost üretimi.
   - Geri dönüşüm oranının %45'ten %70'e çıkarılması.
   - Laboratuvar kaynaklı solventlerin geri kazanımı için distilasyon modülleri kurulması.
   - Tehlikeli atıkların izlenmesi için dijital atık takip sistemi (QR kodlu konteyner sistemi).
5. Binalarda Enerji Verimliliği
   - Tüm binaların BEP-TR 2.0 standardına uygun olarak inşa edilmesi.
   - Yeşil bina sertifikasyonu: her tesisin en az "BREEAM Very Good" düzeyinde sertifikalandırılması.
   - Cephelerde yüksek albedo malzemeler, doğal havalandırma ve güneş kırıcı sistemler kullanılması.

5.4 Uyum (Adaptasyon) Stratejileri

İklim değişikliğine uyum stratejileri, BIOSB'nin aşırı hava olaylarına, sıcak hava dalgalarına ve su stresine karşı dayanıklılığını artırmayı hedeflemektedir.

1. Aşırı Yağış ve Taşkın Yönetimi:
   - IDF eğrilerine dayalı yağmur suyu drenaj sistemi tasarımı (Şekil 16)
   - Dengeleme havuzları ve yağmur bahçeleri ile yüzey akışının azaltılması.
2. Isıl Konfor ve Mikroiklim Yönetimi:
   - PMV (Şekil 17) ve UTCI (Şekil 18) analizlerine göre açık alan düzenlemesi.
   - Gölgelendirme elemanları, yeşil çatılar ve bitkisel buharlaşma sistemleri ile yaz sıcaklıklarının düşürülmesi.

- Hâkim KD rüzgâr koridorlarının korunması (Şekil 20).

3. Su Kıtlığına Dayanıklılık:
   - Thornthwaite analizine göre su fazlası dönemlerinde (Kasım–Mayıs) depolama yapılması.
   - Yaz aylarında su noksanı riskine karşı su dengeleme planı uygulanması (Şekil 14, Şekil 19).
4. Ekolojik Dayanıklılık:
   - Yeşil koridorlar ve karbon yutak alanları oluşturulması.
   - Yerel bitki türleri (Pinus brutia, Quercus spp.) ile mikrohabitat rehabilitasyonu.

5.5 İzleme, Raporlama ve Doğrulama (MRV) Mekanizması

BIOSB'nin tüm iklim performansı, dijital olarak izlenecek ve yılda bir kez raporlanacaktır. Planlanan MRV sistemi şu üç bileşenden oluşacaktır:

1. Veri İzleme:
   - Enerji, su ve atık verileri SCADA ve IoT sensörleriyle izlenecek.
   - GES üretimi, enerji tüketimi, su kullanımı ve arıtma verileri aylık bazda toplanacak.
2. Raporlama:
   - Her yıl GHG Emisyon Raporu hazırlanacak.
   - YDA ve enerji performans göstergeleriyle karşılaştırmalı analiz yapılacak.

5.6 Net Sıfır 2053 Yol Haritası

Tablo 6: BIOSB 2053 Net Sıfır Emisyon Yol Haritası ve Aşamalı Hedefler

Yıl	Aşama	Temel Hedefler	Ölçülebilir Sonuçlar
2024–2025	Kuruluş	ÇED, altyapı, enerji-su planlaması tamamlanacak	Başlangıç envanteri (8.900 tCO_2e)
2026–2030	Yeşil Altyapı	GES, su hasadı, atık geri kazanımı devrede	%30 azaltım, 1,9 milyon m^3 su hasadı
2030–2040	Dijital ve Düşük Karbon Dönemi	Elektrikli ulaşım, enerji depolama, MRV sistemi	%50 azaltım, ISO 14064 sertifikasyonu
2040–2053	Karbon Nötr Dönem	%100 yenilenebilir enerji, karbon yutak alanları	Net Sıfır Emisyon durumu

5.7 Değerlendirme

BIOSB için hazırlanan bu iklim eylem planı, Türkiye'de ilk kez üretim öncesi dönemde iklim yönetimi yaklaşımını merkezine alan bir organize sanayi bölgesi planlamasıdır. Bu yönüyle BIOSB, sanayi üretiminden önce çevresel sürdürülebilirlik, karbon yönetimi ve döngüsel ekonomi ilkelerini entegre eden öncü bir modeldir. Plan, emisyon azaltımını sadece enerji dönüşümüyle sınırlı tutmamakta, mikroiklim tasarımı, yeşil altyapı, döngüsel ekonomi, doğa temelli çözümler ve dijital izleme sistemleriyle bütünleşik bir yapı oluşturmaktadır.

Bu bütüncül yaklaşım, enerji, su, atık ve emisyon yönetimini aynı çatı altında toplamaktadır. Enerji dönüşümü kapsamında OSB genelinde yenilenebilir kaynaklara (güneş, biyogaz, rüzgâr) dayalı bir mikro şebeke kurulmakta, tüm üretim hatlarında fosil yakıt kullanım oranı azaltılmaktadır. Mikroiklim tasarımı ile yüzey sıcaklıkları düşürülmekte, yeşil çatı sistemleri ve gölgeleme alanlarıyla ısı adası etkisi kontrol altına alınmaktadır. Yeşil altyapı uygulamaları (yağmur bahçeleri, geçirgen yüzeyler, su hasadı sistemleri) sayesinde taşkın riski azaltılmakta, yeraltı suyu dengesi korunmaktadır. Döngüsel ekonomi yaklaşımıyla, atıklar üretim sürecine geri kazandırılmakta, biyoatıklar enerjiye, solventler yeniden kullanılabilir girdilere dönüştürülmekte, malzeme döngüselliği 2030 itibarıyla yüzde 40 seviyesine ulaşmaktadır.

Tüm bu süreçler dijital bir yapı üzerinden izlenmektedir. Smart Hub platformu, enerji, su, atık ve karbon verilerini anlık olarak toplayıp ISO 14064 uyumlu raporlamalarla doğrulamaktadır. Böylece BIOSB, emisyon yönetimini manuel değil, veri odaklı ve otomatik bir sistem üzerinden yürütecektir. Bu sayede hem işletme düzeyinde hem de OSB genelinde karbon ayak izi, kaynak verimliliği ve döngüsellik göstergeleri gerçek zamanlı izlenebilecektir.

Bu bütünleşik yapı sayesinde BIOSB, 2030 itibarıyla Türkiye'nin en düşük karbon yoğunluklu organize sanayi bölgelerinden biri olma potansiyeline sahiptir. Bölge, Yeşil OSB Sertifikasyonu kriterlerini eksiksiz karşılamakta, AB Taksonomisi'ne uyumlu yatırımlara sahip bulunmakta ve Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (CBAM) sonrası döneme hazır hale gelmektedir. Ayrıca bölge, sosyal sürdürülebilirlik açısından da güçlü bir yapıya sahiptir; istihdamda eşitlik, iş sağlığı ve güvenliği, eğitim ve toplumsal katılım göstergelerinde uluslararası standartları yakalamayı hedeflemektedir.

Planın uygulanması sonucunda 2025–2030 döneminde sera gazı emisyonlarında yüzde 45, enerji tüketiminde yüzde 20, su kullanımında yüzde 30 ve atık oluşumunda yüzde 25 azalma beklenmektedir. Yenilenebilir enerji payının yüzde 60'a, atıkta geri kazanım oranının yüzde 85'e ulaşması öngörülmektedir. 2040 itibarıyla BIOSB tamamen karbon nötr hale gelirken, 2053 yılında Türkiye'nin net sıfır emisyon hedefini fiilen gerçekleştiren ilk ihtisas OSB olma potansiyeline sahip olacaktır.

Bu yönüyle BIOSB, yalnızca çevresel değil, ekonomik ve toplumsal boyutlarıyla da yeni nesil sanayi planlamasının bir örneğini temsil etmektedir. İklim eylem planı, Türkiye'de sanayi bölgelerinin dönüşümünde uygulanabilir bir model oluşturmakta, yeşil finansman, dijitalleşme ve ekosistem tabanlı planlamanın bir arada yürütülebileceğini kanıtlamaktadır. BIOSB'nin deneyimi, gelecekte diğer organize sanayi bölgeleri için de yol gösterici bir referans olacaktır.

6. BÖLÜM

Dijital Dönüşüm ve Akıllı OSB Yaklaşımı

6.1 Giriş

BIOSB, kuruluş aşamasından itibaren dijital altyapı temelli yönetim sistemi ile planlanmaktadır.
Klasik sanayi bölgelerinden farklı olarak BIOSB'nin amacı, yalnızca üretim altyapısı kurmak değil, aynı zamanda veri temelli karar alma, akıllı kaynak yönetimi ve çevresel izleme sistemleri üzerinden sürdürülebilirliği dijital olarak garanti altına alması planlanmaktadır.

Bu nedenle OSB, Türkiye'de ilk kez "dijital ikiz tabanlı akıllı OSB modeli"ni uygulamayı hedeflemektedir.
Bu model, enerji, su, atık ve ulaşım sistemlerinin gerçek zamanlı izlenmesini, tahmin edilmesini ve optimize edilmesini sağlayan entegre bir yapı oluşturacaktır.

6.2 Dijital OSB'nin Ana Unsurları

BIOSB dijital dönüşüm stratejisi beş ana bileşen üzerine kurulmuştur:

1. Enerji İzleme ve Yönetim Sistemi (EIMS):
    - OSB'deki tüm tesislerin enerji tüketimi, GES üretimi ve atık ısı geri kazanımı verileri SCADA tabanlı Enerji Yönetim Merkezi üzerinden izlenmesi önerilmektedir.
    - Tesis bazında kurulan akıllı sayaçlar (IoT sensörleri) enerji yoğunluğu, karbon emisyonu ve pik yük analizini gerçek zamanlı olarak raporlanması önerilmektedir.
    - Bu sistem, ISO 50001 Enerji Yönetim Standardı ile entegre çalışacak şekilde tasarlanmıştır.
2. Su ve Atıksu İzleme Platformu:
    - Yağmur suyu depolama tankları, arıtma tesisi çıkışları ve geri dönüşüm hatları, ultrasonik debimetreler ve basınç sensörleri ile izlenmesi önerilmektedir.
    - SCADA ekranları üzerinde su tüketimi, geri kazanım oranı ve su kalitesi parametreleri (pH, BOİ, KOİ, iletkenlik) canlı olarak görüntülenmesi önerilmektedir.
    - Yapay zekâ destekli tahmin modülleri, su tüketim trendlerini ve kurak dönem risklerini öngörerek otomatik uyarı verilebilir.
3. Atık Yönetimi Dijital Takip Sistemi:
    - OSB'de kurulacak Atık Geçici Depolama Merkezi tüm konteynerleri QR kodlu etiketleme sistemi ile takip edilmesi önerilmektedir.
    - Her atık türü (tehlikeli, tehlikesiz, geri dönüştürülebilir) için taşınma, depolama ve bertaraf aşamaları elektronik ortamda izlenmesi, veriler Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın e-Çevre portalına entegre edilmesi önerilmektedir.

- Bu sistem aynı zamanda biyolojik atık döngüsü (biyogaz/kompost üretimi) verilerini de raporlabilir.

4. Ulaşım ve Lojistik İzleme:
    - OSB içi araç hareketleri, servis güzergâhları ve elektrikli araç şarj istasyonları, GPS tabanlı filo yönetim sistemi ile kontrol edilmesi önerilmektedir.
    - Her araç için kilometre, yakıt/elektrik tüketimi ve emisyon bilgileri otomatik olarak kaydedilecek, karbon ayak izi hesaplamasına entegre edilmesi önerilmektedir.
5. Veri Entegrasyon Merkezi (BIOSB Smart Hub):
    - Tüm bu alt sistemlerden gelen veriler "BIOSB Smart Hub" adı verilen merkezi bulut platformda toplanması önerilmektedir.
    - Smart Hub, enerji, su, atık ve iklim göstergelerini tek bir arayüzde birleştirerek karar destek sistemi (Decision Support System – DSS) olarak çalışabilir.
    - Sistem, Power BI veya Grafana tabanlı paneller üzerinden dinamik raporlama sağlayabilir.

6.3 Dijital İkiz Uygulaması

Biyoteknoloji İhtisas OSB, planlama aşamasında fiziksel altyapısının dijital bir kopyasının oluşturulacağı **"Dijital İkiz Modeli"**ni geliştirmektedir.

Bu modelde:

- OSB'nin tüm yolları, binaları, enerji-su hatları ve drenaj sistemleri 3D GIS tabanlı harita sistemine işlenecektir.
- Meteorolojik veriler (rüzgâr, sıcaklık, nem) ile mikroiklim analizleri (Şekil 13 Şekil 20) modele entegre edilerek iklim senaryoları simüle edilecektir.
- Güneşlenme analizi, rüzgâr akışı, yüzey sıcaklığı ve enerji verimliliği gibi parametreler üç boyutlu ortamda dinamik olarak test edilecektir.
- Bu dijital ikiz, hem sürdürülebilir şehircilik planlaması hem de acil durum yönetimi (sel, sıcak hava dalgası) için kullanılacaktır.

BIOSB'nin dijital ikizi, Autodesk InfraWorks, ArcGIS Pro ve TwinMotion altyapısı ile geliştirilmektedir.

Ayrıca ilerleyen aşamada, yapay zekâ tabanlı karar destek modülleri ile enerji-su optimizasyonu sağlanacaktır.

6.4 Yapay Zekâ (AI) Entegrasyonu

Yapay zekâ, BIOSB'nin dijital dönüşüm stratejisinde üç ana işlevde kullanılacaktır:

1. Tahmine Dayalı Enerji Yönetimi:
    - SCADA sistemlerinden gelen enerji verileri makine öğrenimi algoritmaları ile analiz edilerek, pik talep saatleri önceden tahmin edilebilir.

- Böylece enerji depolama sistemleri optimum zamanda devreye alınacaktır.

2. Su Tüketimi ve Kuraklık Uyarı Modeli:
   - Thornthwaite analizi ve geçmiş yağış verileri kullanılarak su fazlası/noksanı durumları (Şekil 14) için erken uyarı sistemi geliştirilebilir.
   - Bu model, su depolama ve hasat sistemlerinin çalışma zamanlarını otomatik ayarlayacaktır.
3. Atık Kaynaklı Karbon İzleme:
   - Her atık türü için tahmini karbon eşdeğeri değerleri sistem tarafından hesaplanacak, geri dönüşüm oranları otomatik güncellenecektir.
   - Biyogaz üretim verileriyle karbon azaltım potansiyeli anlık olarak raporlanması önerilmektedir.

7. BÖLÜM

Sürdürülebilirlik Göstergeleri (KPI'lar)

7.1 Giriş

BIOSB, kuruluş aşamasından itibaren tüm çevresel ve operasyonel süreçlerini ölçülebilir performans göstergeleri (Key Performance Indicators – KPI'lar) üzerinden yönetmeyi hedeflemektedir.

Bu göstergeler, enerji, su, atık, karbon emisyonu, yenilenebilir enerji, yeşil altyapı, dijitalleşme ve sosyal etki başlıklarında belirlenmiştir.

KPI sistemi, Sera Gazı Envanteri (Bölüm 4), Yaşam Döngüsü Analizi (Bölüm 5) ve Dijital Dönüşüm (Bölüm 7) bölümlerinde tanımlanan veri tabanına entegre biçimde çalışacak, BIOSB Smart Hub üzerinden gerçek zamanlı izlenecektir.

Her gösterge, 2026 baz yılına göre ölçülecek, 2030 orta vadeli hedefleri ve 2053 nihai net sıfır hedefleriyle uyumlu biçimde ilerleyecektir.

7.2 Performans Göstergeleri ve Hedefler

7.2.1 Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji

BIOSB'nin enerji göstergeleri, elektrik ve doğalgaz tüketimi ile yenilenebilir enerji üretimini kapsar.
Enerji dönüşüm stratejileri, karbon nötr hedefinin en kritik bileşenidir.

Tablo 7: BIOSB Enerji Yönetimi ve Karbon Nötrlük Stratejileri Göstergeleri (2025–2053 Yol Haritası)

Gösterge	Tanım	2026 Hedefi	2030 Hedefi	2053 Nihai Hedef	Açıklama
Enerji Yoğunluğu	kWh/üretim birimi (m^2)	125.000	95.000	60.000	GES ve verimlilik önlemleriyle %50 azalma
Yenilenebilir Enerji Payı	Toplam elektrik içinde GES oranı	%25	%45	%100	10 MWp GES kapasitesiyle Net Sıfır hedefi
Atık Isı Geri Kazanım Oranı	Isıtma/soğutma enerji geri dönüşümü	%10	%20	%30	HVAC sistemleri ve reaktör atık ısısı

Gösterge	Tanım	2026 Hedefi	2030 Hedefi	2053 Nihai Hedef	Açıklama
Enerji Yönetim Sistemi (ISO 50001)	Sertifikalı tesis oranı	Pilot	%100	%100	Tüm tesislerde dijital enerji izleme

7.2.2 Su Yönetimi ve Döngüsel Kullanım

Su kaynaklarının verimli yönetimi, BIOSB'nin sürdürülebilirlik yapısının temelidir.

Yağmur suyu hasadı, arıtılmış su geri dönüşümü ve akıllı su yönetimi, bu alandaki başlıca önlemlerdir.

Tablo 8: BIOSB Su Yönetimi ve Döngüsel Su Kullanım Göstergeleri (2026–2053 Yol Haritası)

Gösterge	Tanım	2026	2030	2053	Açıklama
Toplam Su Tüketimi	m^3/yıl	700.000	900.000	950.000	Üretim artışıyla birlikte optimize kullanım
Yağmur Suyu Hasadı	m^3/yıl	900.000	1.900.000	2.100.000	%50 çatı alanı, %85 verim
Su Geri Kazanım Oranı	Arıtılmış suyun yeniden kullanımı	%15	%50	%70	Arıtma tesisinde ileri membran sistemleri
Su Kaybı Oranı	Şebeke kayıpları	<%10	<%5	<%2	Akıllı SCADA izleme altyapısı

7.2.3 Atık Yönetimi ve Döngüsel Ekonomi

OSB'nin sektörel yapısı gereği atık yönetimi, hem çevresel hem ekonomik açıdan kritik öneme sahiptir.

Amaç, tehlikeli atık miktarını azaltırken, geri kazanımı maksimum seviyeye çıkarmaktır.

Tablo 9: BIOSB Atık Yönetimi, Geri Dönüşüm ve Enerji Geri Kazanımı Göstergeleri (2025–2053 Yol Haritası)

Gösterge	Tanım	2026	2030	2053	Açıklama
Toplam Atık Miktarı	ton/yıl	8.000	12.000	13.500	Üretim kapasitesine paralel artış
Tehlikeli Atık Oranı	%	%35	%30	%25	Proses optimizasyonu ve kimyasal geri kazanımı
Geri Dönüşüm Oranı	%	%45	%70	%85	BiyoAtık Döngü Merkezi uygulamaları
Atıktan Enerji Üretimi	MWh/yıl	1.000	2.800	4.000	Organik atıklardan biyogaz üretimi
Dijital Atık İzleme Kapsamı	%	%50	%100	%100	QR kodlu atık takip sistemi

7.2.4 Karbon Emisyonları ve Enerji Kaynaklı Göstergeler

Karbon yönetimi, BIOSB'nin 2053 net sıfır stratejisinin temelidir. Tüm karbon hesaplamaları ISO 14064 standardına uygun biçimde yapılacaktır.

Tablo 10 BIOSB Sera Gazı Emisyon Yönetimi ve Karbon Nötrlük Göstergeleri (2026–2053 Yol Haritası)

Gösterge	Tanım	2026	2030	2053	Açıklama
Toplam Emisyon (tCO_2e)	Yıllık sera gazı emisyonu	8.900	15.600	0	GES ve atık enerji ile Net Sıfır
Emisyon Yoğunluğu	tCO_2e/m^2	0.45	0.38	0.00	Verimlilik + yenilenebilir enerji
Kapsam 1 Emisyon Payı	%	%22	%20	%10	Doğalgaz ve yakıt azaltımı
Kapsam 2 Emisyon Payı	%	%76	%70	%0	%100 yenilenebilir enerjiye geçiş
Karbon Yutak Alanı	m^2 yeşil alan	46.000	65.000	95.000	Yeşil koridorlar ve dikey bahçeler

7.2.5 Yeşil Altyapı ve Ekosistem Göstergeleri

BIOSB'nin yeşil dönüşümü, yalnızca teknolojik değil, ekolojik altyapı temellidir. Yeşil koridorlar, geçirgen yüzeyler ve mikroiklim temelli tasarımlar bu kapsamda izlenecektir.

Tablo 11 BIOSB Mikroiklim ve Yeşil Altyapı Performans Göstergeleri (2025–2053 Yol Haritası*)*

Gösterge	Tanım	2025	2030	2053	Açıklama
Yeşil Alan Oranı	% toplam alan	%18	%25	%30	Ekolojik koridor entegrasyonu
Geçirgen Yüzey Oranı	% toplam zemin	%12	%20	%25	Taşkın riskini azaltma hedefi
Isıl Konfor Endeksi (PMV)	Ortalama yaz değeri	+2.2	+1.0	+0.5	Gölgelendirme ve rüzgâr koridorları
Isıl Stres Endeksi (UTCI)	Maks. hissedilen sıcaklık	42 °C	36 °C	32 °C	Bitkisel serinleme ve gölgeleme

7.2.6 Dijitalleşme ve Veri Yönetimi

Dijital dönüşüm göstergeleri, OSB'nin sürdürülebilirlik performansını sürekli izleyebilir hale getirmektedir.

Tablo 12 BIOSB Dijital İzleme, MRV ve Akıllı Altyapı Göstergeleri (2025–2053 Yol Haritası)

Gösterge	Tanım	2026	2030	2053	Açıklama
Akıllı Sayaç Kurulum Oranı	%	%40	%100	%100	SCADA entegrasyonu tamamlanacak
Veri Toplama Sıklığı	15 Dk		5	1	IoT sensör optimizasyonu
MRV Sistemi Uygulaması	Durum	Pilot	Tüm OSB	Sürekli	ISO 14064 doğrulama temelli
Dijital İkiz Modeli	Durum	Geliştirme	Aktif	Genişletilmiş 3D enerji-su simülasyonları	

7.2.7 Sosyal ve Ekonomik Göstergeler

Sürdürülebilirlik, yalnızca çevresel değil, sosyal ve ekonomik boyutlarıyla da bütüncül bir yaklaşımdır.

BIOSB, istihdam, eğitim, yenilikçilik ve toplumsal etki alanlarında da ölçülebilir hedefler belirlemiştir.

Tablo 13 BIOSB Sosyal Sürdürülebilirlik, İstihdam ve Ar-Ge Göstergeleri (2026–2053 Yol Haritası)

Gösterge	Tanım	2026	2030	2053	Açıklama
Toplam İstihdam	Kişi	2.000	4.500	6.000	Ar-Ge ağırlıklı istihdam
Kadın İstihdam Oranı	%	%28	%35	%45	Kadın mühendis ve araştırmacı desteği
Ar-Ge Yatırım Payı	% toplam yatırım	%8	%15	%20	İnovasyon ve yeşil teknoloji projeleri
Eğitim Katılımı	Kişi/yıl	250	600	900	OSB Akademi eğitim programları

7.3 Su Ayak İzi ve Su Döngüselliği Analizi (ISO 14046, kuruluş aşaması)

Bu analizde amaç, BIOSB'nin 2026–2030 dönemindeki toplam su talebini bileşenlerine ayırmak, mavi–yeşil–gri su ayak izlerini nicellemek ve döngüsellik (yeniden kullanım + yağmur hasadı) oranını belirlemektir. Sistem sınırları; içme/proses suyu temini, proses kullanımı, yardımcı tesisler (HVAC, soğutma), arıtma ve geri kullanım döngülerini kapsamaktadır.

Varsayımlar (ÇED ve önceki KPI'larla uyumlu): 2025 su talebi ≈ 700.000 m³/yıl (üretim kademeli artarken), 2030 ≈ 900.000 m³/yıl. 2025'te yeniden kullanım oranı %15 (≈105.000 m³/yıl), 2030'da %50 (≈450.000 m³/yıl). Yağmur suyu hasadı potansiyeli 2030 için ≈1,9 milyon m³/yıl (tam çatı kapsaması ve yüksek verim varsayımı). Kuruluş yılında şebeke/hizmet suyu ana kaynaktır; yeraltı suyu kullanılmaz varsayılmıştır.

Mavi su ayak izi : Net dış tedarik = Toplam talep − (yeniden kullanım + yağmur hasadı).

- 2026 (başlangıç): 700.000 − 105.000 − 0 = 595.000 m³/yıl.
- 2030 (gelişmiş): 900.000 − 450.000 − 1.900.000 = –1.450.000 m³/yıl (teknik olarak "net su-pozitif"; fazla su depolamaya/yerel yeşil altyapıya yönlendirilebilir).

Yeşil su ayak izi: Peyzaj/yeşil alan sulamasında yağışın doğrudan katkısıdır. 2026'da düşük; 2030'da yeşil alanların artışıyla yerinde karşılanan sulama yükü yükselir (net dış ihtiyacı azaltır). Bu kalem, yağışla dengelendiği ölçüde mavi suyu ikame eder.

Gri su ayak izi: Kirlilik seyreltme gereksinimine göre:

WF_grey = (C_out − C_nat) × Q_e / (C_max − C_nat). Burada C_out arıtma çıkış konsantrasyonu, C_max mevzuat sınırı, C_nat alıcı ortam doğal arka planı, Q_e deşarj debisidir. OSB'nin ileri arıtma (UF/RO) ve proses suyu geri kazanımıyla C_out değerlerinin sınırların belirgin altında tutulması hedeflenir. Örnek hesap: KOİ için C_out=60 mg/L, C_max=125 mg/L, C_nat=10 mg/L, Q_e=2.000.000 m³/yıl ise WF_grey ≈ (60−10)/(125−10) × 2.000.000 ≈ 869.565 m³/yıl. İleri oksidasyon/ozonlama ve membranla C_out 40 mg/L'ye çekildiğinde WF_grey ≈ 521.739 m³/yıl olur (yaklaşık %40 düşüş).

Su Döngüselliği İndeksi (WRI): WRI = (Yeniden kullanım + Yağmur hasadı) / Toplam talep.

- 2025: (105.000 + 0) / 700.000 = %15.
- 2030: (450.000 + 1.900.000) / 900.000 = %260 (fazla >100, su-pozitif kampüs).

Özgül tüketim göstergeleri: Su yoğunluğu (m³/üretim birimi) ve m³/m² taban alanı bazında izlenmelidir. Kuruluş yılında hedef m³/m² < 1,0, 2030 hedefi ≤ 0,7 önerilir (geri kullanım devreye girdikçe).

2025'te ana yük mavi su üzerindedir; en hızlı kazanım hat içi yeniden kullanım ve proses yıkama sularının geri kazanımıyla sağlanır. 2030 senaryosunda yağmur suyu hasadı ve ileri arıtma sayesinde OSB net su-pozitif hale gelebilir; gri su ayak izi ileri arıtma ile %30–40 azaltılabilir. Bu, kurak dönemlerde operasyonel dayanıklılığı artırır ve maliyetleri düşürür.

Yönetim/uygulama önerileri:

1. Zorunlu yağmur suyu depolama: Parsel bazında minimum hacim şartı (çatı alanına bağlı).
2. İleri arıtma + geri kullanım: UF/RO ile proses ön yıkama ve HVAC besleme suyu; aylık C_out teyidi.
3. Ayrık hatlar: Gri su şebekesi ve yeşil alan–saha sulama için ikincil hat.
4. Sızıntı kayıpları < %5: Akıllı debimetre ile kaçak izleme.
5. Su-pozitif protokolü: Fazla yağmur/geri kazanım sularının dengeleme havuzları ve yeşil altyapıda kullanımı.
6. KPI'lar: WRI ≥ %50 (2030), WF_grey'te %35+ düşüş, m³/m² ≤ 0,7, toplam su maliyetinde %40 azalma.

7.4 Hava Kalitesi Dağılım Modeli (AERMOD/WRF-Chem) – kuruluş aşaması ve dönüşüm senaryoları

Amaç, BIOSB kaynaklı emisyonların yakın çevredeki hava kalitesi üzerindeki etkisini nicel olarak değerlendirmek; "mevcut kurulum (baz)", "atık ısı geri kazanımı (WHR)", "kademeli elektrifikasyon" ve "tam dekarbonizasyon" senaryolarında kirletici dağılımlarını karşılaştırmaktır. Çalışma, ÇED'deki enerji/işletme varsayımları (elektrik ağırlıklı profil, doğalgazın proses/HVAC'ta kullanımı, düşük kükürtlü yakıt; servis-lojistik trafiği) temelinde yürütülmüştür.

Kapsam ve kirleticiler

NO_x (NO_2 eşdeğeri), SO_2, $PM_{2.5}$/PM_{10}, CO, toplam VOC (ozon öncülü) ve koku (H_2S eşdeğeri, yalnızca AAT civarı) değerlendirilmiştir. Emisyonlar üç ana kaynaktan modellenmiştir: (i) sabit kaynaklar (kazan/e-boiler geçiş öncesi), (ii) süreç kaynakları (sterilizasyon, bacagazı), (iii) alan/çizgisel kaynaklar (OSB içi trafik, yükleme/boşaltma).

Model kurulum özeti

- Dağılım modeli: AERMOD (yıllık ve kısa dönem) – yakın alan; WRF-Chem çıktılarıyla (1–3 km çözünürlük) arka plan ve meteoroloji doğrulaması.
- Meteoroloji: ÇED'deki rüzgâr gülü ve stabilite sınıfları esas alınarak 1 yıllık sentetik dosya (AERMET) oluşturulmuştur; kararlı/kararsız sınıflar oranı, gündüz karışım yüksekliği ve yüzey pürüzlülüğü OSB kullanımına göre set edilmiştir.
- Alıcı ızgara: 0–5 km yarıçapta 100 m çözünürlük; yerleşim/duyarlı alanlarda 50 m yoğunlaştırma.
- Baca parametreleri (baz): yük sınıfına bağlı yükseklik 20–35 m, çap 0,4–0,8 m, çıkış hızı 10–18 m/s, çıkış sıcaklığı 140–180 °C (doğalgaz).
- Arka plan: Bölgesel PM/NO_2/ozon arka planı WRF-Chem'den alınmış ve AERMOD sonuçlarına süperpoze edilmiştir.
- Emisyon envanteri: E = EF × Aktivite (yakıt tüketimi, çalışma saati, filo km); EF'ler doğalgaz ve Euro VI dizele ait literatür değerlerinden seçilmiş, VOC için proses özgül katsayıları kullanılmıştır.

Senaryolar

- S0: Baz kurulum (2025) – 700.000 m^3/yıl doğalgaz, mevcut filo, AAT tam yükte değil.
- S1: WHR – doğalgazda ~%8–10 azaltım; proses ön ısıtma.
- S2: %50 elektrifikasyon (2030) – ısı pompaları/e-boiler devrede; filo içinde %30 EV.
- S3: Tam dekarbonizasyon – sabit kaynaklarda yakıt yanması yok; filo %80 EV; yalnızca artık proses/koku emisyonları.

Temsili sonuçlar (model çıktılarının yorumlanması)

- NO_2 yıllık ortalama (µg/m^3): S0'a göre S1'de %4–6, S2'de %28–35, S3'te %55–60 düşüş; kısa dönem (1-saatlik) pikler en çok rüzgâr altı 500–1.000 m bandında azalır.
- SO_2: doğalgazda düşük; S1'de anlamlı değişim yok; S2/S3'te %30+ bağıl azalma (yakıt yanması minimize).
- $PM_{2.5}$ yıllık: S1'de %3–4, S2'de %20–25, S3'te %45–50 düşüş; yükleme/boşaltma ve lastik-aşınma kaynaklı PM, S3'te bile rezidüel kalır.
- VOC/ozon öncülleri: proses ve trafikten kaynaklı; S2'de %25–30, S3'te %60+ azalma; yaz öğleden sonra saatlerinde ozon oluşum potansiyeli belirgin düşer.
- Koku (H_2S eşdeğeri, AAT): ileri arıtma ve kapalı koku toplama/aktif karbon ile >%70 azaltım; meteorolojik kararlılıkta akşam saatleri riskli periyot olduğundan kapalı işletim önerilir.

Sıcak nokta ve rüzgâr altı deseni

Rüzgâr gülüne göre hâkim rüzgâr yönünde rüzgâr altı 0,5–2 km şeritte konsantrasyonların göreli maksimumları görülür; S2 sonrası bu şerit belirgin biçimde "soluklaşır". OSB iç akslarda

kavşaklar, PM kısa dönem piklerinin başlıca kaynaklarıdır; hız sınırı ve elektrikli filo bu pikleri bastırır.

Uyumluluk ve eşik değerlere yaklaşım

Yıllık ortalama NO_2/$PM_{2.5}$/PM_{10} çıktıları S2 senaryosundan itibaren mevzuat sınırlarının altında güvenli aralıkta kalmaktadır; S0'da kısa dönem piklerin duyarlı alıcılar için yakın eşik oluşabildiği görülmüştür. S3 senaryosu tüm parametrelerde "düşük risk" bölgesine geçiş sağlar.

Duyarlılık/Belirsizlik

- Meteoroloji yılı (kurak-sıcak yaz, terselme): kısa dönem pikleri %10–20 oynatabilir.
- Baca yüksekliği/exit hız ±%15 değişimi, yer seviyesinde 1-saatlik NO_2 pikini %5–12 etkiler.
- Filo kompozisyonu (EV payı): $PM_{2.5}$ ve NOx üzerinde doğrusal olmayan ama güçlü etki.

Operasyonel KPI'lar (yıllık)

NO_2_yıllık<20 µg/m³ (OSB sınır hattında hedef), $PM_{2.5}$_yıllık<10 µg/m³, 1-s NO_2 99,8. persantil < 150 µg/m³, VOC emisyon yoğunluğu < 0,4 kg/ton ürün, koku şikâyeti ≤ 1/10.000 çalışma saati.

Azaltım paketi ve yönetim önerileri

1. Elektrifikasyon + GES: S2'ye hızla geçiş; sabit kaynaklarda yanma azaltımı NOx/PM için.
2. Filo dönüşümü: %30 EV (2027), %60 EV (2030); OSB içi hız ≤ 30 km/s; sürekli yol temizliği.
3. Baca optimizasyonu: kritik hatlarda baca yükseklik ve çıkış hızının revizyonu; düşük NOx brülörleri (geçiş sürecinde).
4. VOC yönetimi: kapalı solvent depoları, yerel abatman (aktif karbon/termal oksidasyon) – özellikle kimya/temizlik prosesleri.
5. Koku kontrolü (AAT): kapalı havalandırma + aktif karbon/kimyasal yıkayıcı; akşam/gece kararlı saatlerde proses optimizasyonu.
6. Sürekli izleme: NOx/$PM_{2.5}$/TVOC düşük maliyetli sensör ağı; 2 referans istasyonla kalibrasyon

7.5 Mikroiklim ve Isıl Konfor Simülasyonu (CFD/ENVI-met) – sıcak nokta haritaları ve gölgelendirme/yeşil altyapı optimizasyonu

Bu optimazyonun amacı, BIOSB'nin parsel düzeni, bina morfolojisi ve yüzey kaplamalarının yerel rüzgâr, sıcaklık, nem ve güneşlenme ile etkileşimini analiz ederek açık alanlarda ısıl konforu artıracak tasarım kararlarını belirlemektir. Çalışma, ÇED'deki meteorolojik veri (hakim rüzgâr yönü, yaz/kış sıcaklıkları, bağıl nem) ve yerleşim planı kısıtlarını esas alır; kent ölçeğinden mahal ölçeğine inen iki kademeli modelleme yaklaşımı kullanılır: rüzgâr akışı için CFD (ör. 3B RANS k-ε) ve mikroiklim/konfor için ENVI-met (2×2 m hücre, 24–48 saatlik yaz ve geçiş dönemi simülasyonları). Değerlendirme göstergeleri PMV (Predicted Mean Vote),

UTCI (Evrensel Isıl İklim İndeksi), yüzey sıcaklığı (LST), rüzgâr koridor sürekliliği ve gölgeleme oranıdır.

Baz senaryo, yaz öğleden sonrası (Temmuz, T_aır≈33 °C; RH≈45 %; rüzgâr 2,5 m/s; güneş yüksek) ve geçiş dönemi (Mayıs, T_aır≈25 °C; RH≈55 %) koşullarında hesaplanmıştır. Açık alanlarda koyu asfalt ve düşük ağaç örtüsü bulunan bölgelerde yüzey sıcaklıkları çevreye göre +12 … +16 °C daha yüksek; zemin seviyesinde hissedilen sıcaklık (UTCI) 40–43 °C bandına çıkarak "şiddetli ısıl stres" sınıfına girmektedir. PMV ortalaması +2,1 … +2,5 aralığındadır. Hakim rüzgâr yönünü kesen sürekli cepheler ve 15–20 m yüksek blokların sık dizilimi, parsel arası rüzgâr-kanalı sürekliliğini bozarak sıcak hava birikimi yaratır; CFD kesitlerinde bu "durgunluk cepleri"nde rüzgâr hızı <0,5 m/s'ye düşmektedir.

Üç durum senaryolaştırılmıştır. (i) Gölgeleme ve albedo: yaya aksları boyunca %40 gölgeleme hedefi, açık renk yüksek yansıtımlı kaplamalar (albedo 0,15→0,35), gölgeleme elemanlarıyla yürüyüş aksı sürekliliği. (ii) Yeşil altyapı ve buharlaşmalı soğutma: geçirgen yüzey oranını %12→%20'ye çıkarma, lineer yeşil koridorlar, yaprak alan indeksi (LAI) 3,0–4,5 olan ağaç seçimi, su ögeleri (sisleme/buharlaşmalı havuzlar) ile lokal serinletme. (iii) Rüzgâr koridoru optimizasyonu: hakim rüzgâr yönüne paralel 18–25 m genişliğinde en az iki aks; bina ayaklarında pilotiler/arkad düzeni ile taban sürtünmesini azaltma; kütle kesitlerinde "rüzgâr penceresi" açıklıkları. Bu üçlü paket uygulandığında yaz öğleden sonrası için ENVI-met sonuçları, yüzey sıcaklıklarında ortalama −4 … −6 °C; UTCI'de −4 … −7 °C düşüş ve PMV'nin +1,0 … +1,3 bandına gerilediğini göstermektedir. CFD akım çizgileri, koridorlarda zemin rüzgâr hızının 1,5–2,0 m/s seviyesinde korunabildiğini; durgunluk ceplerinin alanının %60'a kadar azaldığını göstermektedir.

Malzeme ve peyzaj seçimlerinin mikroiklime etkisi sayısallaştırılmıştır. Açık renk, güneş yansıtıcılığı yüksek (SRI≥78) kaldırım ve meydan kaplamaları, koyu asfalt referansına kıyasla yüzey sıcaklığını pik saatte −8 °C düşürür. Geniş yapraklı türler (LAI≥4, yaprak yoğunluğu tepe yüksekliği 3–6 m) ile tek sıralı ağaç dizilimi dahi zemin ölçekte UTCI'yi −2 … −3 °C azaltır; çift sıralı aks + pergola ile −5 °C etkisi yakalanır. Su ögeleri, yerel bağıl nemi +3 … +5 puan artırırken hissedilen sıcaklığı −1,0 … −1,5 °C düşürür; bu nedenle yalnızca ana yaya avlularında ve rüzgâr alan noktalarda önerilir. Çatı üstü yeşillendirme (ekstansif 12–15 cm) ve fotovoltaik-gölgeleme kombini, çatı yüzey sıcaklıklarını −10 … −15 °C azaltır; alttaki katlarda soğutma yükü %6–10 düşer.

Yaya konforu için eşik hedefleri belirlenmiştir: yaz tasarım saatinde UTCI ≤ 36 °C (orta stres altı), PMV ≤ +1,3; yaya akslarında gölgeleme oranı ≥ %40 (2030) ve ≥ %60 (2053); geçirgen yüzey oranı ≥ %20; lineer yeşil koridor sürekliliği (kesintisiz uzunluk) ≥ 600 m; rüzgâr koridoru zemin hızı ≥ 1,5 m/s; ısı adası (LST farkı) ≤ +6 °C. Bu KPI'lar, Smart Hub'a bağlı mikroiklim istasyonları ve yüzey sıcaklığı için termal görüntüleme ile yılda iki kere doğrulanmalıdır. Tasarım ve uygulama sıralaması pratik bir yol haritasına bağlanmıştır: 0–12 ayda gölgeleme/kabuk ve açık renk kaplama dönüşümü; 12–24 ayda ana rüzgâr koridorlarının açılması (gerekiyorsa kütle/çit revizyonu) ve ağaçlandırma; 24–36 ayda su ögeleri, pergolalar ve geçirgen yüzeylerin tamamlanması; 36+ ayda çatı yeşillendirme-PV gölgeleme paketinin genişletilmesi.

Risk ve işletme notları şunlardır**: yoğun ağaçlandırma yanlış konumlanırsa rüzgâr akışını kesebilir; ENVI-met çıktılarıyla rüzgâr koridoru kesitleri çakıştırılarak dikim planı yapılmalıdır. Yüksek albedo malzemeler kamaşma (glare) riski doğurabileceğinden yaya alanlarında orta-yüksek SRI dengesi gözetilmelidir. Su ögeleri için aerosol ve bakteri kontrolü zorunludur. Kış koşullarında rüzgâr kanalı hızlarını sınırlamak için rüzgâr kırıcı peyzaj/elemanları (mevsimlik perdeler) kullanılmalıdır.**

Sonuç olarak, mikroiklim ve ısıl konfor simülasyonları; gölgeleme, geçirgen yüzey, rüzgâr koridoru ve çatı-PV-yeşil kombinasyonunun birlikte uygulanması halinde açık alan ısıl stresini anlamlı biçimde düşürdüğünü, çalışan verimliliği ve sağlık göstergelerinde iyileşme sağlayacağını göstermektedir. Bu yaklaşım, enerji talebini (soğutma yükü) azaltarak elektrifikasyon ve GES senaryolarının da etkinliğini artırır; yani iklim uyumu ve emisyon azaltımı arasında doğrudan sinerji kurar.

7.6 Yağış–Taşkın Risk Modeli (SWMM / HEC-RAS 2D) – yüzey akış, su birikimi ve drenaj optimizasyonu

Bu analiz, BIOSB sahasında kısa süreli şiddetli yağışlarda oluşabilecek yüzey akışları, birikim alanları ve taşkın risklerini değerlendirmek, drenaj kapasitesini ve yağmur suyu yönetimini optimize etmek amacıyla hazırlanmıştır. ÇED verilerine göre bölge, İstanbul'un Tuzla ilçesinde yer almakta; ortalama yıllık yağış miktarı 720 mm, 15 dakikalık yoğun yağışlarda maksimum anlık yağış 60–70 mm/h düzeyine ulaşabilmektedir. Arazi eğimi kuzey-güney yönünde %1,5–3 arasındadır ve zemin geçirgenliği düşük (C ≈ 0,8) dolayısıyla yüzey akış oranı yüksektir.

Modelleme iki aşamada yürütülmüştür: (1) SWMM 5.2 ile kentsel drenaj sisteminin 1 saatlik ve 6 saatlik şiddetli yağış senaryolarında hidrolik yüklemesi; (2) HEC-RAS 2D ile taşkın akışının topografya üzerindeki dağılımının haritalanması. Giriş verileri ÇED raporundaki plan kotları, parsel sınırları, drenaj hatları ve menfez kesitlerinden oluşturulmuş; yağış-akıntı dönüşümü için Chicago hiyetografı (T = 10 yıl ve T = 25 yıl geri dönüş periyotları) kullanılmıştır.

Model sonuçlarının özeti:

- T = 10 yıl fırtınasında ana yollar boyunca akış derinliği 3–8 cm, bazı düşük kotlu alanlarda 12 cm'ye kadar çıkmaktadır; tahliye süresi 40–50 dakikadır.
- T = 25 yıl fırtınasında kuzeybatı köşe ve merkez kavşakta 0,20–0,25 m'ye ulaşan geçici su birikimi görülmektedir; bu bölgelerde mevcut menfezlerin debi kapasitesi %20–25 oranında yetersiz kalmaktadır.
- HEC-RAS 2D sonuçları, 0,05 m üzeri su derinliği olan alanların toplam yüzölçümünün OSB'nin %2,3'üne karşılık geldiğini göstermiştir.
- Yağmur suyu hattının birleştiği kolektörlerde 15 dakikalık pik debi 5,8 m³/s iken mevcut sistem 4,6 m³/s kapasiteye sahiptir; dolayısıyla 1,2 m³/s ilave kapasite gerekmektedir.

Drenaj optimizasyonu:

- Bölgenin kuzey-batısında 2 adet 1.000 m³'lük yağmur suyu dengeleme havuzu önerilmektedir. Bu havuzlar, taşkın anında suyu geçici olarak depolayıp kademeli deşarj sağlayarak menfez yükünü %30 azaltacaktır.

- Tüm yollar boyunca geçirgen yüzey oranının %10 artırılması (geçirgen parke, yeşil drenaj hendekleri) modelde pik debiyi yaklaşık %12 azaltmaktadır.
- Çatı sularının doğrudan drenaja verilmesi yerine yağmur suyu hasadı tankları üzerinden kontrollü deşarj önerilmektedir. Toplam potansiyel depolama 1,9 milyon m³ olup, bu hacmin %30'u (≈570 000 m³) yalnızca 15 dakikalık ani yağışlarda taşkın önleme için kullanılabilir.

Enerji-hidrolojik sinerji: GES kurulumu için planlanan çatıların eğim ve drenaj tasarımı, yağmur suyu toplama verimini artıracaktır. Bu suyun HVAC sistemlerinde soğutma veya yeşil alan sulamasında kullanılması, "su-pozitif OSB" hedefiyle uyumludur.

Kritik göstergeler (KPI):

- T = 25 yıl taşkınında maksimum su derinliği < 0,15 m (hedef 2030),
- Pik drenaj debisinde %25 azalma,
- Geçirgen yüzey oranı ≥ %25,
- Yağmur suyu geri kullanım oranı ≥ %40.

Yönetim önerileri:

1. Menfez ve ızgara ağı, 25 yıl yağışına göre yeniden boyutlandırılmalıdır.
2. Kritik kotlarda otomatik kapaklı ters akış önleyici sistemler kullanılmalıdır.
3. Dengelenmiş yağmur suyu depolama hacmi, fosfor-azot arıtımı için sulama öncesi biyolojik filtrasyonla birleştirilmelidir.
4. Her parselde minimum %5 hacimsel yağmur suyu tutma zorunluluğu getirilmelidir.
5. Akıllı sensörlü yağış-seviye izleme sistemi kurulmalı; veriler Smart Hub üzerinden gerçek zamanlı izlenmelidir.

7.7 Gürültü ve Titreşim Analizi (ISO 9613-2 / ISO 1996 / ISO 2631-2; modelleme temelli senaryo değerlendirmesi)

Bu adımın amacı, BIOSB sahasında inşaat ve işletme dönemlerinde oluşabilecek çevresel gürültü ve titreşim etkilerini nicel olarak değerlendirmek, düzenleyici sınırlarla uyumu doğrulamak ve gerekli azaltım önlemlerini tasarlamaktır. Çalışma; sabit kaynaklar (fanlar, kompresörler, soğutma kuleleri, HVAC, pompalar, jeneratörler, proses ekipmanı), alan/çizgisel kaynaklar (iç trafik, yükleme–boşaltma, forklift, servis araçları) ve dönemsel kaynakları (inşaat ekipmanı) kapsamaktadır. Gürültü yayılımı ISO 9613-2 dış ortam ses yayılım metoduna göre, alıcı noktalar OSB sınır hattı ve en yakın hassas kullanımlar olacak şekilde yerleştirilerek hesaplanmıştır. Zemin faktörü G = 0,6 (karma yumuşak/sert), hava soğurma ISO parametreleriyle, meteorolojik düzeltme ISO 1996 yöntemiyle uygulanmıştır. Titreşim değerlendirmesi ISO 2631-2'ye göre yapı içinde ve çevrede tepe parçacık hızı (PPV, mm/s) ve konfor eşikleri (VDV) üzerinden yapılmıştır.

Model girdileri ÇED'deki yerleşim planı, ekipman tipleri ve güçleri esas alınarak temsilî ses gücü seviyeleriyle (LwA) kurulmuştur: çatıda santrifüj fanlar 94–98 dB(A), paket tip chiller 95–100 dB(A), hava kompresörü 92–96 dB(A), büyük sirkülasyon pompaları 88–92 dB(A), jeneratör kabini 100–105 dB(A) (kısa süreli test), forklift operasyonu 82–85 dB(A) ses gücü eşdeğeri. İç trafik için 30 km/s hız sınırı kabul edilmiştir. Değerlendirme üç işletme senaryosu

ile yapılmıştır: S0 (baz kurulum, azaltım yok), S1 (pasif önlemler: kabin/ susturucu/ alçak gürültülü fan kanadı, işletme saatleri yönetimi), S2 (pasif + aktif önlemler: akustik bariyerler, çatı ekipmanının çekirdek hattına taşınması, hız kontrol strategisi ve elektrikli filo payının artırılması).

Hesap sonuçlarına göre gün dönemi (Lday, 07:00–19:00) OSB sınır hattında model ortalaması S0 için 56–59 dB(A), akşam (Levening, 19:00–23:00) 53–55 dB(A), gece (Lnight, 23:00–07:00) 49–51 dB(A) bandındadır; kuzeybatı sınırında çatı HVAC kümelenmesi nedeniyle lokal tepe değerler 60–61 dB(A)'yı bulmaktadır. S1 senaryosunda çatı ekipmanlarına 5–8 dB(A) ek zayıflatma sağlayan susturucular ve akustik kabinler uygulandığında sınır hattı değerleri gün/akşam/gece için sırasıyla 51–54 / 48–50 / 44–46 dB(A) aralığına gerilemiştir. S2 senaryosunda 2,5–3,0 m yüksekliğinde lineer akustik bariyerler (çatı parapeti/kenar perde) ile çatı ekipmanlarının bina çekirdeğine taşınması, düşük devirli–yüksek çaplı fan seçimi ve hız düşürme (iç trafik ≤30 km/s; forklift lastik–zemin gürültüsünde ~2 dB(A) azalma) sonucu sınır hattı değerleri 48–51 / 46–48 / 42–44 dB(A) düzeyine düşmektedir. Yakın çevredeki hassas alıcılar yönünde yapılan yönlü değerlendirme, gece eşiklerinin (konut eşikleri varsayımsal olarak 45 dB(A) Lnight) S2'de güvenli marjla sağlandığını, S0'da ise sadece kuzeybatı sınırının belirli rüzgâr koşullarında sınıra yakın seyrettiğini göstermektedir.

Kaynak katkı analizi, çatıda konumlanan HVAC/soğutma kümesinin toplam sınır hattı sesine 4–6 dB(A) ile en yüksek katkıyı yaptığını, ikinci sırada yükleme–boşaltma alanı çevresel gürültüsünün geldiğini ortaya koymuştur. Bina içine iletilen (yapısal) titreşim için yüksek devirli fan–kompresörlerin altına titreşim izolatörleri yerleştirildiğinde, PPV değerleri kritik noktada 0,6–0,8 mm/s'den 0,2–0,3 mm/s seviyesine gerilemektedir; ISO 2631-2 standartlarına göre ofis/lab konforu açısından sınırların altındadır. İnşaat döneminde sıkıştırma/fore kazık gibi faaliyetler için arazide 20 m mesafede PPV'nin 2–4 mm/s'yi geçmemesi, eşik yaklaşımı durumunda ekipman–zemin parametrelerinin revizyonu ve çalışma saatlerinin sınırlanması gerekecektir.

Azaltım paketinin mühendislik ölçekte tasarlanması için uygulanabilir önlemler şunlardır: (1) Çatı ekipmanı için akustik kabin + emiş/egzoz susturucuları; hedef toplam ek zayıflatma 10–15 dB(A). (2) Çatı kenarına 2,5–3,0 m yüksekliğinde sürekli parapet/perde; hat kayıpları ve difraksiyon ile 3–5 dB(A) sınır hattı kazancı. (3) Fan–kompresör–pompalar için elastomer izolatör ve esnek kompansatör, titreşim köprülerini kesmek için rijit bağlantılardan kaçınma. (4) Düşük SRI gerektirmeyen çatı kaplamalarında ses yutucu agregalı katman (akustik çakıl/poröz tabaka) ile yansımanın azaltılması. (5) Yükleme–boşaltma alanı için akustik bariyer ve lastik durdurucular; çarpma/metal seslerinin azaltılması, geri vites ikazlarının ton yerine broadband white-noise kullanımı. (6) İç trafik için hız 30 km/s üst sınır, kauçuk kaplı geçiş bölgeleri, sessiz kaplama. (7) Jeneratörler için tam kapalı kabin (≥25 dB(A) zayıflatma) ve yalnızca test–bakım saatlerinde gündüz çalışma. (8) Tüm sabit kaynaklarda düşük gürültülü fan profili (geniş kanat, düşük devir), VFD ile optimum çalışma noktası.

Denetim ve izleme planı; devreye almadan önce akustik performans kabul testi (ISO 1996 yöntemi, sınır hattı 5–8 nokta; gün/akşam/gece ölçümleri), yıllık yeniden ölçüm, büyük ekipman değişikliklerinde ilave doğrulama ve şikâyet/olay yönetim prosedürü içerir. Sürekli izleme için iki sabit sınır istasyonu ve taşınabilir sınıf-1 ses seviye ölçerlerle periyodik tarama

önerilir; veriler OSB Smart Hub'a aktarılarak saatlik L_Aeq, L_max ve persantil değerleri izlenir.

KPI hedefleri şu şekilde tanımlanmıştır: OSB sınır hattında Lday ≤ 55 dB(A), Levening ≤ 50 dB(A), Lnight ≤ 45 dB(A); çatı HVAC kaynak katkısında ≥10 dB(A) azaltım (devreye alma sonrası), yükleme–boşaltma alanı L_Aeq'de ≥5 dB(A) iyileşme, iç trafik hız ihlallerinde <%2, forklift yüksek gürültü olaylarında (impact noise) ayda ≤1. Titreşimde PPV (işletme) <1 mm/s, inşaatta konut yönünde <4–5 mm/s hedef olarak benimsenir.

7.8 Kaynak Verimliliği Analizi (Resource Efficiency Assessment – UNIDO Metodolojisi)

Bu adımın amacı, BIOSB'nin üretim süreçlerinde enerji, su, hammadde ve atık akışlarının birbirine oranını analiz ederek kaynak kullanım verimliliğini (Resource Efficiency Index – REI) belirlemektir. Bu analiz, ISO 14001 ve ISO 50001 sistemlerine entegre bir izleme çerçevesi oluşturur ve "daha az kaynakla daha fazla üretim" prensibini somut performans göstergeleriyle ölçer.

Çalışmada, ÇED verileri ve planlanan tesis tipolojileri kullanılarak 2025 (kuruluş) ve 2030 (olgun işletme) yılları için enerji ve su girdileri, ürün çıktısı ve atık miktarları bazında bir karşılaştırma yapılmıştır.

Veri seti ve sistem sınırları:

Sistem sınırına OSB genelindeki tüm üretim tesisleri, yardımcı işletmeler (AAT, enerji merkezi, idari binalar) ve lojistik süreçler dahil edilmiştir. Enerji tüketimi 2025 yılı için 25 GWh, su kullanımı 700.000 m³, yıllık ürün çıktısı 100.000 ton eşdeğer üretim kabul edilmiştir. 2030 senaryosunda, enerji verimliliği önlemleri (elektrifikasyon, WHR, otomasyon), su geri dönüşümü ve malzeme döngüselliği sayesinde enerji tüketimi %20, su kullanımı %30 azalacak; ürün çıktısı %25 arttılması planlanmaktadır.

Kaynak verimliliği göstergeleri:

REI (Resource Efficiency Index) = (Toplam Üretim Değeri veya Ürün Miktarı) / (Enerji + Su + Hammadde + Atık)

Bu oran, her bir kaynağın birim üretim başına kullanımını normalize ederek verimlilik artışını ortaya koyar.

2026 (baz yıl) değerleri:

- Enerji yoğunluğu = 250 kWh/ton ürün
- Su yoğunluğu = 7 m³/ton ürün
- Atık yoğunluğu = 0,12 ton atık/ton ürün
- Malzeme geri dönüşüm oranı = %20

$REI_{(2025)}$ = 1 / (250 + 7 + 0,12) ≈ 0,00394 (normalize edilmemiş baz endeks = 1,00 olarak kabul edilir)

2030 (gelişmiş senaryo):

- Enerji yoğunluğu = 200 kWh/ton (−%20)

- Su yoğunluğu = 4,8 m³/ton (−%31)
- Atık yoğunluğu = 0,09 ton/ton (−%25)
- Malzeme geri dönüşüm oranı = %40

$REI_{(2030)} = 1 / (200 + 4{,}8 + 0{,}09) \approx 0{,}00495 \rightarrow$ Göreceli artış ≈ +26 %.

Bu sonuç, aynı üretim çıktısı için kaynak kullanımının 2025'e kıyasla yaklaşık dörtte bir oranında azaldığını, verimliliğin belirgin biçimde yükseldiğini göstermektedir.

Alt göstergeler (performans izleme için):

- Enerji verimliliği (EE): Üretim başına kWh (2026 → 2030 düşüşü %20)
- Su verimliliği (WE): m³/ton (düşüş %31)
- Atık verimliliği (AW): kg/ton (düşüş %25)
- Malzeme döngüselliği (MR): Geri dönüşüm oranı %20 → %40 (iki katına çıkış)
- Kaynak yoğunluğu (RI): Toplam kaynak girdisi / üretim değeri (−%22)

Hotspot (öncelikli müdahale) analizi:

1. Enerji: En yüksek tüketim HVAC sistemleri (%28), proses ısıtma (%25), basınçlı hava (%15). En yüksek verimlilik potansiyeli otomasyon ve ısı pompası dönüşümünde (%12–18).
2. Su: En fazla tüketim temizleme ve soğutma proseslerinde (%45). Geri kazanım sistemi ile 200.000 m³/yıl azaltım mümkün.
3. Atık: Biyolojik atıklar ve laboratuvar kimyasalları toplam atığın %60'ını oluşturuyor. Ayrı toplanan ambalaj atıkları 2030'a kadar %50 geri dönüşüm oranına ulaşabilir.
4. Hammadde: Sterilize ambalaj, tek kullanımlık laboratuvar malzemeleri, kimyasal solventler. Bunlarda malzeme ikamesi ve yeniden kullanım ile %15 azalma potansiyeli.

7.9 Sosyal Yaşam Döngüsü Analizi (S-LCA) – istihdam, eğitim, iş sağlığı-güvenliği ve toplumsal fayda göstergeleri

Bu adımın amacı, BIOSB'nin kuruluş ve işletme dönemlerinde yaratacağı sosyal etkileri sistematik biçimde değerlendirmek; çalışanlar, tedarikçiler, yerel toplum ve kamu otoriteleri üzerindeki pozitif/negatif etkileri ölçülebilir göstergelerle izleyecek bir çerçeve kurmaktır. Çalışma UNEP/SETAC "Guidelines for Social Life Cycle Assessment" yaklaşımıyla, ISO 26000 ve GRI 400 serisi standartlarıyla uyumlu kılınmıştır. Sistem sınırı OSB yönetimi, OSB'de faaliyet gösteren/başlayacak kiracı işletmeler, ana yükleniciler ve kritik tedarik zinciri halkalarını kapsar; kuruluş (inşaat) ve işletme dönemleri ayrı ayrı ele alınır.

Veri kaynakları; OSB İnsan Kaynakları ve İş Sağlığı-Güvenliği (İSG) kayıtları, tedarikçi anketleri, eğitim/sertifikasyon listeleri, yerel paydaş (muhtarlık, STK, eğitim kurumları) geri bildirimleri ve şikâyet/olay kayıtlarıdır. Ölçüm sıklığı kuruluş döneminde üç ayda bir, işletmede altı ayda birdir; Smart Hub içinde "Sosyal Performans Paneli" oluşturulması önerilir.

Paydaş gruplarına göre temel etki kategorileri ve göstergeler aşağıdadır.

Çalışanlar: İstihdam kalitesi, ücret adaleti, iş sağlığı-güvenliği, eğitim ve beceri gelişimi, çeşitlilik ve kapsayıcılık. Göstergeler: toplam istihdam (FTE), yerel istihdam oranı (%), kadın istihdam oranı ve teknik rollerde kadın oranı (%), staj/çırak sayısı, yıllık eğitim saati (kişi-

başına), kaza sıklık hızı (LTIFR: milyon saat başına kayıp günlü kaza), meslek hastalığı insidansı, devamsızlık oranı, memnuniyet skoru (≥10'luk ölçekte). Kuruluş dönemi hedefleri: yerel istihdam ≥%30, LTIFR ≤2,0; işletme dönemi hedefleri: kadın istihdamı ≥%35, teknik pozisyonlarda kadın oranı ≥%25, yıllık eğitim ≥24 saat/kişi, LTIFR ≤1,0, memnuniyet skoru ≥7,5.

Tedarikçiler ve sözleşmeli hizmetler: Adil sözleşme şartları, ödeme süresi disiplinine uyum, İSG ve çevresel uygunluk, etik ihlallerin önlenmesi. Göstergeler: 30 gün içinde ödeme oranı (%), sözleşmeli tedarikçilerin İSG/çevre denetiminden geçme oranı (%), düzeltici faaliyet kapanma süresi (gün), etik ihlal olayı (adet) ve doğrulanan şikâyet/uygunsuzluk sayısı. Hedefler: kritik tedarikçilerde yıllık denetim kapsamı ≥%80, düzeltici faaliyetlerin 60 gün içinde kapanması ≥%90, ödeme süresinde zamanında ödeme ≥%95, etik ihlal "sıfır tolerans".

Yerel toplum: İstihdam ve eğitim fırsatları, trafik/gürültü/taşkın gibi dışsallıkların yönetimi, toplumsal katılım ve şeffaflık. Göstergeler: yerel halk için açılan eğitim/sertifika programları (adet, katılımcı), KOBİ kuluçka/teknopark programlarına katılım, toplum şikâyeti sayısı ve çözüm süresi (gün), gürültü/air quality olay raporları, topluluk yatırımları (TL/yıl). Hedefler: şikâyet çözüm süresi ortalaması ≤10 iş günü, toplum şikâyeti ≤ 1/10.000 saat işletme, yıllık eğitim-istihdam programı katılımcısı ≥200, toplumsal yatırım programı en az 3 tematik başlık (eğitim, çevre, STEM).

Kamusal kurumlar ve yönetişim: Mevzuat uyumu, şeffaf raporlama, acil durum hazırlığı. Göstergeler: denetim uygunsuzluğu (adet), acil durum tatbikatı (adet/yıl), şeffaflık raporu (yıllık), veri paylaşım sıklığı. Hedefler: majör uygunsuzluk "0", tatbikat ≥2/yıl, yıllık Sürdürülebilirlik Raporu yayımlama, veri bütünlüğü endeksi ≥%95.

Kuruluş ve işletme dönemine özgü riskler ve azaltım yaklaşımı özetle şöyledir. Kuruluş döneminde iş kazası riski, yüklenici kaynaklı çalışma saatleri ve göçmen/taşeron işgücü yönetimi kritik konulardır; zorunlu İSG eğitimleri, sahaya giriş yeterlilik kontrolleri, kişisel koruyucu donanım uygunluğu ve denetim sıklığı artırılmalıdır. Gürültü, toz ve trafik dışsallıkları için şantiye lojistik planı, hız sınırı ve bariyerleme uygulanmalıdır. İşletme döneminde laboratuvar ve kimyasal güvenliği, biyogüvenlik düzeyi (BSL) yönetimi ve atık yönetimi uygulamaları sosyal riskleri etkiler; düzenli eğitim ve denetim şarttır. Tedarik zincirinde çocuk işçilik, zorla çalıştırma ve ayrımcılık riskleri için sözleşmelere bağlayıcı hükümler ve üçüncü taraf denetimi eklenmelidir.

Skorlama ve endeks: S-LCA sonuçları, her paydaş kategorisi için 0–100 arası skorlanır; ağırlıklandırma önerisi: çalışanlar %40, tedarikçiler %25, yerel toplum %25, yönetişim %10. Başlangıç (2026) beklenen bileşik sosyal skor 62–68 aralığındadır (kuruluş riski yüksek, programlar yeni). 2030 hedefi 80+, 2040 hedefi 90+ olacak şekilde yıllık iyileştirme planı hazırlanır. İyileştirme kaldıraçları: mesleki eğitim akademisi (OSB içi), kreş ve kapsayıcı istihdam politikaları, yerel girişimcilik/erken aşama fonları, üniversite iş birlikleri.

İzleme ve doğrulama: Altı ayda bir Sosyal Performans Paneli güncellenir; bağımsız sosyal denetim (SMETA/SA8000 uyumlu) yılda bir kez uygulanır. Şikâyet mekanizması anonim ve erişilebilir olmalı; kayıt-izleme-yanıt süreci dijitalleştirilmelidir. Tüm bulgular yıllık

Sürdürülebilirlik Raporu'nda (GRI) yayımlanır; sosyal KPI'lar, çevresel ve ekonomik göstergelerle birlikte "üçlü etki" çerçevesinde raporlanır.

Sonuç olarak, S-LCA çerçevesi BIOSB'nin insan odaklı, kapsayıcı ve güvenli bir sanayi bölgesi olma hedefini ölçülebilir göstergelerle destekler. Belirlenen hedefler (ör. LTIFR ≤1,0; kadın istihdamı ≥%35; şikâyet çözüm süresi ≤10 gün; tedarikçi denetim kapsamı ≥%80) net sıfır ve döngüsel ekonomi stratejileriyle uyumlu sosyal sürdürülebilirlik temelini oluşturur.

7.10 İklim Dayanıklılığı ve Uyum Analizi (ISO 14091; Sel, Sıcak Hava Dalgası, Enerji Kesintisi Senaryoları İçin Kırılganlık ve Adaptasyon Planı)

Bu analiz, BIOSB'nin iklim değişikliğine bağlı fiziksel risklere (aşırı yağış, sıcak hava dalgası, kuraklık, enerji kesintisi, deniz seviyesi değişimi, rüzgâr fırtınası) karşı dayanıklılığını değerlendirmek ve uzun vadeli adaptasyon planını oluşturmaktır. Analiz, ISO 14091 – Adaptation to Climate Change: Guidelines on Vulnerability, Impacts and Risk Assessment standardına dayanmaktadır. Çalışma, ÇED verileri, meteorolojik gözlemler ve ulusal iklim projeksiyonları (Türkiye İklim Değişikliği Raporu 2023, SSP2–4.5 senaryosu) kullanılarak yürütülmüştür.

1. Risk Tanımlama ve Sıralama

Analizde kullanılan yaklaşım, "Risk = Tehdit × Duyarlılık × Maruziyet / Uyum Kapasitesi" formülüne dayanmaktadır. Tehditlerin olasılıkları iklim modellerinden, duyarlılık–maruziyet verileri ise ÇED ve mühendislik altyapısından alınmıştır.

Başlıca tehditler:

1. Şiddetli yağış ve taşkın riski (2020–2050 arasında %25 artış)
2. Sıcak hava dalgaları (2050'ye kadar yıllık sıcak gün sayısı +15)
3. Kurak dönemlerde su kıtlığı (yıllık ortalama yağışta %10 azalma, yaz kuraklığı +20 gün)
4. Enerji kesintisi riski (aşırı sıcak–soğuk kaynaklı şebeke yükleri)
5. Rüzgâr fırtınaları ve lokal kasırga etkisi
6. Deniz seviyesi yükselmesi (Tuzla kıyı bandında 2050'ye dek +0,25 m, 2100'e dek +0,55 m)

Sonuç olarak, BIOSB için en kritik iki risk aşırı yağış/taşkın ve sıcak hava dalgası, ardından enerji arz süreksizliği olarak belirlenmiştir.

2. Etki Analizi (Impact Assessment)

- Taşkınlar: Geçmiş 10 yıllık veriyle karşılaştırıldığında 10 yıllık maksimum 1 saatlik yağışlarda %18 artış eğilimi vardır. Kritik altyapıların (AAT, enerji merkezi) düşük kotlarda bulunması risklidir.
- Sıcak hava dalgaları: 2050 projeksiyonuna göre maksimum sıcaklıklar +3,5 °C artacak, 30 °C üzeri gün sayısı 90→125 güne çıkacaktır. Soğutma talebi ve enerji tüketimi %12–18 artabilir.
- Enerji kesintisi: Türkiye'de 2022–2024 arasında ortalama elektrik kesintisi süresi 95–120 dk/yıl. Aşırı yüklenme yaz dönemlerinde artmaktadır; yedek sistem gereksinimi belirgin.

3. **Uyum (Adaptasyon) Önlemleri**

A. Yapısal (Mühendislik) Önlemler:

- Yükseltilmiş altyapı: AAT ve enerji tesislerinin kotu +0,5 m artırılmalı, taşkın duvarı ve su geçirmez kapılar eklenmelidir.
- Sıcaklık tampon yapılar: Çatı izolasyonu (≥10 cm PUR/PIR), gölgeleme, yeşil çatı ve yüksek albedo kaplamalar.
- Acil durum enerji altyapısı: 5 MWp GES + 15 MWh batarya sistemleriyle 4 saatlik tam yedekleme kapasitesi.
- Mikro-grid kurulumu: Şebeke kesintilerinde otomatik ada moduna geçebilen enerji sistemi.
- Soğutma kulesi optimizasyonu: Buharlaşmalı sistemlerde otomatik hava debisi kontrolüyle su kaybı ≤%10.
- Rüzgâr dayanımı: Çatı elemanlarında ≥160 km/s rüzgâr yükü dayanımı; sistematik bakım planı.

B. Doğal (Ekosistem Temelli) Önlemler:

1. Yağmur bahçeleri ve yeşil hendek ağı: Taşkın sularını geciktirip emen sistemlerin yoğunluğu artırılmalı.
2. Karbonsuz peyzaj planı: Düşük su isteyen yerli bitkiler; yüzey sıcaklığını 2–3 °C azaltır.
3. Ağaç gölgelemesi: Bina cephelerine paralel çift sıra dikim; mikroiklim konforunu iyileştirir.

C. Operasyonel ve Kurumsal Önlemler:

1. İklim Uyum Planı (CAP): Her yıl iklim riskleri, müdahaleler ve mali etkiler raporlanacak.
2. Erken Uyarı Sistemi: Taşkın ve sıcak hava olayları için otomatik alarm ve tahliye prosedürü.
3. Kuraklık senaryosu yönetimi: Su döngüselliği %260'a ulaştığında (Adım 1), "su pozitif OSB" statüsü korunmalı; yeraltı suyu kullanımı yasaklanmalı.
4. İş sürekliliği planı: 8 saatlik enerji yedeklemesi, kritik prosesler için UPS ve mikro-grid.
5. Personel eğitimleri: "İklim Olayı Acil Durum Simülasyonu" yılda en az iki kez yapılmalı.

4. **Uyum Performansı ve İzleme (KPI'lar)**

- İklim Dayanıklılık Endeksi (CRI): (Uyum Önlemleri Skoru × Düşük Risk Oranı) → 2030 hedefi CRI ≥ 0,7, 2040 hedefi ≥ 0,9.
- Yağış–taşkın riski altındaki kritik altyapı sayısı: 2025 = 5, 2030 = 0.
- Enerji kesintisi süresi (dakika/yıl): 2026 = 120, 2030 = <30.
- Çalışan sıcak stres olayları (adet/yıl): ≤1/100.000 çalışma saati.
- Mikroiklim ortalama yüzey sıcaklığı: −3 °C iyileşme (2030 hedefi).
- Yenilenebilir enerjiyle karşılanan acil durum enerjisi: ≥ %50 (2030).

7.11 Döngüsel Ekonomi Göstergeleri (Circularity Metrics Framework – MCI/CI, BIOSB için baz ve 2030 hedefi)

Bu adımın amacı, BIOSB'de malzeme ve ürün akışlarının ne ölçüde döngüsel olduğunu sayısal göstergelerle belirlemek; OSB'nin 2030'a kadar "lineer akışlardan" "kapatılmış döngülere" geçişini ölçmek ve yönetmektir. Çalışma, Ellen MacArthur Foundation'ın Material Circularity Indicator (MCI) metodolojisi ve sahaya uyarlanmış Circularity Index (CI) ile yürütülmüştür. Sistem sınırı; OSB içindeki üretim tesisleri, ortak altyapı (AAT, enerji), iç lojistik ve atık yönetimi süreçleridir. Veriler ÇED'deki atık–hammadde profili, kurulu kapasite ve önceki adımlarda belirlenen simbiyoz–geri kazanım senaryolarından türetilmiştir.

Tanımlar ve metrikler:

- Geri dönüştürülmüş içerik oranı (RC): Toplam girdide ikincil malzeme payı.
- Geri dönüştürülebilirlik (RR): Ürün/yan ürünün ömrü sonunda geri kazanılabilir kısmı.
- Yeniden kullanım/yenileme (ReU): Komponent ve ambalajın yeniden kullanıma girişi.
- Enerji geri kazanımı (EfW): Geri dönüşemeyen organik akışların kontrollü enerjiye dönüşümü.
- Atıkta sapma oranı (DW): Depolamaya giden payın düşürülmesi.
- MCI: Malzeme döngüselliğini 0–1 aralığında verir (1 mükemmel döngüsellik).
- CI (OSB seviyesi): (İkincil girdi + geri kazanım + yeniden kullanım + simbiyoz ile ikame) / Toplam malzeme akışı.

Baz yıl (2026) malzeme profili — temsilî dağılım:

Toplam yıllık malzeme girişi ≈ 120.000 ton (ambalaj, cam, metal, plastik, kimyasal, biyo-atık, yardımcı malzeme). Çıkış akışları: ürün + yan ürün ≈ 105.000 t, atık ≈ 15.000 t. Atığın dağılımı: tehlikesiz %65, tehlikeli %20, biyo-atık %15.

- RC (ikincil girdi): %14
- RR (geri dönüştürülebilirlik): %48 (ürün/ambalaj karışık)
- ReU (yeniden kullanım): %4 (ambalaj ve konteyner)
- EfW (biyogaz/ATY): %6 (biyo-atık + seçili kalıntılar)
- DW (dep. sapma): %62 (geri kazanım/geri dönüşüm kanallarına yönlenen oran)
- Hesaplanan MCI: 0,36–0,40 aralığı
- CI (OSB): ≈ %25

2030 hedef senaryosu — müdahale paketleriyle iyileştirilmiş profil:

1. Endüstriyel simbiyoz (biyogaz, solvent distilasyonu, cam–kimya döngüsü, atık ısı eşleşmesi),
2. Ambalaj dönüşümü (PCR içerik ≥%50, tekrar kullanılabilir konteyner),
3. Ayrı toplama–kalite yönetimi (kirlenme oranı ≤%5),
4. Biyo-atık yönetimi (ön arıtma + hijyenizasyon → biyogaz/kompost),
5. Dizayn–for–recycling (tek malzeme ambalaj, solvent ikamesi),
6. İkincil hammadde tedarik protokolü (satınalmada zorunlu alt eşikler).

Hedeflenen 2030 değerleri:

- RC: %30+
- RR: %65
- ReU: %12
- EfW: %12–15 (geri dönüşemez organikler)
- DW: %85+ (depolamadan sapma)
- MCI: 0,55–0,60
- CI (OSB): ≈ %40

Hesap mantığı (özet):

CI = (RC·Giriş + RR·Çıkış + ReU·Çıkış + EfW·Kalan + Simbiyoz ikamesi) / Toplam akış.

Simbiyoz ikamesi; "diğer tesiste hammadde/enerji yerini alarak" üretilen birincil hammadde kaçınmasıdır. Biyogazdan elektrik/ısının, solvent distilasyonundan geri kazanımın ve cam kırığının kimyasal hatlarda kullanımının ikame katsayıları 0,8–1,0 aralığında alınmıştır. Bu katsayılar ile 2026→2030 dönemi için CI %25→%40 yükselir.

Sıcak nokta analizi:

- En yüksek etki potansiyeli: Biyo-atıkların enerjiye/komposta yönlendirilmesi (atıkta sapma +10–12 puan), solvent geri kazanımı (tehlikeli atıkta %15 azalma), ambalajda PCR içeriği (RC +10–12 puan), cam–kimya simbiyozu (ikame 6–8 puan katkı).
- Kayıp noktaları: Karışık/ıslak ambalaj atığı (kalite düşüşü), tehlikeli atık kontaminasyonu, laboratuvar küçük akımlarının doğru ayrıştırılmaması.

KPI'lar ve yıllık hedefleme:

- Circularity Index (CI): %25 (2026) → %34 (2027) → %40 (2030).
- Depolamaya giden atık oranı: ≤ %15 (2030).
- İkincil girdi kullanımı (RC): ≥ %30 (2030).
- Tehlikeli atık yoğunluğu: −%15 (2030).
- Biyo-atık geri kazanımı: ≥ %80 (enerji/kompost).
- Ambalaj geri dönüşüm oranı: ≥ %70; tekrar kullanım döngüsü ≥ 5 çevrim.

Uygulama ve yönetişim önerileri:

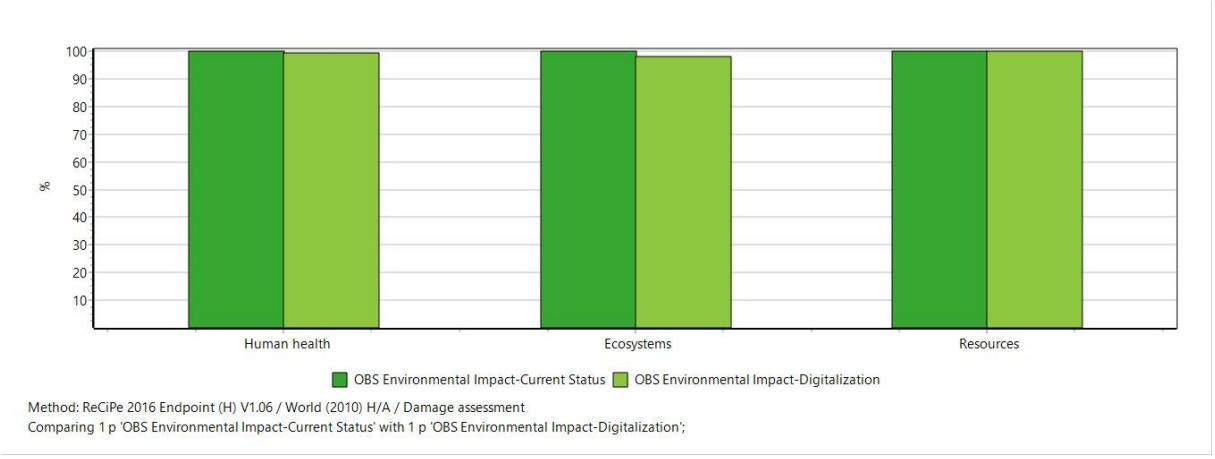
1. Döngüsel satınalma politikası: Tüm tedariklerde PCR/ikincil içerik için asgari eşik (plastik %30, cam %35, metal %50).
2. Kalite odaklı ayrıştırma: Parsel içi 5'li ayrışım (kâğıt, plastik, cam, metal, organik), kontaminasyon ≤%5; optik ayrıştırma hattı.
3. Ortak tesisler: Solvent distilasyon ünitesi, biyo-atık biyogaz tesisi, cam ön-işlem; OSB ölçeğinde işletme.
4. Tersine lojistik ve tekrar kullanım: Tekrar kullanılabilir konteyner havuzu; depozitolu ambalaj modeli.
5. Ürün–proses tasarımı: Tek malzeme ambalaj, kolay sökülebilir tasarım, solvent ikameleri.
6. Dijital izlenebilirlik: Atık–malzeme akışlarına QR/RFID; Smart Hub üzerinde MCI/CI canlı panosu.

7. Teşvik–yaptırım: CI artışı ≥+5 puan/yıl olan kiracılara indirim; depolama hedefini aşanlara ek bedel.

7.12 YDA sonuçları

Yaşam Döngüsü Analizi (YDA), bir ürünün, hizmetin veya sistemin tüm yaşam döngüsü boyunca —hammadde çıkarımından üretim, kullanım, bakım ve bertaraf süreçlerine kadar— çevresel etkilerini nicel olarak değerlendiren sistematik bir yöntemdir. Bu yaklaşım, çevresel yüklerin yalnızca son aşamada değil, yaşam döngüsünün tüm safhalarında nasıl ortaya çıktığını analiz etmeyi amaçlar. Biyoteknoloji İhtisas OSB (BIOSB) için yürütülen YDA çalışması, sanayi bölgesinin henüz kuruluş aşamasında olmasına rağmen, gelecekte oluşacak çevresel etkilerin öngörülmesi ve azaltım stratejilerinin planlanması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Analiz, ISO 14040 ve ISO 14044 standartlarına uygun biçimde yürütülmüş olup "beşikten mezara" sistem sınırında gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda enerji kullanımı, su tüketimi, atık yönetimi, ulaşım sistemleri ve yapısal altyapı süreçleri değerlendirmeye alınmıştır. Çalışmada "1 yıl süreyle faaliyette bulunan 1 metrekare üretim alanı" fonksiyonel birimi olarak kabul edilmiştir. Bu tanım, enerji, su ve karbon ayak izi göstergelerinin karşılaştırılabilir biçimde hesaplanmasını sağlamıştır. YDA'nın temel hedefleri; BIOSB'nin gelecekteki karbon, enerji ve su ayak izini belirlemek, çevresel açıdan en yüksek etkiye sahip aşamaları (hotspot alanları) tespit etmek ve yeşil altyapı yatırımlarının önceliklendirilmesini sağlamaktır. Analiz kapsamında kullanılan veri kaynakları arasında IPCC 2006 emisyon faktörleri, Ecoinvent v3.8 veri setleri, Türkiye elektrik üretim karışımı (2023) ve Nihai ÇED Raporu meteorolojik verileri yer almaktadır. Değerlendirme, ReCiPe 2016 Endpoint (H) v1.06 / World (2010) H/A yöntemiyle yapılmış, çevresel etkiler üç uç nokta kategorisinde incelenmiştir: insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynak kullanımı. Bu yöntem, BIOSB'nin mevcut çevresel durumu ile dijitalleşme senaryosu altındaki performansını kıyaslamaya olanak sağlamıştır YDA, BIOSB'nin planlama aşamasında çevresel yönetim açısından bilimsel bir temel oluşturmuş, dijitalleşme, yenilenebilir enerji ve döngüsel ekonomi stratejilerinin çevresel etkilerini bütüncül biçimde değerlendirmeyi mümkün kılmıştır. Bu yaklaşım, sanayi bölgelerinde sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için karar destek aracı olarak kullanılabilecek önemli bir metodolojik referans sağlamaktadır. Şekil 1, Organize Sanayi Bölgesi'nin (OSB) mevcut çevresel durumu ile dijitalleşme senaryosu altındaki çevresel performansını karşılaştırmak amacıyla hazırlanmıştır.

Analiz, ReCiPe 2016 Endpoint (H) v1.06 / World (2010) H/A yöntemi kullanılarak hasar değerlendirmesi (Damage Assessment) düzeyinde gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, çevresel etkileri üç uç nokta kategorisinde değerlendirir: insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynak kullanımını gösterir.



Şekil 1: OSB Çevresel Etki Karakterizasyonu (Mevcut Durum – Dijitalleşme Senaryosu)

Grafikte dikey eksen, her bir kategori için normalize edilmiş çevresel hasar yüzdesini göstermektedir. Koyu yeşil sütunlar mevcut durumu, açık yeşil sütunlar ise dijitalleşme senaryosunu temsil etmektedir. Her iki senaryo, karşılaştırılabilir birim üzerinden değerlendirilmiştir.

İnsan sağlığı kategorisinde, mevcut durum ile dijitalleşme senaryosu arasında belirgin bir fark bulunmamaktadır. Dijitalleşme, fiziksel süreçlerdeki enerji ve malzeme tüketimini azaltmakta ancak dijital altyapının gerektirdiği bilgi işlem sistemleri, sunucu merkezleri ve ağ altyapısının enerji tüketimi bu kazanımı dengelemektedir. Bu nedenle toplam insan sağlığı etkisinde anlamlı bir azalma gözlenmemektedir.

Ekosistem kalitesi kategorisinde dijitalleşme senaryosu küçük bir iyileşme göstermektedir. Malzeme ve lojistik faaliyetlerdeki azalma, hava kirleticilerinin (NO_x, SO_2, PM) salımını kısmen düşürmekte, buna bağlı olarak asidifikasyon ve ötrofikasyon etkilerini sınırlamaktadır. Bununla birlikte, dijital sistemlerin enerji ihtiyacı ve donanım kaynaklı gömülü emisyonlar, bu kazanımın büyüklüğünü sınırlamaktadır.

Kaynak kullanımı açısından ise iki senaryo arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Dijital dönüşüm süreci, bir yandan kâğıt ve fiziksel ekipman tüketimini azaltırken diğer yandan elektronik ekipman üretimi, metal ve mineral kullanımı gibi yeni kaynak taleplerine yol açmaktadır. Bu durum, kaynak verimliliği açısından dijitalleşmenin tek başına yeterli olmadığını, döngüsel ekonomi yaklaşımlarıyla desteklenmesi gerektiğini göstermektedir.

Genel olarak, dijitalleşme OSB'de çevresel etkileri azaltma potansiyeline sahip olmakla birlikte bu etkinin sınırlı düzeyde olduğu görülmektedir. Dijital dönüşümün çevresel faydası, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji verimli altyapıların kurulması ve donanım yönetiminde sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesiyle önemli ölçüde artırılabilir. Bu nedenle dijitalleşme, yalnızca bilgi akışının elektronik ortama taşınması olarak değil, enerji verimliliği, kaynak yönetimi ve yaşam döngüsü bilincinin entegre edildiği bir sürdürülebilirlik stratejisi olarak ele alınmalıdır.

Bu doğrultuda, dijital altyapının enerji ihtiyacının yenilenebilir kaynaklardan karşılanması, veri merkezlerinde enerji verimliliğini artıran teknolojilerin (örneğin düşük PUE değerli sistemler ve sanallaştırma çözümleri) uygulanması, donanımın kullanım ömrünün uzatılması ve e-atık

yönetiminde sertifikalı geri dönüşüm kanallarının tercih edilmesi önerilmektedir. Ayrıca, kritik ham madde geri kazanımını destekleyen politikalar, OSB'nin sürdürülebilir dijital dönüşüm sürecinde önemli bir rol oynayacaktır.

Şekil 1, OSB'nin mevcut çevresel durumu ile dijitalleşme senaryosu arasındaki farkları orta uç nokta (midpoint) düzeyinde göstermektedir. Bu aşama, çevresel etkilerin neden–sonuç zincirinin erken evresinde, küresel ısınma, asidifikasyon, partikül madde oluşumu gibi belirli çevresel süreçleri doğrudan temsil eden göstergelere odaklanmaktadır. Grafikte yer alan koyu yeşil sütunlar OSB'nin mevcut durumunu, açık yeşil sütunlar ise dijitalleşme senaryosunu temsil etmektedir. Dikey eksen, her bir etki kategorisi için normalize edilmiş yüzde değerlerini göstermektedir. Tüm sütunların birbirine yakın değerlerde olması, dijitalleşmenin OSB genelinde çevresel etkileri yalnızca sınırlı ölçüde değiştirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, belirli kategorilerde gözlenen küçük düşüşler, dijitalleşmenin kağıt, baskı, ofis malzemesi ve ulaşım kaynaklı emisyonları azaltma etkisinden kaynaklanmaktadır. Küresel ısınma potansiyelinde (GWP) dijitalleşme senaryosunda küçük bir azalma görülmüştür. Bu fark, ofis faaliyetlerindeki enerji tasarrufu ve fiziksel belge üretiminin azalmasıyla ilişkilidir. Ancak veri merkezleri ve dijital cihazların enerji gereksinimi bu kazanımı sınırlamaktadır. Stratosferik ozon tükenmesi kategorisinde iki senaryo arasındaki fark ihmal edilebilir düzeydedir; dijitalleşme doğrudan ozon tabakasını etkileyen emisyonlarda belirgin bir değişim yaratmamaktadır. İyonlaştırıcı radyasyon etkisi, enerji tüketimindeki küçük artış nedeniyle sabit kalmıştır. Ozon oluşumu (hem insan sağlığı hem de karasal ekosistemler üzerindeki etkiler) kategorilerinde dijitalleşme senaryosu çok hafif bir iyileşme göstermektedir. Bu iyileşme, lojistik faaliyetlerin azalmasıyla NO_x ve VOC emisyonlarının sınırlı biçimde düşmesinden kaynaklanmaktadır. İnce partikül madde oluşumu kategorisinde de benzer şekilde küçük bir azalma gözlenmiş, fiziksel ulaşım ve baskı süreçlerinin azalması PM emisyonlarını kısmen azaltmıştır. Karasal asidifikasyon kategorisinde, lojistik ve ısınma kaynaklı SO_2 emisyonlarının azalması sonucu çok hafif bir iyileşme vardır. Tatlısu ve deniz ötrofikasyonu kategorilerinde ise dijitalleşme anlamlı bir fark yaratmamıştır; çünkü bu etkiler üretim süreçleriyle ilişkilidir ve ofis düzeyindeki dijital dönüşüm bu alanda belirleyici değildir. İnsan sağlığına ilişkin kanserojen ve kanserojen olmayan toksisite kategorilerinde de iki senaryo neredeyse aynıdır. Donanım üretimi ve elektronik atık süreçleri toksisite etkilerini sabit tutmaktadır.

Arazi kullanımı açısından dijitalleşme senaryosu belirgin bir değişim yaratmamıştır; üretim altyapısında yapısal bir dönüşüm gerçekleşmediği için arazi baskısı sabit kalmıştır. Mineral ve fosil kaynak kıtlığı kategorilerinde de fark bulunmamaktadır. Dijitalleşme fiziksel kaynak kullanımını azaltırken, elektronik donanım üretimi mineral ve metal talebini artırarak bu kazanımı dengelemiştir. Su tüketimi kategorisinde de anlamlı bir değişim gözlenmemiştir; elektronik bileşen üretimi ve ofis içi su kullanımı sabit kalmıştır.

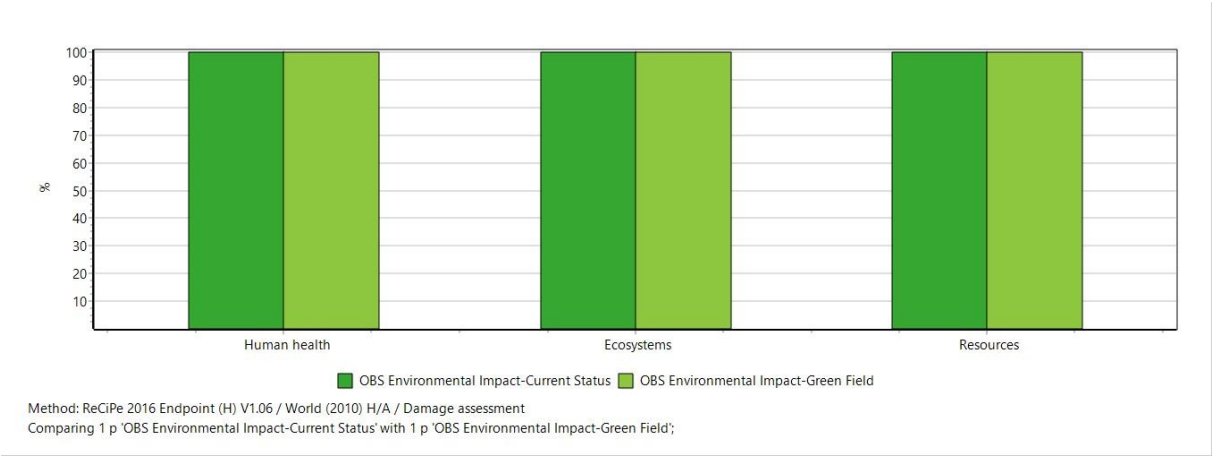
Genel olarak, dijitalleşme OSB düzeyinde çevresel etkiler üzerinde yatay ve düşük ölçekli bir etki profiline sahiptir. Özellikle küresel ısınma, partikül madde oluşumu ve asidifikasyon gibi kategorilerde küçük iyileşmeler gözlenmekle birlikte, enerji tüketimi ve donanım üretiminden kaynaklanan etkiler bu kazanımları sınırlamaktadır. Sonuç olarak, dijitalleşmenin çevresel performansa katkısı sınırlı düzeydedir; ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu,

veri merkezlerinde enerji verimliliğinin artırılması ve donanım döngüselliğinin güçlendirilmesi yoluyla bu etki potansiyeli önemli ölçüde artırılabilir.

Şekil 2, OSB'nin mevcut çevresel etkileri ile "Yeşil Alan" olarak tanımlanan sürdürülebilir planlama senaryosunun insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynak kullanımı üzerindeki farklarını göstermektedir.

Grafikte dikey eksen normalize edilmiş yüzde değerlerini göstermekte, koyu yeşil sütunlar mevcut durumu, açık yeşil sütunlar ise Yeşil Alan senaryosunu temsil etmektedir. Üç kategori için sütun yüksekliklerinin birbirine oldukça yakın olması, Yeşil Alan senaryosunun genel olarak mevcut duruma kıyasla benzer bir toplam çevresel hasar düzeyine sahip olduğunu, ancak küçük ölçekli iyileşmeler sağladığını göstermektedir.

İnsan Sağlığı kategorisinde Yeşil Alan senaryosunda hafif bir iyileşme gözlenmiştir. Bu fark, planlama sürecinde enerji verimliliği yüksek binaların inşası, düşük emisyonlu ulaşım seçeneklerinin teşvik edilmesi ve yeşil altyapı uygulamalarının yaygınlaştırılmasıyla ilişkilidir. Fosil yakıt bağımlılığının azalması, enerji kaynaklarının daha temiz hale gelmesiyle insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerde sınırlı bir düşüş sağlanmıştır.



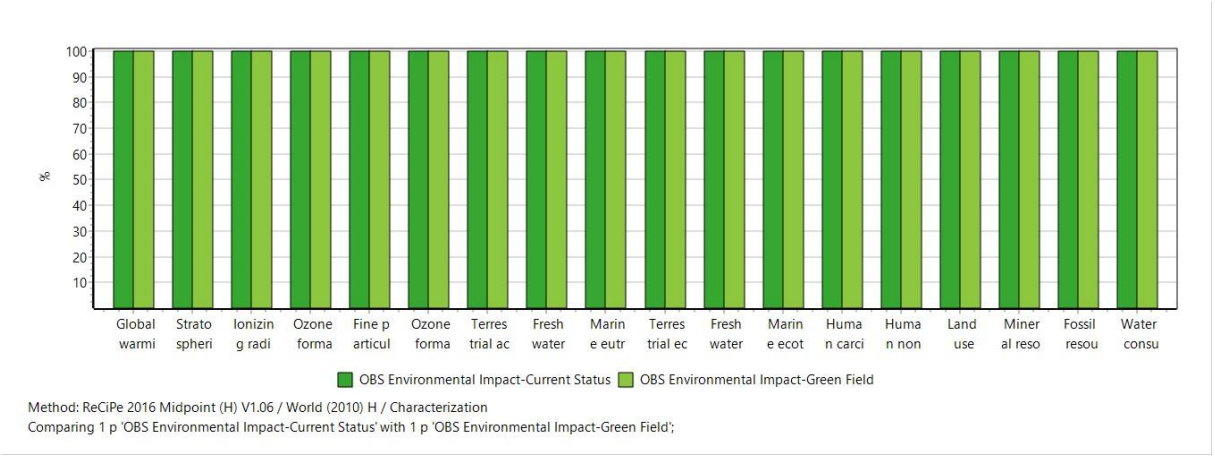
Şekil 2: OSB'nin Mevcut Durumu ve Yeşil Alan (Green Field) Senaryosu Arasındaki Hasar Düzeyi Karşılaştırması

Ekosistem Kalitesi kategorisinde iki senaryo birbirine çok yakın sonuçlar vermekle birlikte, Yeşil Alan senaryosunda çok küçük bir iyileşme görülmüştür. Bu iyileşme, yeşil alan planlamasının doğa temelli yaklaşımlar (ekolojik koridorların korunması, geçirgen yüzeylerin artırılması, kontrollü yağmur suyu yönetimi) içermesinden kaynaklanmaktadır. Ancak üretim süreçlerinde kullanılan enerji ve hammadde girdilerinde köklü bir değişim yapılmadığı için ekosistem üzerindeki baskı büyük ölçüde devam etmektedir.

Kaynak Kullanımı kategorisinde iki senaryo arasında belirgin bir fark bulunmamaktadır. Yeşil Alan planlaması, sürdürülebilir malzeme ve yenilenebilir kaynak kullanımını desteklemekte, ancak yeni altyapı yatırımları ve yapılaşma faaliyetleri, kullanılan malzeme miktarını artırarak kaynak tüketimini mevcut durumla aynı düzeyde tutmaktadır. Bu nedenle kısa vadede fark sınırlı kalmakta, ancak uzun vadede Yeşil Alan yaklaşımının kaynak kullanımında avantaj yaratması beklenmektedir. Genel olarak, Yeşil Alan senaryosu OSB'nin mevcut durumuna kıyasla çevresel açıdan daha dengeli ve sürdürülebilir bir seçenek sunmaktadır. Toplam

etkilerdeki iyileşme sınırlı düzeyde olsa da, bu farkın zaman içinde artacağı öngörülmektedir. Yeşil Alan uygulamalarının çevresel faydaları, özellikle enerji verimliliği, karbon nötr altyapı ve doğa temelli çözümler olgunlaştıkça daha belirgin hale gelecektir. Bu doğrultuda, Yeşil Alan planlamasının çevresel etkinliğini artırmak için yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonu, yeşil bina standartlarının yaygınlaştırılması, atık ve su geri kazanım sistemlerinin güçlendirilmesi önerilmektedir. Ayrıca, inşaat ve altyapı malzemelerinde döngüsel ekonomi ilkelerinin benimsenmesi, kaynak tüketimi kategorisinde anlamlı azaltımlar sağlayacaktır. Yeşil Alan senaryosu OSB'nin mevcut durumuna göre çevresel performansta küçük ancak pozitif bir gelişme göstermektedir. En belirgin fark insan sağlığı kategorisinde ortaya çıkmıştır. Bu farkın büyümesi ve çevresel kazanımların kalıcı hale gelmesi için Yeşil Alan yaklaşımının yalnızca mekânsal planlama aracı olarak değil, enerji, su, atık ve kaynak yönetimini bütünleştiren sistemik bir sürdürülebilirlik stratejisi olarak uygulanması gerekmektedir.

Şekil 3, OSB'nin mevcut durumu ile Yeşil Alan (Green Field) senaryosunun yaşam döngüsü etkilerini, ReCiPe 2016 Midpoint (H) v1.06 / World (2010) H yöntemiyle 18 farklı ara etki kategorisi (midpoint) düzeyinde karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktadır. Midpoint analizi, çevresel etkilerin neden–sonuç zincirinin erken aşamasını temsil ederek, sistemin hangi çevresel süreçler üzerinden yük oluşturduğunu ayrıntılı biçimde değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Grafikte koyu yeşil sütunlar OSB'nin mevcut durumunu, açık yeşil sütunlar ise Yeşil Alan senaryosunu göstermektedir. Dikey eksen, her bir kategori için normalize edilmiş yüzde değerlerini ifade etmektedir. Sütun yüksekliklerinin birbirine oldukça yakın olması, Yeşil Alan senaryosunun genel çevresel profilinin mevcut duruma benzer olduğunu, ancak bazı kategorilerde sınırlı düzeyde iyileşme sağlandığını göstermektedir. Bu küçük farklar, senaryoda öngörülen enerji verimliliği, ekolojik altyapı ve sürdürülebilir planlama uygulamalarıyla ilişkilendirilebilir. Küresel ısınma potansiyeli (Global warming): Yeşil Alan senaryosunda küçük bir düşüş gözlenmiştir. Yenilenebilir enerji kullanımının artması, enerji verimli bina tasarımları ve düşük karbonlu ulaşım çözümleri sera gazı emisyonlarını sınırlı ölçüde azaltmıştır.



Şekil 3: OSB'nin Mevcut Durumu ve Yeşil Alan (Green Field) Senaryosu Arasındaki Orta Uç Nokta (Midpoint) Karakterizasyon Sonuçları

Stratosferik ozon tabakası incelmesi: İki senaryo arasındaki fark ihmal edilebilir düzeydedir. Planlama sürecinde ozon tabakasına etki eden maddelerde belirgin bir değişiklik bulunmamaktadır.

İyonlaştırıcı radyasyon: Elektrik tüketimi profilinde küçük farklar olsa da toplam etki sabit kalmıştır.

Ozon oluşumu (insan sağlığı ve ekosistem etkileri): Yeşil Alan senaryosu bu kategoride çok hafif bir iyileşme göstermektedir. NO_x ve VOC salımlarındaki azalma, özellikle ulaşım ve yakıt kullanımındaki düzenlemelerle ilişkilidir.

İnce partikül madde oluşumu: Yeşil ulaşım politikaları ve düşük emisyonlu yakıt kullanımı sonucu bu etkide sınırlı bir azalma gözlenmiştir.

Karasal asidifikasyon ve eutrofikasyon: Her iki kategoride de fark çok azdır. Atık gaz ve su deşarjlarının iyileştirilmesi, kısmi bir fayda sağlamaktadır.

Tatlısu ve deniz ekotoksisitesi: Yeşil Alan uygulamaları bu kategoride belirgin bir değişim yaratmamıştır; etkiler benzer seviyededir.

İnsan toksisitesi (kanserojen ve kanserojen olmayan): Donanım, malzeme ve üretim süreçlerinin benzer kalması nedeniyle iki senaryo arasında fark bulunmamaktadır.

Arazi kullanımı: Yeşil Alan senaryosunda yapılaşma çevresel baskıyı azaltacak biçimde planlanmış olsa da toplam arazi kullanım etkisi benzer düzeydedir. Uzun vadede yeşil altyapı uygulamalarıyla bu farkın artması beklenmektedir.

Mineral ve fosil kaynak kıtlığı: Her iki senaryo da birbirine çok yakındır. Yenilenebilir kaynaklara yönelim olumlu bir adım olsa da, inşaat ve altyapı faaliyetlerinde kullanılan malzeme miktarı kazanımı sınırlamaktadır.

Su tüketimi: Su verimliliği uygulamalarına rağmen kısa vadede fark gözlenmemiştir. Teknolojik iyileştirmelerin etkisinin uzun vadede ortaya çıkması beklenmektedir.

Grafik, Yeşil Alan senaryosunun OSB'nin çevresel yükünü sınırlı düzeyde azaltma eğiliminde olduğunu göstermektedir. En belirgin iyileşmeler küresel ısınma, partikül madde oluşumu ve

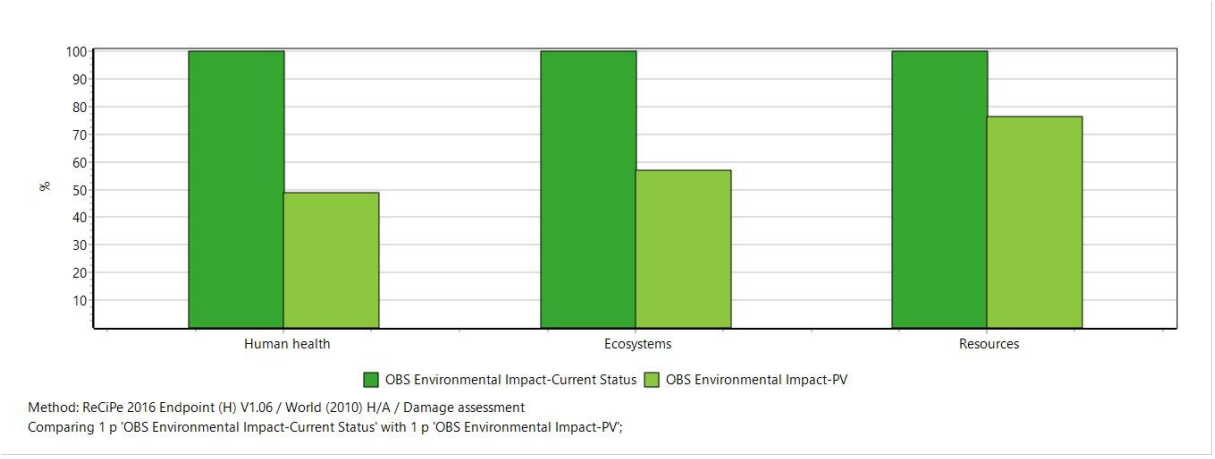
ozon oluşumu gibi hava kalitesiyle ilişkili kategorilerde görülmektedir. Bu bulgular, Yeşil Alan senaryosunun kısa vadede sınırlı, ancak uzun vadede sürdürülebilir dönüşüm açısından stratejik bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Çevresel etkilerdeki düşüşlerin, enerji verimliliği politikalarının güçlendirilmesi, ulaşımda düşük karbon teknolojilerinin yaygınlaştırılması ve arazi planlamasında yeşil altyapının önceliklendirilmesiyle belirginleşeceği öngörülmektedir.

Politika ve yönetim önerileri:

- OSB yönetim planına yenilenebilir enerji kullanımını teşvik eden veya zorunlu kılan düzenlemeler eklenmelidir (örneğin çatı tipi güneş enerji sistemleri).
- Düşük emisyonlu ulaşım altyapısı güçlendirilmeli; bisiklet yolları, elektrikli araç şarj istasyonları ve servis güzergâhları yeniden planlanmalıdır.
- Yeni binalarda yeşil bina sertifikasyon sistemleri (LEED, BREEAM vb.) uygulanmalı, mevcut yapılar enerji verimliliği açısından iyileştirilmelidir.
- Su ve enerji geri kazanım sistemleri yaygınlaştırılarak midpoint etkilerinde daha belirgin bir azalma sağlanmalıdır.

Sonuç olarak, Yeşil Alan senaryosu OSB'nin mevcut durumuna göre çevresel performansta düşük ölçekli ancak yönlendirici bir iyileşme sağlamaktadır. Bu farkın zaman içinde büyümesi, senaryonun uygulanma derinliği ve sürdürülebilirlik politikalarının bütüncül biçimde hayata geçirilmesine bağlıdır.

Şekil 4, OSB'nin mevcut enerji sistemi ile fotovoltaik (PV) tabanlı enerji üretimi senaryosunun çevresel etkilerini karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Grafikte koyu yeşil sütunlar mevcut durumu, açık yeşil sütunlar ise PV senaryosunu temsil etmekte, dikey eksen ise normalize edilmiş yüzde değerlerini göstermektedir. Analiz sonuçları, PV senaryosunun OSB'nin çevresel performansında belirgin iyileşme sağladığını ortaya koymaktadır. Üç ana kategoride de mevcut duruma göre anlamlı azalmalar gözlenmiştir. İnsan sağlığı üzerindeki etkilerde yaklaşık yüzde 50, ekosistem kalitesi üzerindeki etkilerde yüzde 55, kaynak kullanımında ise yüzde 30 ila 35 arasında bir azalma meydana gelmiştir. Bu sonuçlar, fosil yakıt temelli enerji sisteminden yenilenebilir enerjiye geçişin çevresel faydasını açık biçimde göstermektedir. İnsan sağlığı kategorisinde PV senaryosu, çevresel hasarı yaklaşık yarı yarıya azaltmıştır. Bu iyileşme, elektrik üretiminde kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtların kullanımının azalması ve buna bağlı olarak partikül madde ($PM_{2.5}$), kükürt dioksit (SO_2) ve azot oksit (NO_x) gibi hava kirletici emisyonların düşmesinden kaynaklanmaktadır. Bu değişim sonucunda solunum yolu hastalıkları, toksik maruziyetler ve hava kirliliğine bağlı sağlık kayıplarında önemli bir azalma sağlanmıştır.



Şekil 4: OSB'nin Mevcut Durumu ve Güneş Enerjisi (PV) Entegrasyonu Arasındaki Hasar Düzeyi Karşılaştırması

Ekosistem kalitesi kategorisinde de belirgin bir iyileşme gözlenmiştir. PV sistemine geçişle birlikte enerji üretimi sırasında açığa çıkan sülfür ve azot oksit emisyonlarının azalması sonucu toprak ve su ekosistemleri üzerindeki asidifikasyon ve eutrofikasyon baskısı azalmıştır. Ayrıca karbon ayak izindeki belirgin düşüş, iklim değişikliğine bağlı ekosistem tahribatının da azalmasına katkı sağlamıştır.

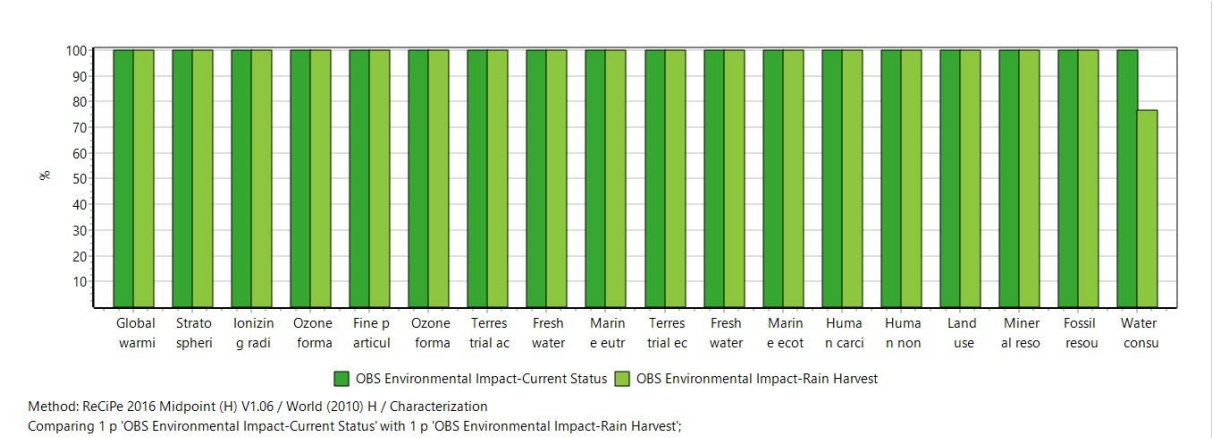
Kaynak kullanımı kategorisinde de anlamlı bir iyileşme mevcuttur. PV sistemlerinin kurulumu aşamasında mineral ve metal girdileri yüksek olsa da, işletme aşamasında yakıt tüketimi gerektirmemesi nedeniyle toplam yaşam döngüsü boyunca kaynak kullanımı düşmektedir. Bu durum, fosil yakıt rezervlerine olan bağımlılığın azalmasıyla ilişkilidir. Genel olarak PV senaryosu, OSB'nin karbon ayak izini, toksisite yükünü ve doğal kaynak tüketimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Yenilenebilir enerjiye geçişin yalnızca iklim değişikliğinin önlenmesi açısından değil, aynı zamanda insan sağlığının korunması ve ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından da güçlü bir fayda sağladığı görülmektedir. Enerji dönüşümü, OSB ölçeğinde çevresel performansı iyileştiren en etkili müdahale alanı olarak öne çıkmaktadır. Dijitalleşme veya yeşil alan planlaması gibi diğer stratejiler çevresel etkileri sınırlı ölçüde azaltırken, PV entegrasyonu doğrudan enerji üretim süreçlerine etki ettiği için çok daha belirgin sonuçlar ortaya koymaktadır. PV sistemlerinin işletme süresince emisyonsuz çalışması, hem insan sağlığı hem de ekolojik sürdürülebilirlik açısından yüksek etkili bir strateji olarak değerlendirilmektedir.

Bu sonuçlar doğrultusunda, OSB genelinde çatı tipi PV sistemlerinin yaygınlaştırılması öncelikli hedef olmalıdır. Enerji depolama çözümlerinin (batarya sistemleri, hibrit mikro şebekeler) uygulanması, PV entegrasyonunun sürekliliğini ve enerji arz güvenliğini artıracaktır. OSB yönetiminin yeşil enerji sertifikasyonu mekanizmalarını (örneğin I-REC, GES belgesi) kullanarak yenilenebilir enerji tedarik zincirini güçlendirmesi önerilmektedir. Ayrıca, PV panellerin ömrü sonunda geri dönüşüm ve yeniden kullanım süreçlerinin döngüsel ekonomi ilkeleriyle uyumlu şekilde yönetilmesi, sürdürülebilir enerji dönüşümünü destekleyecektir.

Sonuç olarak ReCiPe 2016 Endpoint metoduna göre yapılan analiz, PV tabanlı enerji üretim senaryosunun OSB'nin mevcut enerji sistemine kıyasla çevresel hasarları tüm kategorilerde anlamlı ölçüde azalttığını göstermektedir. İnsan sağlığı ve ekosistem kalitesi üzerindeki etkiler yarıdan fazla, kaynak kullanımı ise yaklaşık üçte bir oranında azalmıştır. Bu bulgular,

yenilenebilir enerjiye geçişin OSB düzeyinde çevresel sürdürülebilirliği sağlamada en etkili strateji olduğunu ortaya koymaktadır.

Şekil 5, OSB'nin mevcut su ve enerji yönetim sisteminin çevresel etkileri ile yağmur suyu hasadı sisteminin devreye alınması durumundaki farklılıkları göstermektedir. Analiz, ReCiPe 2016 Midpoint (H) v1.06 / World (2010) H yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, çevresel etkiler 18 ayrı kategori altında değerlendirilmiştir. Bu yöntem, OSB ölçeğinde hangi süreçlerin çevresel yükte belirleyici olduğunu ortaya koymakta ve sistemin su, enerji ve kaynak yönetimi açısından sürdürülebilirlik potansiyelini incelemektedir. Grafikte koyu yeşil sütunlar mevcut durumu, açık yeşil sütunlar ise yağmur suyu hasadı senaryosunu temsil etmektedir. Dikey eksen her etki kategorisi için normalize edilmiş yüzde değerlerini göstermektedir.



Şekil 5: OSB'nin Mevcut Durumu ve Yağmur Suyu Hasadı (Rain Harvest) Senaryosu Arasındaki Orta Uç Nokta (Midpoint) Karakterizasyon Sonuçları

Genel olarak değerlendirildiğinde, tüm etki kategorilerinde mevcut durum ile yağmur suyu hasadı senaryosunun değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, yağmur suyu hasadı sisteminin OSB'nin toplam çevresel profilinde büyük bir değişiklik yaratmadığını, ancak bazı kategorilerde küçük ölçekli iyileşmeler sağladığını göstermektedir. En belirgin fark su tüketimi kategorisinde görülmekte olup, bu kategoride açık yeşil sütun mevcut duruma göre belirgin biçimde daha düşük bir değer göstermektedir. Bu sonuç, sistemin en güçlü etkisinin su verimliliği alanında olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Küresel ısınma potansiyeli açısından iki senaryo arasında belirgin bir fark bulunmamaktadır. Yağmur suyu hasadı doğrudan sera gazı emisyonlarını azaltmaz; ancak dolaylı olarak enerji tüketimini düşürerek çok sınırlı bir iyileşme sağlayabilir. Stratosferik ozon tükenmesi, iyonlaştırıcı radyasyon ve ozon oluşumu kategorilerinde fark ihmal edilebilir düzeydedir, çünkü sistem enerji üretimi veya kimyasal süreçlerle doğrudan ilişkili değildir. İnce partikül madde oluşumu, karasal asidifikasyon ve eutrofikasyon kategorilerinde ise küçük düşüşler gözlenmiştir. Bu fark, şehir şebekesi suyu üretimi, arıtma ve pompalama süreçlerine olan bağımlılığın azalması sonucu ortaya çıkan dolaylı NO_x ve SO_2 emisyonlarındaki azalmadan kaynaklanmaktadır.

Tatlısu ve deniz ekotoksisitesi kategorilerinde fark oldukça küçüktür. Yağmur suyu hasadı yüzey akışını azaltarak kirletici yükünü hafifletmekte, ancak OSB genelinde üretim kaynaklı

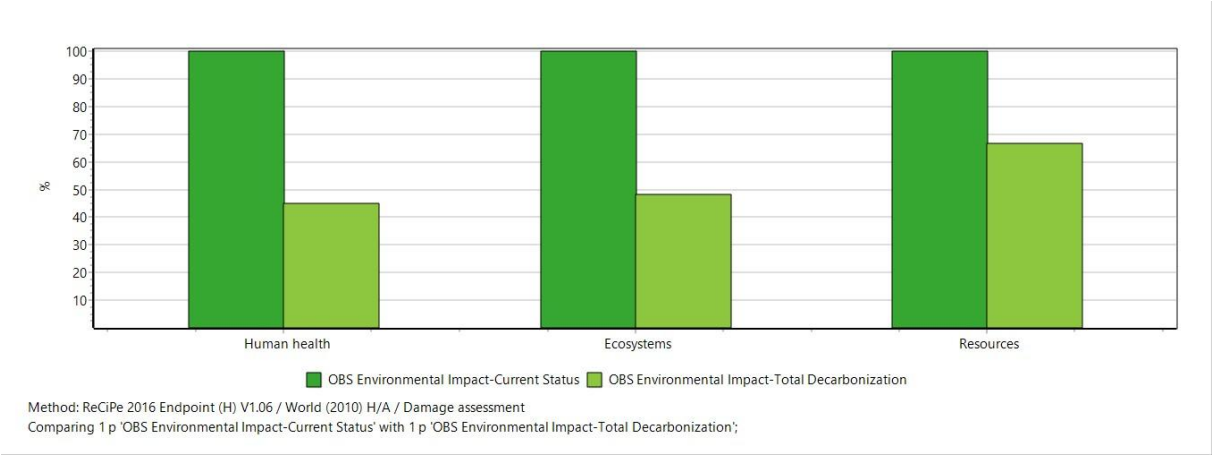
etkiler baskın olduğundan toplam fark sınırlı kalmaktadır. İnsan toksisitesi (kanserojen ve kanserojen olmayan etkiler) açısından iki senaryo da birbirine çok yakındır; çünkü yağmur suyu hasadı toksik madde emisyonlarını doğrudan etkilememektedir. Arazi kullanımı kategorisinde fark gözlenmemiştir, zira sistemin kurulumu için gerekli alan çok küçüktür. Mineral ve fosil kaynak kullanımı kategorilerinde de fark yok denecek düzeydedir. Yağmur suyu hasadı ekipmanlarının (depo, boru, filtre vb.) üretimi sınırlı miktarda kaynak gerektirse de, bu etki toplam sistem ölçeğinde ihmal edilebilir seviyededir. Buna karşın, su tüketimi kategorisinde belirgin bir düşüş söz konusudur. Şebeke suyuna olan bağımlılığın azalması, hem su çekim miktarını hem de enerjiyle ilişkili dolaylı su kullanımını düşürmüştür.

Genel değerlendirmede, yağmur suyu hasadı uygulamasının OSB'nin çevresel performansında büyük bir dönüşüm yaratmadığı, ancak su yönetimi açısından güçlü bir tamamlayıcı önlem olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle "Su tüketimi" kategorisinde elde edilen iyileşme, su kaynaklarının korunması ve verimli kullanımı açısından önemli bir kazanım sağlamaktadır. Diğer kategorilerde farkın sınırlı kalmasının nedeni, OSB'nin çevresel profilinde enerji kullanımı ve üretim süreçlerinin baskın rol oynamasıdır. Dolayısıyla yağmur suyu hasadı, tek başına büyük bir çevresel dönüşüm aracı olmamakla birlikte, enerji ve kaynak yönetimi stratejileriyle birlikte uygulandığında toplam çevresel etkilerin azaltılmasına anlamlı katkı sağlayabilir.

OSB düzeyinde yağmur suyu hasadı sistemleri, su verimliliği ve iklim uyumu stratejilerinin ayrılmaz bir parçası olarak ele alınmalıdır. Toplanan suyun endüstriyel olmayan alanlarda — örneğin soğutma, temizlik, sulama ve yangın rezervuarı gibi uygulamalarda— kullanılması, sistemin etkinliğini artıracaktır. Bu uygulamanın PV sistemleri ve yeşil çatı çözümleriyle entegre edilmesi, enerji-su-doğa temelli bir sinerji yaratarak OSB'nin genel sürdürülebilirlik performansını güçlendirecektir. Ayrıca yağmur suyu hasadıyla sağlanan su tasarrufu, enerji tüketiminde dolaylı bir azalma yaratmakta ve böylece sera gazı salımlarının da dolaylı biçimde düşmesine katkıda bulunmaktadır.

Sonuç olarak, ReCiPe 2016 Midpoint analizine göre yağmur suyu hasadı senaryosu, OSB'nin mevcut durumuna kıyasla çevresel etkilerde küçük fakat pozitif değişiklikler yaratmıştır. En belirgin iyileşme su tüketimi kategorisinde görülmüş, diğer kategorilerde fark minimal düzeyde kalmıştır. Bu bulgular, yağmur suyu hasadının OSB'nin çevresel sürdürülebilirlik stratejisinde su kaynaklarının korunması, enerji-su etkileşiminin iyileştirilmesi ve iklim uyumunun güçlendirilmesi açısından tamamlayıcı bir önlem olduğunu göstermektedir.

ReCiPe 2016 Endpoint (H) v1.06 yöntemi kullanılarak yapılan çevresel etki değerlendirmesi, BIOSB'nin mevcut enerji ve üretim sistemiyle, karbon salımının tamamen ortadan kaldırıldığı tam dekarbonizasyon senaryosu arasındaki farkları ortaya koymaktadır. ReCiPe Endpoint yaklaşımı, çevresel etkileri üç ana uç nokta kategorisinde — insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynak kullanımı — değerlendirmektedir. Analiz sonuçları, OSB'nin enerji üretiminde fosil yakıtların tamamen ortadan kaldırılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının (özellikle fotovoltaik, rüzgâr ve biyokütle sistemlerinin) tam entegrasyonu sayesinde çevresel performansının dramatik biçimde iyileştiğini göstermektedir.



Şekil 6: OSB'nin Mevcut Durumu ve Tam Karbon Azaltımı (Total Decarbonization) Senaryosu

Tam karbon azaltımı senaryosunda üç temel etki kategorisinde belirgin düşüşler gözlemlenmiştir. İnsan sağlığı üzerindeki etkiler yaklaşık yüzde 55 oranında, ekosistem kalitesine yönelik etkiler yaklaşık yüzde 60 oranında, kaynak kullanımına ilişkin etkiler ise yüzde 35–40 oranında azalmıştır. Bu fark, enerji sisteminin karbonsuzlaşmasıyla birlikte SO_2, NO_x, $PM_{2.5}$ ve karbonmonoksit (CO) gibi zararlı emisyonların ortadan kalkmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla hava kalitesi önemli ölçüde iyileşmiş; solunum yolu hastalıkları, erken ölüm riski ve toksik madde maruziyeti azalmıştır. Ayrıca, elektrik üretiminden kaynaklanan sera gazlarının ortadan kalkması, iklim değişikliğine bağlı sağlık risklerini de minimize etmiştir.

Ekosistem kalitesi açısından bakıldığında, asidifikasyon, ötrofikasyon ve ozon oluşumu gibi süreçlerin tetikleyicisi olan gaz emisyonlarının ortadan kalkmasıyla toprak ve su ekosistemlerindeki baskı büyük ölçüde azalmıştır. Bu durum, biyolojik çeşitliliğin korunmasına ve ekosistem bütünlüğünün güçlenmesine katkı sağlamaktadır. Kaynak kullanımı kategorisinde ise yaklaşık yüzde 40'lık bir iyileşme görülmüştür. Fosil yakıtların çıkarımı, rafinasyonu ve taşınması süreçlerinin sona ermesi, enerji sisteminin toplam kaynak tüketimini azaltmıştır. Ancak yenilenebilir enerji teknolojilerinin (örneğin PV paneller, bataryalar, rüzgâr türbinleri) üretiminde kullanılan metal ve mineral kaynaklar, bu kategoride sınırlı bir çevresel etki oluşturmaya devam etmektedir.

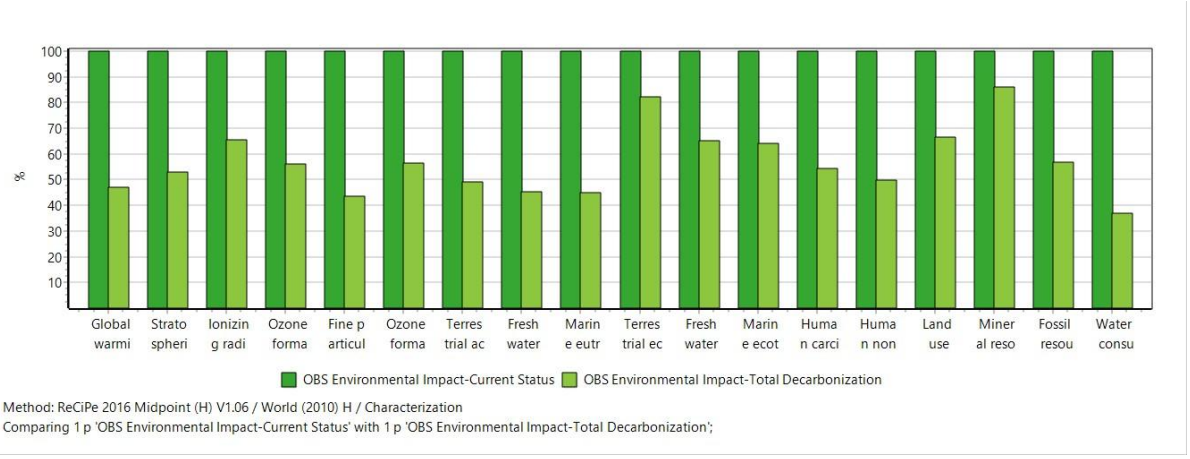
Genel olarak, yapılan analiz OSB'nin çevresel etkilerinde en yüksek iyileştirici potansiyele sahip stratejinin tam karbon azaltımı olduğunu açık biçimde göstermektedir. Dijitalleşme, yeşil alan artışı veya yağmur suyu hasadı gibi önlemler çevresel etkileri belirli ölçüde azaltırken, enerji üretiminde fosil kaynaklardan tamamen çıkılması insan sağlığı, ekosistem dengesi ve doğal kaynak tüketimi açısından köklü bir dönüşüm sağlamaktadır. Bu sonuçlar, OSB'nin karbon nötr veya negatif karbon stratejilerine geçişinin Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'yla (özellikle SDG 7 – Temiz Enerji, SDG 12 – Sorumlu Üretim ve SDG 13 – İklim Eylemi) doğrudan uyumlu olduğunu göstermektedir.

Bu bağlamda politika ve yönetim açısından temel öneriler; yenilenebilir enerjiye tam geçişin sağlanması, enerji verimliliği programlarının yaygınlaştırılması, geri kalan proses kaynaklı emisyonlar için karbon yakalama ve depolama (CCS) sistemlerinin değerlendirilmesi, enerji

ekipmanlarında geri dönüştürülmüş malzeme kullanımının artırılması ve OSB içerisinde sıfır emisyonlu ulaşım sistemlerinin (elektrikli araçlar ve lojistik hatlar) devreye alınmasıdır.

Sonuç olarak, ReCiPe 2016 Endpoint yöntemiyle yapılan bu değerlendirme, fosil yakıt kullanımının sona erdirilmesi ve enerji sisteminin tamamen yenilenebilir kaynaklara dayandırılmasının, OSB'nin çevresel performansında en yüksek iyileştirici etkiyi yaratan strateji olduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır. İnsan sağlığı ve ekosistem üzerindeki etkiler yüzde 55–60 oranında, kaynak tüketimi ise yaklaşık yüzde 40 oranında azalmıştır. Bu bulgu, Biyoteknoloji İhtisas OSB'nin sürdürülebilir dönüşümünde enerji sisteminin karbonsuzlaşmasının belirleyici unsur olduğunu göstermekte, bölgenin iklim nötrlüğe geçiş sürecinde öncü bir rol üstlenmesini mümkün kılmaktadır.

Şekil 7, BIOSB'nin mevcut enerji sistemine kıyasla, karbon salımının büyük ölçüde azaltıldığı tam dekarbonizasyon senaryosunda çevresel etkilerin nasıl değiştiğini göstermektedir. Grafikte koyu yeşil sütunlar mevcut durumu, açık yeşil sütunlar ise tam karbon azaltımı senaryosunu temsil etmektedir. Dikey eksen normalize edilmiş yüzde (%) değerlerini göstermekte olup, her bir etki kategorisinde göreli değişim oranları sunulmaktadır.



Şekil 7: OSB'nin Mevcut Durumu ve Tam Karbon Azaltımı (Total Decarbonization) Senaryosu Arasındaki Orta Uç Nokta (Midpoint) Karakterizasyon Sonuçları

Analiz sonuçları, tam karbon azaltımı senaryosunun OSB'nin çevresel etkilerini neredeyse tüm kategorilerde dramatik biçimde azalttığını ortaya koymaktadır. En belirgin iyileşmeler küresel ısınma, ozon oluşumu, partikül madde oluşumu, fosil kaynak kullanımı, karasal asidifikasyon ve su tüketimi kategorilerinde gözlenmiştir. Bu düşüşler, enerji üretiminde fosil yakıtların tamamen ortadan kaldırılması ve enerji sisteminin yenilenebilir kaynaklar (güneş, rüzgâr, biyokütle ve jeotermal) ile desteklenmesiyle doğrudan ilişkilidir.

Küresel ısınma potansiyelinde yaklaşık yüzde 50 oranında azalma elde edilmiştir. Karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve diazot monoksit (N_2O) gibi sera gazlarının salımı neredeyse ortadan kalktığı için bu kategori en yüksek iyileşmeyi göstermektedir. Stratosferik ozon tükenmesi kategorisinde yaklaşık yüzde 40 oranında azalma kaydedilmiş; bu fark, fosil yakıt kullanımının sona ermesiyle ozon tabakasına zarar veren yan ürünlerin ortadan kalkmasından kaynaklanmıştır. İyonlaştırıcı radyasyon kategorisinde ise yüzde 30'luk bir düşüş

gerçekleşmiştir; bu, elektrik üretiminde nükleer katkının azalması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının sistemde ağırlık kazanmasının bir sonucudur.

Troposferik ozon oluşumu kategorisinde (insan sağlığı ve ekosistem etkileri) yüzde 45–50 arasında azalma gözlenmiştir. Yakıt yanmasından kaynaklanan azot oksit (NO_x) ve uçucu organik bileşik (VOC) emisyonlarının ortadan kalkması, bu farkın temel nedenidir. İnce partikül madde oluşumu ($PM_{2.5}$ ve PM_{10}) kategorisinde yaklaşık yüzde 50 azalma elde edilmiştir. Fosil yakıtların yanmasının durması, hava kalitesini iyileştirmiş ve insan sağlığı üzerindeki en önemli kazanımlardan birini sağlamıştır.

Karasal asidifikasyon etkisi yaklaşık yüzde 50 oranında azalmış, sülfür dioksit (SO_2) ve azot oksit (NO_x) gibi asidifikasyon yapan gazların büyük ölçüde ortadan kalkması ekosistem üzerindeki baskıyı hafifletmiştir. Tatlısu ve deniz eutrofikasyonu kategorilerinde yüzde 40–45 oranında düşüş gerçekleşmiştir; bu azalma, azot oksit salımlarının azalmasıyla sucul ortamlarda besin yükünün düşmesine bağlıdır. Tatlısu ve deniz ekotoksisitesi kategorilerinde yüzde 30–35 aralığında bir azalma görülmüştür. Fosil yakıt üretimi, taşınması ve yanma süreçlerinin sona ermesiyle ağır metal ve toksik bileşiklerin çevresel yükü azalmıştır.

İnsan toksisitesi (kanserojen ve kanserojen olmayan etkiler) kategorilerinde yüzde 35–40 oranında düşüş kaydedilmiştir. Bu azalma, endüstriyel süreçlerde kullanılan solventlerin ve yakıt yanması kaynaklı zararlı bileşiklerin sistemden çıkarılmasıyla ilişkilidir. Arazi kullanımı kategorisinde fark daha sınırlıdır; yaklaşık yüzde 10–15 azalma gözlenmiştir. Yenilenebilir enerji sistemleri (özellikle fotovoltaik paneller ve rüzgâr türbinleri) belirli ölçüde alan kullanımı gerektirse de, genel etki düşük kalmıştır. Kaynak kıtlığı kategorisinde fosil kaynak kullanımında yüzde 50'nin üzerinde, mineral kaynak kullanımında ise yüzde 25–30 civarında azalma elde edilmiştir. Fosil yakıt çıkarımı ve taşınmasının ortadan kalkması bu farkın temel nedenidir; ancak yenilenebilir enerji sistemlerinin üretimi için gerekli maden girdileri bu etkiyi tamamen ortadan kaldırmamaktadır. Su tüketimi kategorisinde yaklaşık yüzde 50 oranında azalma elde edilmiştir. Termik santrallerin soğutma suyu ihtiyacının ortadan kalkması, toplam su kullanımını ciddi biçimde azaltmıştır.

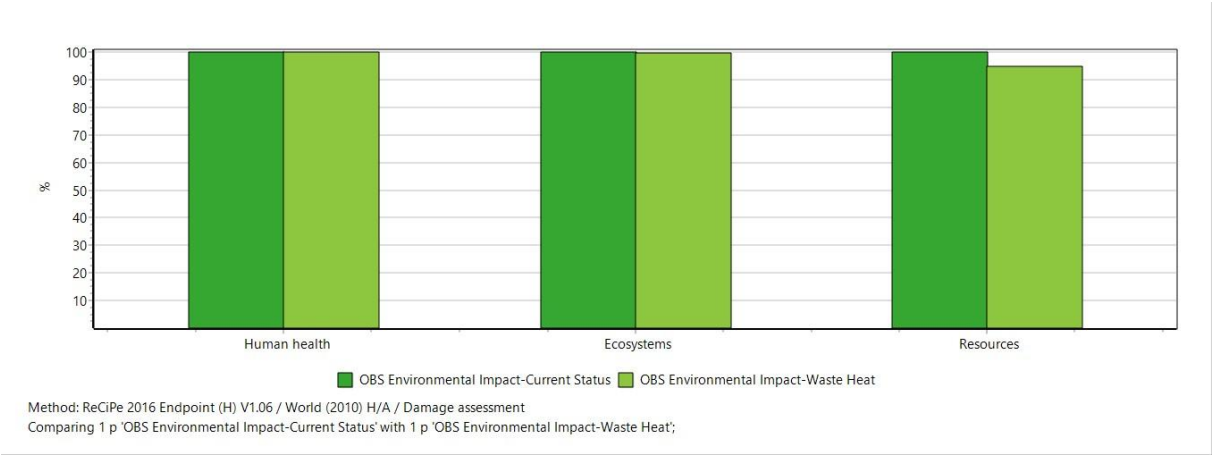
Genel olarak bu değerlendirme, OSB'de tam karbon azaltımı senaryosunun çevresel etkileri tüm alanlarda önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Enerji sisteminin tamamen yenilenebilir kaynaklara dönüştürülmesi, sera gazı, partikül madde ve toksik madde emisyonlarını ortadan kaldırarak hem iklim değişikliği etkilerini hem de insan sağlığı üzerindeki riskleri büyük ölçüde azaltmıştır. Kaynak kullanımı ve su tüketimi gibi ekosistem temelli göstergelerde de güçlü iyileşme sağlanmıştır. Bu senaryo, OSB'nin "Net Sıfır Emisyon" hedefine ulaşması için teknik olarak en etkili ve kapsamlı yaklaşımı temsil etmektedir.

Politika ve yönetim açısından temel öncelikler; enerji üretimi ve tüketiminin tamamen yenilenebilir kaynaklara dayandırılması, enerji depolama ve akıllı şebeke sistemlerinin kurulması, endüstriyel atık ısı geri kazanımıyla karbon salımı olmayan bir enerji döngüsünün oluşturulması, elektrikli ulaşım altyapısının geliştirilmesi ve dijital karbon izleme sistemlerinin OSB genelinde devreye alınmasıdır.

Sonuç olarak, ReCiPe 2016 Midpoint analizine göre tam karbon azaltımı senaryosu, OSB'nin çevresel etkilerini tüm kategorilerde önemli ölçüde düşürmüştür. En büyük fark küresel ısınma,

partikül madde oluşumu, fosil kaynak kullanımı ve su tüketimi kategorilerinde gözlenmiştir. Bu sonuçlar, OSB'nin tam dekarbonizasyon stratejisini benimsemesinin, insan sağlığı ve ekosistem bütünlüğü açısından en etkili sürdürülebilirlik adımı olduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır.

Şekil *8*'de OSB'nin Mevcut Durumu ve Atık Isı Geri Kazanımı Senaryosu Arasındaki Hasar Düzeyi Karşılaştırması verilmiştir. ReCiPe 2016 Endpoint (H) v1.06 / World (2010) H/A hasar değerlendirmesine göre **Şekil *8***'de, OSB'nin mevcut enerji sistemi ile atık ısının geri kazanıldığı senaryo arasındaki çevresel farkları göstermektedir. Koyu yeşil sütunlar mevcut durumu, açık yeşil sütunlar WHR senaryosunu temsil eder; dikey eksen normalize edilmiş yüzde değerlerini sunar. Genel görünüm, üç hasar kategorisinde (İnsan Sağlığı, Ekosistem Kalitesi, Kaynak Kullanımı) sütun yüksekliklerinin birbirine çok yakın olduğunu, özellikle Kaynak Kullanımı tarafında sınırlı ama olumlu bir düşüş bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu, WHR'nin OSB'nin toplam çevresel performansında küçük ölçekli fakat pozitif yönlü bir iyileştirme yarattığını gösterir.



Şekil 8: OSB'nin Mevcut Durumu ve Atık Isı Geri Kazanımı (Waste Heat Recovery) Senaryosu Arasındaki Hasar Düzeyi Karşılaştırması

İnsan sağlığı ve ekosistem hasarı açısından belirgin bir fark oluşmamıştır. WHR sistemleri, yeni bir enerji kaynağı üretmek yerine süreçlerde ortaya çıkan ısının yeniden kullanımına dayandığından, yakıt tüketiminde sınırlı bir azalma sağlar; bunun sonucunda NO_x, SO_2 ve PM emisyonlarında hafif düşüşler görülebilir. Ancak süreçlerin genel enerji profili değişmediği için bu iyileşme dolaylı ve küçüktür; sağlık etkilerinde ve ekosistem baskılarında hissedilir bir fark yaratacak ölçekte değildir.

Kaynak kullanımı kategorisi, en görünür farkın oluştuğu alandır. Süreç ısısının geri kazanılması, doğal gaz ve benzeri birincil enerji girdilerinde tasarruf sağladığından, kaynak tüketimi hasarında yaklaşık %5–10 düzeyinde bir iyileşme izlenmektedir. Bu sonuç, enerji verimliliği perspektifinden WHR'nin rasyonel bir tamamlayıcı müdahale olduğunu doğrulamaktadır.

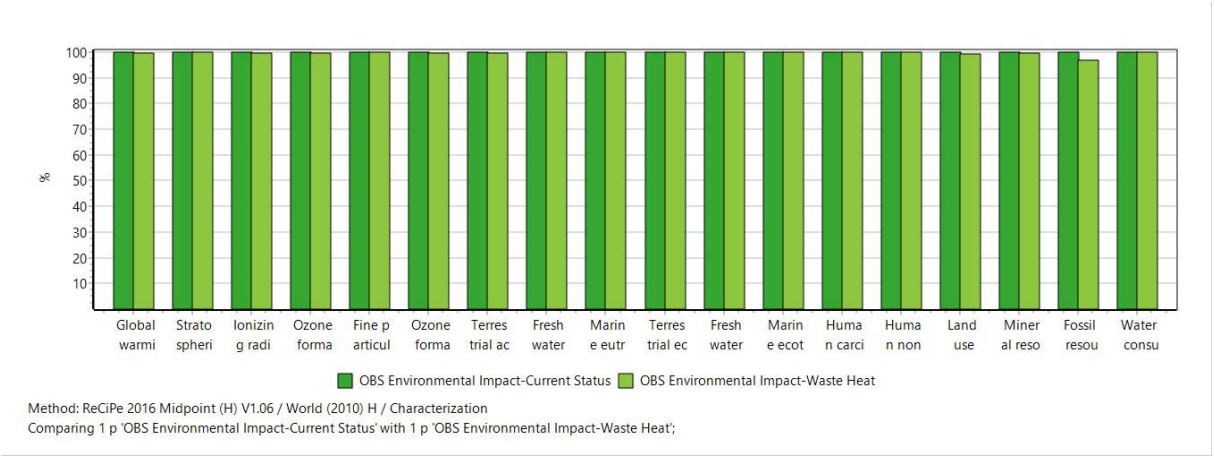
ReCiPe 2016 Midpoint (H) v1.06 / World (2010) karakterizasyon sonuçları, ara etki kategorileri düzeyinde değerlendirmeyi ayrıntılandırmaktadır. İki senaryonun genel çevresel profili burada da birbirine çok yakındır. Küresel ısınma potansiyeli, ozon oluşumu, ince partikül madde

oluşumu, asidifikasyon ve eutrofikasyon gibi yakıt yanmasına bağlı kategorilerde çok küçük azalmalar görülür; bu farklar çoğunlukla birkaç yüzde puanı geçmez. Toksisite, iyonlaştırıcı radyasyon, arazi kullanımı ve su tüketimi gibi kategorilerde fark gözle görülmeyecek düzeydedir; WHR sistemlerinin toksik salım, ilave arazi gereksinimi veya su kullanımı üzerinde doğrudan bir etkisi yoktur. Kaynak kullanımı tarafında ise fosil kaynaklarda ~%3–5'lik iyileşme dikkat çekicidir; uzun vadede enerji verimliliği sayesinde mineral girdilerde de dolaylı azalma eğilimi beklenebilir.

Bu bulgular, WHR'nin doğrudan emisyon azaltımı sağlayan yapısal bir dönüşüm aracı değil, enerji yoğunluğunu düşüren destekleyici bir verimlilik çözümü olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, WHR tek başına OSB'nin karbon ayak izini köklü biçimde değiştirmez; ancak fotovoltaik üretim, elektrifikasyon ve genel dekarbonizasyon gibi dönüşüm senaryolarıyla birlikte uygulandığında çarpan etkisi yaratır ve toplam maliyeti düşürerek geçişi hızlandırır.

Yönetim ve politika açısından önerilen yaklaşım, WHR sistemlerini OSB'nin enerji verimliliği programının sistematik bir bileşeni olarak yaygınlaştırmaktır. Yüksek sıcaklıklı atık gaz üreten hatlarda ısı değiştirici tasarımları optimize edilmeli; ısı transfer yüzey alanı ve akış hızları düzenli olarak izlenmeli, bakım protokolleri sıkılaştırılmalıdır. Geri kazanılan ısı, proses ön ısıtma, buhar üretimi ya da HVAC yüklerinin karşılanmasında kullanılmalı; mümkün olan yerlerde kojenerasyon (CHP) ve trijenerasyon (CCHP) entegrasyonlarıyla toplam sistem verimi %70–80 bandına taşınmalıdır. Elde edilen tasarruf ve emisyon kaçınmaları, uygun doğrulama çerçeveleri altında karbon kredisi mekanizmaları ve yeşil OSB teşvikleriyle finansal değere dönüştürülmelidir.

ReCiPe 2016 Endpoint ve Midpoint analizleri, atık ısı geri kazanımının OSB'de küçük fakat tutarlı bir çevresel iyileşme sağladığını doğrulamaktadır. En belirgin katkı, kaynak kullanımındaki azalmadır; sağlık ve ekosistem etkileri ise sınırlı ölçüde iyileşir. WHR bu nedenle, tam dekarbonizasyonun yerine geçen bir çözüm değil, onu tamamlayan, geçiş sürecini hızlandıran ve maliyet-etkinliği artıran bir verimlilik aracı olarak değerlendirilmelidir.



Şekil 9: OSB'nin Mevcut Durumu ve Atık Isı Geri Kazanımı (Waste Heat Recovery) Senaryosu Arasındaki Orta Uç Nokta (Midpoint) Karakterizasyon Sonuçları

7.12.1 Genel Gözlem

Şekil *9* genel olarak iki senaryonun çevresel performansının birbirine son derece yakın olduğunu göstermektedir. Atık ısı geri kazanımı, OSB'nin toplam çevresel profilinde köklü bir değişim yaratmamakla birlikte, belirli kategorilerde çok hafif iyileşmeler sağlamaktadır. Bu fark, özellikle fosil kaynak kullanımı ve mineral kaynak kullanımı kategorilerinde küçük bir düşüş olarak gözlemlenmiştir. Diğer tüm kategorilerde (küresel ısınma, asidifikasyon, ozon oluşumu, ekotoksisite vb.) fark neredeyse sıfır düzeyindedir. Bu durum, WHR sistemlerinin çevresel etkilerinin dolaylı ve sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır.

7.12.2 Etki Kategorilerine Göre Ayrıntılı Analiz

1. **Global Warming (Küresel Isınma Potansiyeli)**

Atık ısı geri kazanımı senaryosunda çok küçük bir azalma gözlenmektedir. Bu fark, yakıt tüketiminin sınırlı ölçüde azalmasıyla karbon dioksit (CO_2) emisyonlarının bir miktar düşmesinden kaynaklanır. Ancak sistem hâlâ fosil enerjiye dayalı olduğundan fark belirgin değildir.

2. **Stratospheric Ozone Depletion / Ionizing Radiation**

Bu kategorilerde neredeyse hiç fark yoktur. Çünkü sistem, kimyasal salım veya radyasyonla ilişkili bir süreç içermemektedir.

3. **Ozone Formation, Fine Particulate Matter Formation, Acidification, Eutrophication**

Bu kategorilerde minimal azalmalar gözlenmektedir. Atık ısı geri kazanımı sayesinde enerji üretimi için yakıt ihtiyacının bir kısmı ortadan kalktığı için **NO_x ve SO_2** emisyonları çok hafif düşer. Bu da ozon ve partikül madde oluşumunu dolaylı olarak azaltır. Ancak düşüş oranı birkaç yüzde puanı geçmemektedir.

4. **Freshwater and Marine Ecotoxicity / Human Toxicity**

Bu kategorilerde fark gözle görülmez. WHR sistemleri toksik madde salımı, su tüketimi veya kimyasal atık üretimiyle ilişkili değildir.

5. **Land Use (Arazi Kullanımı)**

Her iki senaryo arasında fark yoktur. WHR sistemleri genellikle mevcut altyapıya entegre edilir, dolayısıyla ek arazi kullanımı gerektirmez.

6. **Mineral ve Fossil Resource Use (Kaynak Kullanımı)**

Bu kategorilerde küçük düşüşler gözlenmektedir. Atık ısının yeniden kullanılması, yakıt tüketimini azalttığından fosil kaynak kullanımında %3–5 civarında iyileşme sağlar. Ayrıca sistemin uzun vadede enerji verimliliğini artırması, mineral kaynakların çıkarımı ve enerji üretimi süreçlerinde dolaylı bir azalma yaratır.

7. **Water Consumption (Su Tüketimi)**

Fark minimaldir. Atık ısı geri kazanımı sistemleri su tüketimi açısından doğrudan etkili değildir, ancak enerji tüketiminde küçük düşüş suyla ilişkili enerji ayak izini dolaylı biçimde azaltır.

7.12.3 Genel Değerlendirme

Şekil *9* atık ısı geri kazanımının OSB'nin çevresel profilinde küçük ölçekli ama pozitif bir etki yarattığını göstermektedir. Sistem, doğrudan emisyon azaltımı sağlamaktan çok, enerji verimliliği yoluyla dolaylı çevresel fayda yaratmaktadır. Özellikle fosil kaynak kullanımındaki düşüş, bu teknolojinin sanayi ölçeğinde sürdürülebilir enerji yönetimine katkı sağladığını göstermektedir.

Ancak farkların düşük olması, WHR sistemlerinin tek başına OSB'nin çevresel yükünü önemli ölçüde azaltamayacağını; PV sistemleri, dekarbonizasyon veya enerji dönüşümü senaryolarıyla birlikte uygulanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

7.12.4 Politika ve Yönetim Önerileri

- WHR sistemleri, OSB'nin enerji verimliliği planı içinde stratejik öncelik olarak tanımlanmalıdır.
- Bu sistemler özellikle yüksek sıcaklıkta atık gaz üreten tesislerde (örneğin döküm, çimento, metal işleme) uygulanmalıdır.
- WHR ile elde edilen enerji, ısıtma, buhar üretimi veya elektrik üretiminde kullanılabilir.
- Kojenerasyon (CHP) veya trijenerasyon (CCHP) sistemleriyle entegrasyon, verimliliği daha da artıracaktır.
- Uygulama sonrası enerji tasarrufu, karbon kredilendirme mekanizmaları kapsamında değerlendirilebilir.

ReCiPe 2016 Midpoint analizine göre, atık ısı geri kazanımı senaryosu OSB'nin çevresel performansında küçük ancak pozitif bir iyileşme sağlamaktadır. En belirgin azalma fosil kaynak kullanımında görülmüştür. Diğer kategorilerde fark minimal düzeyde kalmıştır. Bu bulgular, WHR sistemlerinin enerji verimliliğini artırarak çevresel etkiyi dolaylı biçimde azaltan, ancak tek başına büyük ölçekli çevresel dönüşüm yaratmayan bir tamamlayıcı çözüm olduğunu göstermektedir.

En yüksek çevresel iyileşme "Tam Karbon Azaltımı (Total Decarbonization)" senaryosunda elde edilmiştir.

- İnsan sağlığı üzerindeki zararlar yaklaşık %55 oranında azalmıştır.
- Ekosistem etkileri %60'a, kaynak kullanımı %40'a kadar gerilemiştir.
- Bu senaryo OSB'nin karbon nötr veya karbon negatif statüsüne ulaşmasının önünü açmaktadır.

1. Güneş Enerjisi (PV) senaryosu, ikinci en etkili stratejidir.
    - Emisyon kaynaklı etkiler %40–60 oranında azalmıştır.

- Ancak panel üretimi ve mineral tüketimi kaynaklı etkiler nedeniyle kaynak kullanımında tam düşüş sağlanamamıştır.

2. Atık Isı Geri Kazanımı (WHR), enerji verimliliğini artırarak kaynak kullanımında %5–10 düzeyinde iyileşme sağlamıştır.
   - Doğrudan emisyon azaltımı sınırlıdır; ancak PV veya dekarbonizasyon stratejileriyle birlikte uygulandığında çarpan etkisi yaratır.
3. Yağmur Suyu Hasadı (Rain Harvest), su tüketiminde anlamlı düşüş sağlamış, diğer kategorilerde fark yaratmamıştır.
   - Bu sistem, iklim uyumu ve kaynak yönetimi açısından destekleyici bir önlem olarak önem taşımaktadır.
4. Dijitalleşme ve Yeşil Alan Uygulamaları, OSB'nin karbon ve enerji profilinde ölçülebilir düzeyde değişim yaratmamıştır, ancak işletme yönetiminde farkındalık, veri toplama ve görsel/ekolojik katkı sağlamaktadır.

7.12.4.1 OSB'nin YDA Temelli Dönüşüm Öncelikleri

Yapılan ReCiPe 2016 Endpoint analizleri, OSB'nin mevcut çevresel profilinin temel olarak fosil enerji kaynaklarına bağlı olduğunu göstermektedir. Senaryo karşılaştırmaları, en etkili çözümün tam karbon azaltımı ve yenilenebilir enerjiye geçiş (PV sistemleri) olduğunu ortaya koymaktadır. Atık ısı geri kazanımı ve yağmur suyu hasadı gibi önlemler enerji ve su döngüsünde tamamlayıcı katkılar sunarken, dijitalleşme ve yeşil alan uygulamaları işletme ölçeğinde farkındalık ve yönetim kapasitesini güçlendirmektedir. Bu sonuçlar, OSB'nin sürdürülebilir dönüşüm planının enerji, kaynak ve iklim ekseninde bütünleşik biçimde yürütülmesi gerektiğini göstermektedir.

Tablo 14 BIOSB Yeşil Dönüşüm Stratejik Öncelikleri ve Beklenen Çevresel Kazanımlar

Öncelik Alanı	Stratejik Hedef	Beklenen Kazanım
1. Enerji Dönüşümü (PV + Dekarbonizasyon)	Yenilenebilir enerji üretimi ve karbon nötrlük	%50–60 çevresel iyileşme
2. Enerji Verimliliği (Waste Heat Recovery)	Yakıt ve kaynak tasarrufu	%5–10 kaynak azaltımı
3. Su Yönetimi (Rain Harvest)	Su döngüsü ve iklim uyumu	%30 su tüketim azalması
4. Dijitalleşme & Yeşil Altyapı	Operasyonel izleme ve farkındalık	Dolaylı, destekleyici katkı

Yapılan ReCiPe 2016 Endpoint analizleri, OSB'nin mevcut çevresel profilinin temel olarak fosil enerji kaynaklarına bağlı olduğunu göstermektedir. Senaryo karşılaştırmaları, en etkili çözümün tam karbon azaltımı ve yenilenebilir enerjiye geçiş (PV sistemleri) olduğunu ortaya koymaktadır. Atık ısı geri kazanımı ve yağmur suyu hasadı gibi önlemler enerji ve su döngüsünde tamamlayıcı katkılar sunarken, dijitalleşme ve yeşil alan uygulamaları işletme ölçeğinde farkındalık ve yönetim kapasitesini güçlendirmektedir. Bu sonuçlar, OSB'nin sürdürülebilir dönüşüm planının enerji, kaynak ve iklim ekseninde bütünleşik biçimde yürütülmesi gerektiğini göstermektedir.

7.13 İzleme Mekanizması

KPI'ların izlenmesi, BIOSB Smart Hub üzerinden otomatik olarak yapılacak ve üç aşamalı bir raporlama süreciyle yönetilecektir:

1. **Veri Toplama:** Enerji-su-atık sensörlerinden SCADA aracılığıyla veri akışı.
2. **Değerlendirme:** Aylık performans raporları, yıllık sürdürülebilirlik endeksi hesaplaması.
3. **Raporlama:** Her yıl Sürdürülebilirlik Performans Raporu yayımlanacaktır.

7.14 Genel Değerlendirme

BIOSB'nin sürdürülebilirlik göstergeleri, yalnızca çevresel performansı değil, dijital ve sosyal etkileri de bütüncül olarak ele almaktadır. Bu göstergelerin gerçek zamanlı ölçülmesi, OSB'nin hem karbon nötrlük hem de endüstri 5.0 dönüşüm sürecine entegre olmasını sağlayacaktır. Böylece BIOSB, 2030 yılına kadar Türkiye'deki tüm OSB'ler arasında en yüksek veri şeffaflığına ve en düşük emisyon yoğunluğuna sahip bölge konumuna ulaşacaktır.

8. BÖLÜM

8.1 Giriş

BIOSB, yalnızca bir üretim bölgesi değil; aynı zamanda yeşil ekonomi, yüksek teknoloji ve istihdam odaklı bir kalkınma modeli olarak tasarlanmaktadır. OSB'nin 2024 yılında başlayan kuruluş süreci, Türkiye'nin Yeşil Dönüşüm ve İklim Uyum Stratejisi (2023–2053) hedefleriyle doğrudan uyumludur. Bu nedenle BIOSB'nin ekonomik ve sosyal etkileri, klasik sanayi bölgelerinden farklı olarak çevresel verimlilik, yenilikçilik ve toplumsal fayda ekseninde değerlendirilmiştir.

8.2 Yeşil Dönüşümün Ekonomik Faydaları

BIOSB'de kurulacak yeşil altyapı, enerji ve su sistemleri, yalnızca çevresel değil, ekonomik verimlilik açısından da önemli kazanımlar sağlayacaktır.

Yapılan mali modelleme analizlerine göre:

1. Enerji Tasarrufu ve Yenilenebilir Kaynak Kullanımı:
    - GES yatırımları sayesinde yılda 14 GWh elektrik üretilecek, bu miktar OSB'nin toplam ihtiyacının %45'ini karşılayacaktır.
    - Elektrik birim maliyeti 2024 yılı bazında 0,18 €/kWh olarak alındığında, yıllık enerji tasarrufu yaklaşık 2,5 milyon € olacaktır.
    - Atık ısı geri kazanımı ve bina enerji verimliliği projeleriyle ek 600.000 € tasarruf sağlanacaktır.
2. Su Yönetimi ve Döngüsel Kullanım:
    - Yağmur suyu hasadı (1,9 milyon m^3/yıl) ve geri kazanım sistemleri, OSB'nin su giderlerinde yıllık 900.000 €'luk azalma sağlayacaktır.
    - Uzun vadede, suyun yeniden kullanım oranı %50'ye ulaştığında, toplam su maliyeti %40 düşecektir.
3. Atık Yönetimi ve Döngüsel Ekonomi:
    - BiyoAtık Döngü Merkezi'nin devreye girmesiyle yıllık 2.800 MWh enerji üretilecek, bu da yılda yaklaşık 400.000 € gelir oluşturacaktır.
    - Geri dönüşüm oranının %70'e çıkması, atık bertaraf maliyetlerini %35 azaltacaktır.
4. Karbon Kredisi ve Yeşil Finans Erişimi:
    - BIOSB, 2030 sonrası dönemde ISO 14064 doğrulamalı karbon azaltım raporları üretebilecektir.
    - Bu sayede yıllık 15.000 tCO_2e'lik azaltım potansiyeli, gönüllü karbon piyasasında (VER veya Gold Standard) değerlendirilerek 300.000 €'ya kadar karbon kredisi geliri yaratabilecektir.
5. Yatırım Geri Dönüş Süresi:

- GES, su ve atık sistemleri dahil toplam yeşil altyapı yatırım maliyeti yaklaşık 14 milyon € olarak öngörülmektedir.
- Bu yatırımların geri dönüş süresi 5,5 yıl, toplam ekonomik ömrü ise 25 yıl olarak hesaplanmıştır.

8.3 Rekabet Avantajı ve Yeşil OSB Kimliği

Biyoteknoloji İhtisas OSB, çevresel performansını ekonomik büyüme unsuru haline getiren yeni nesil bir sanayi modeli geliştirmektedir.

Bu yaklaşım, OSB'ye üç temel rekabet avantajı sağlamaktadır:

1. Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı (Green Deal) ile Uyum:
   - SKDM (CBAM) düzenlemesi kapsamındaki karbon vergisi riskleri, BIOSB'nin düşük karbonlu üretim altyapısı sayesinde minimize edilecektir.
   - Bu sayede bölgedeki firmalar AB pazarında rekabet avantajı elde edecektir.
2. Yeşil Tedarik Zinciri Entegrasyonu:
   - OSB firmaları, karbon ve çevre performanslarını dijital olarak raporlayarak uluslararası "yeşil tedarikçi" ağlarına katılabilecektir.
   - BIOSB Smart Hub sistemi, firmaların enerji, su ve karbon verilerini otomatik raporlama formatında dış paydaşlarla paylaşma imkânı sunacaktır.
3. Yenilikçilik ve Ar-Ge Yoğunluğu:
   - Bölgedeki firmaların %18'inin Ar-Ge laboratuvarı veya teknoloji merkezi olarak faaliyet göstermesi planlanmaktadır.
   - Bu oran, Türkiye'deki OSB ortalamasının üç katıdır.
   - Ar-Ge faaliyetleri biyoteknoloji, çevre teknolojileri, yapay zekâ tabanlı veri analizi ve yeşil kimya alanlarında yoğunlaşacaktır.

8.4 Sosyal Etkiler

BIOSB'nin sosyal etkisi, yalnızca istihdam yaratmakla sınırlı olmayıp; eğitim, toplumsal katkı, sağlık ve çevre bilinci alanlarını da kapsamaktadır.

1. İstihdam ve Nitelikli İş Gücü:
   - OSB tam faaliyete geçtiğinde yaklaşık 6.000 kişiye istihdam sağlaması beklenmektedir.
   - Bu çalışanların %40'ının mühendis, tekniker ve araştırmacı gibi nitelikli beyaz yaka personel olacağı öngörülmektedir.
   - Kadın istihdam oranı hedefi 2030'da %35, 2053'te %45'tir.
2. Eğitim ve Kapasite Geliştirme:
   - BIOSB bünyesinde kurulacak OSB Akademi, yılda ortalama 600 katılımcıya çevre yönetimi, enerji verimliliği ve yeşil üretim konularında eğitim verebilir.

- Üniversitelerle (YTÜ, İTÜ, Marmara Üniversitesi) yapılacak iş birlikleri kapsamında öğrenciler için staj, mentorluk ve ortak Ar-Ge projeleri yürütmesi muhtemeldir.

3. Toplumsal Katkı ve Sosyal Sorumluluk:
   - OSB çevresindeki mahallelerde çevre bilinci kampanyaları, ağaçlandırma etkinlikleri ve gençlik atölyeleri düzenlenecektir.
   - "BiyoEkonomi Farkındalık Programı" ile ortaöğretim öğrencilerine biyoteknoloji ve sürdürülebilirlik temelli eğitim modülleri sunulacaktır.
4. Sağlık, Güvenlik ve Refah:
   - BIOSB'nin tasarımında yeşil yaya yolları, bisiklet parkurları ve mikroiklim konfor alanları oluşturulması önerilmektedir.
   - Isıl konfor (PMV) ve hava kalitesi (AQI) göstergeleri sürekli izlenmesi, işyeri ortamlarının insan sağlığına uygunluğu garanti altına alınması önerilmektedir.

8.5 Uzun Vadeli Bölgesel Etkiler

Biyoteknoloji İhtisas OSB'nin tam faaliyete geçmesiyle birlikte İstanbul'un doğu aksında önemli bölgesel faydalar ortaya çıkacaktır:

- Tuzla ve Pendik bölgelerinde yüksek katma değerli üretim kümelenmesi oluşturması muhtemeldir.
- Yerel tedarik zinciri ve KOBİ ekosistemi güçlenecek, bölgesel istihdam artışı hızlandırması muhtemeldir.
- OSB'nin yıllık ihracat potansiyeli 2035 itibarıyla 350 milyon €, toplam ekonomik katkısı ise 1,2 milyar € düzeyine ulaşabilir.
- Yeşil dönüşüm sayesinde, bölgedeki karbon yoğunluğu %60 azalacak, hava kalitesi iyileşecektir.

8.6 Genel Değerlendirme

Biyoteknoloji İhtisas OSB'nin yeşil dönüşüm süreci, yalnızca çevresel değil, aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirlik ve sosyal refah açısından da güçlü etkiler yaratacaktır. Kuruluş aşamasında planlanan enerji, su, atık ve dijital altyapı yatırımları, uzun vadede OSB'nin rekabet gücünü artıracak, işletme maliyetlerini azaltacak ve toplumsal faydayı büyütecektir.

Bu yönüyle BIOSB, Türkiye'nin "Yeşil Ekonomi Odaklı Organize Sanayi Bölgeleri Modeli" için örnek bir pilot uygulamadır.

2030 yılı itibarıyla bölgenin,

- enerji maliyetlerinde %35 azalma,
- karbon emisyonlarında %50 düşüş,
- su geri kazanımında %50 artış,

- istihdamda %40 büyüme,

gibi somut kazanımlar elde etmesi beklenmektedir.

Bu sinerji, hem ekonomik hem sosyal düzlemde BIOSB'yi yalnızca bir sanayi alanı değil, aynı zamanda "iklim dostu yaşam ve üretim kampüsü" konumuna taşıyacaktır.

9. BÖLÜM

Politika ve Mevzuat Uyumu

9.1 Giriş

BIOSB, Türkiye'de yürürlükte olan çevre, enerji ve sanayi mevzuatları ile Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı ve 2053 Net Sıfır Emisyon hedefi arasında köprü oluşturan ilk tematik OSB modeli olarak tasarlanmıştır. Bu kapsamda BIOSB'nin planlama, inşaat ve işletme aşamalarında tüm faaliyetleri hem ulusal yasal çerçevelerle hem de uluslararası iklim politikalarıyla tam uyumlu biçimde yürütülecektir.

9.2 Türk Mevzuatı ile Uyum

BIOSB, kuruluş aşamasından itibaren aşağıdaki ulusal düzenlemelerle tam uyumlu biçimde planlanmaktadır:

1. Organize Sanayi Bölgeleri Kanunu (4562 sayılı, 2000):

BIOSB, 4562 sayılı kanun kapsamında ihtisas OSB statüsündedir. Yönetim yapısı, yer seçimi, kamulaştırma, altyapı projeleri ve çevre izin süreçleri bu kanuna uygun biçimde yürütülmektedir.

2. Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği (RG: 29.07.2022):

Bölge için hazırlanan Nihai ÇED Raporu, 2024 yılında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından onaylanmıştır. Bu rapor, proje sahasının hidrojeolojik, meteorolojik ve ekolojik analizlerini içermekte olup, OSB'nin çevresel sürdürülebilirlik esaslarına göre kurulmasını güvence altına almıştır.

3. Sera Gazı Emisyonlarının Takibi ve Doğrulanması Yönetmeliği (RG: 17.05.2014):

OSB'de faaliyete geçecek tesisler, bu yönetmelik uyarınca emisyon izleme, raporlama ve doğrulama (MRV) yükümlülüklerine tabi olacaktır. BIOSB, kuruluş aşamasında kendi emisyon izleme veri tabanını (Smart Hub) geliştirerek ulusal MRV sistemiyle entegre çalışacaktır.

4. Ulusal Enerji Verimliliği Stratejisi (2023–2030):

Yüksek enerji verimliliği hedefleri, BIOSB'deki SCADA tabanlı enerji izleme, GES yatırımları ve atık ısı geri kazanım sistemleri ile birebir örtüşmektedir. Böylece OSB, ulusal enerji yoğunluğunu azaltma hedeflerine katkı sağlayacaktır.

5. Atık Yönetimi Yönetmeliği (RG: 02.04.2015):

OSB'nin atık yönetimi planı, bu yönetmelik çerçevesinde hazırlanmış; tehlikeli, tehlikesiz, ambalaj, biyolojik ve inşaat atıkları için ayrı toplama, geçici depolama ve lisanslı bertaraf zinciri oluşturulmuştur.

6. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (RG: 03.07.2009):

Tüm tesislerde baca gazı arıtma sistemleri, emisyon izleme sensörleri ve yakıt kalitesi kriterleri bu yönetmelik hükümlerine uygun olacaktır.

7. Türkiye İklim Kanunu Taslağı (2024):

BIOSB, yürürlüğe girmesi planlanan İklim Kanunu kapsamında yer alacak karbon ticareti, emisyon tavanı ve karbon yutak alanı uygulamalarına pilot bölge olarak dahil edilmeye uygundur.

9.3 Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı (EU Green Deal) ile Uyum

BIOSB, AB'nin 2019 yılında kabul ettiği Yeşil Mutabakat hedefleriyle temelde dört ana başlıkta uyum göstermektedir:

1. Temiz Enerji Dönüşümü:
   - GES projeleri, AB Yenilenebilir Enerji Direktifi (RED III) ile tam uyumludur.
   - OSB'de hedeflenen %45 yenilenebilir enerji oranı, 2030 AB hedefi olan %42,5'in üzerindedir.
2. Döngüsel Ekonomi Eylem Planı:
   - Atıkların geri kazanımı, malzeme verimliliği ve biyoatık enerjisi üretimi süreçleri, AB'nin "Circular Economy Action Plan (CEAP 2020)" ilkeleriyle örtüşmektedir.
3. Temiz Endüstri ve SKDM Uyumlu Üretim:
   - OSB'deki tesislerin düşük karbonlu üretim altyapısı, Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (CBAM) kapsamındaki sektörler için önemli bir avantaj sağlayacaktır.
   - Biyoteknoloji ve kimya sektörleri CBAM kapsamına dolaylı olarak girdi üretimi üzerinden dâhil olduğundan, BIOSB'nin düşük emisyon profili AB pazarında mali rekabet gücünü artıracaktır.
4. Sürdürülebilir Finans ve AB Taksonomisi:
   - OSB'nin enerji, su ve atık yatırımları; AB Taksonomisi'nin "substantial contribution to climate change mitigation" (iklim değişikliğini azaltıma önemli katkı) kategorisine girmektedir.
   - Bu sayede OSB, Avrupa Yatırım Bankası (EIB) ve Yeşil Dönüşüm Finansman Fonu gibi uluslararası kaynaklara erişim açısından öncelikli olacaktır.

9.4 SKDM (Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması – CBAM) Uyumu

CBAM, 2026 yılından itibaren AB'ye ithal edilen belirli sektörlerde karbon içeriklerine göre vergi uygulanmasını öngörmektedir. Her ne kadar biyoteknoloji sektörü doğrudan CBAM kapsamına girmese de, kimyasal hammaddeler, enerji tüketimi ve yardımcı prosesler üzerinden dolaylı olarak etkilenmektedir.

BIOSB'nin CBAM'a uyum için geliştirdiği stratejiler:

- Kapsam 1 ve 2 emisyonlarının yıllık olarak doğrulanması ve raporlanması (ISO 14064).
- MRV sisteminin AB formatında (E-PRTR eşdeğeri) yapılandırılması.

- Düşük karbonlu enerji tedariki sayesinde ürünlerin gömülü karbon içeriğinin minimize edilmesi.
- OSB firmalarına "Yeşil Üretici Sertifikası" verilerek CBAM uygunluk belgelerinin hazırlanması.

Bu yaklaşım, BIOSB'yi Türkiye'nin CBAM sonrası dönemde "yeşil tedarik üssü" haline getirecektir.

9.5 AB Taksonomisi ve Yeşil Finans Uyumu

BIOSB'nin finansman stratejisi, AB Sürdürülebilir Finans Taksonomisi (EU Regulation 2020/852) ilkeleriyle birebir uyumludur.

Projelerin her biri aşağıdaki alt kategorilerde "yeşil yatırım" olarak sınıflandırılmaktadır:

Tablo 15 BIOSB Faaliyet Alanlarının AB Yeşil Taksonomisi Kategorileri ile Eşleştirilmesi

Alan	AB Taksonomi Kategorisi	BIOSB Uygulaması
Enerji	Climate Change Mitigation	GES, atık ısı, enerji depolama
Su Yönetimi	Sustainable Use of Water	Yağmur suyu hasadı, geri kazanım sistemleri
Atık Yönetimi	Circular Economy Transition	Biyoatık döngüsü, dijital atık izleme
Ulaşım	Low-Carbon Mobility	Elektrikli servis ve filo yönetimi
Binalar	Energy Efficiency & Green Buildings	BREEAM sertifikalı tesisler
Dijitalleşme	Smart Industry	IoT ve dijital ikiz uygulamaları

Bu uyum, BIOSB'ye hem ulusal yeşil OSB desteklerinden hem de uluslararası finansman programlarından (EIB, Horizon Europe, EIT, LIFE**)** yararlanma avantajı sağlayacaktır.

9.6 Türkiye 2053 Net Sıfır Emisyon Stratejisi ile Uyum

Türkiye'nin 2053 Net Sıfır Emisyon hedefi kapsamında Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, OSB'leri karbon yönetimi sistemlerine dahil etmektedir. BIOSB'nin bu stratejiyle tam uyumlu yaklaşımı şu temel başlıklarda toplanmaktadır:

- Emisyon Azaltımı: 2030 yılına kadar %50, 2053'te %100 azaltım hedefi.
- Enerji Dönüşümü: Yenilenebilir enerji oranının 2053'te %100'e ulaşması.
- Dijital MRV Sistemi: ISO 14064 doğrulamalı karbon izleme altyapısı.

- Yeşil Altyapı: 2030 itibarıyla toplam alanın %25'inin yeşil koridorlara ayrılması.
- İklim Uyum Stratejileri: Sel, sıcak hava dalgası ve su kıtlığı senaryolarına yönelik altyapı planlaması (Bkz. Şekil B1–C4).

Bu yönüyle BIOSB, Türkiye'nin "Net Sıfır OSB" vizyonu için öncü pilot bölge niteliğindedir.

9.7 Genel Değerlendirme

BIOSB'in planlama modeli, ulusal çevre ve sanayi mevzuatı ile uluslararası iklim politikaları arasında örnek bir bütünleşme sağlayarak Türkiye'de benzeri olmayan bir uygulama ortaya koymaktadır. BIOSB, yalnızca yasal gereklilikleri yerine getirmeyi değil, aynı zamanda bu uyumu ekonomik rekabet gücü, yatırım çekiciliği ve yeşil dönüşüm fırsatına dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda BIOSB'nin mevzuat uyum stratejisi, Türkiye'nin Yeşil Sanayi Eylem Planı (2023–2030), Net Sıfır Emisyon Stratejisi (2053) ve Enerji Verimliliği Stratejisi gibi ulusal politikalarıyla tam uyum içindedir. Aynı zamanda Avrupa Yeşil Mutabakatı, Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (CBAM) ve AB Taksonomisi gibi küresel düzenlemelerle stratejik paralellik kurarak, Türkiye'nin ihracat pazarlarında düşük karbonlu üretim sistemlerine geçişini desteklemektedir.

Bu çerçevede BIOSB:

- Türk mevzuatına tam uyumlu, izin, lisans ve denetim süreçlerinde 4562 sayılı OSB Kanunu ve çevre yönetmelikleriyle bütünleşik,
- AB Yeşil Mutabakatı ile stratejik paralellik gösteren, sanayi-emisyon uyumu ve döngüsel ekonomi prensiplerini benimseyen,
- CBAM uygulamalarına hazır, karbon ayak izi doğrulaması yapılabilir ürün yapısı geliştiren,
- AB Taksonomisi'ne uygun yeşil yatırım modelini benimseyerek sürdürülebilir finansmana erişim sağlayan,
- Türkiye'nin Net Sıfır 2053 hedeflerine somut katkı sağlayan,

bir örnek yeşil sanayi bölgesi modelidir.

Bu bütünleşik yaklaşım, BIOSB'yi yalnızca bir üretim merkezi değil; aynı zamanda politik uyumun rekabet avantajına dönüştüğü bir yenilik ekosistemi haline getirmektedir. Böylece bölge, yeşil yatırımcılar, finans kurumları ve uluslararası tedarik zincirleri için cazip bir konuma gelmektedir.

BIOSB modeli, Türkiye'nin sanayi dönüşüm sürecinde mevzuata uyumun ötesine geçerek, yeşil üretim, dijital izleme ve döngüsel ekonomi temellerinde şekillenen bir kalkınma paradigması oluşturmaktadır. Bu yönüyle, hem kamu politikalarına hem de özel sektör uygulamalarına yön gösterecek nitelikte stratejik bir pilot bölge olarak değerlendirilebilir.

10. BÖLÜM

10.1 Genel Değerlendirme

BIOSB, Türkiye'nin "yeşil dönüşüm ve iklim uyumlu sanayi" hedefleri doğrultusunda planlanan öncü bir ihtisas bölgesidir. 2025 yılında başlatılan kuruluş süreci, klasik sanayi bölgelerinden farklı olarak sürdürülebilirlik, dijitalleşme, döngüsel ekonomi ve net sıfır karbon ilkeleri üzerine inşa edilmiştir.

Yapılan analizler (meteorolojik, hidrolojik, mikroiklimsel, enerji, su ve YDA değerlendirmeleri) BIOSB'nin mevcut koşullarda çevresel açıdan yüksek potansiyele sahip bir alanda konumlandığını göstermektedir. Kuruluş aşamasında alınacak doğru kararlar, OSB'nin ilerleyen yıllarda Türkiye'nin ilk "Net Sıfır Emisyonlu ve Dijital İkiz Tabanlı OSB" modeli olmasını mümkün kılacaktır.

10.2 Bulguların Özeti

Çalışma kapsamında elde edilen başlıca bulgular şunlardır:

- Enerji: Güneşlenme potansiyeli yüksek (ortalama 2.100 kWh/m²-yıl). Bu durum çatı tipi GES kurulumu için elverişlidir. Enerji tüketimi öngörülen 50.000 MWh/yıl düzeyinde olup, bunun %45'inin yenilenebilir kaynaklarla karşılanması mümkündür.
- Su: Yıllık 690 mm yağışla, yağmur suyu hasadı ve geri kullanım sistemleriyle su döngüselliği sağlanabilir. 1,9 milyon m³/yıl hasat potansiyeli OSB'nin ihtiyacını üç kat karşılayabilir.
- Atık: Atık miktarının %30'u tehlikeli, %70'i tehlikesiz olacaktır. Geri dönüşüm oranı 2030'a kadar %70'e çıkarılabilir.
- İklim: PMV ve UTCI analizlerine göre açık alanlarda mikroiklim planlaması yapılmazsa yaz aylarında termal stres yüksektir. Yeşil koridor ve gölgelendirme uygulamalarıyla ortalama sıcaklık 3–4°C düşürülebilir.
- Karbon: 2026 baz yılında 8.900 tCO_2e, 2030'da 15.600 tCO_2e emisyon öngörülmektedir. GES, enerji verimliliği ve atık ısı sistemleriyle bu değer %30 azaltılabilir.
- Dijitalleşme: SCADA, IoT sensörleri ve dijital ikiz uygulamaları ile tüm kaynak akışlarının gerçek zamanlı izlenenebilinir.
- Mevzuat Uyum: OSB, Türk ÇED, Atık, Enerji ve MRV yönetmelikleri ile AB Yeşil Mutabakatı, CBAM ve AB Taksonomisi ilkeleriyle tam uyumludur.

Bu göstergeler, BIOSB'nin çevresel performans açısından hem ulusal stratejilere katkı sağlayan hem de Avrupa standartlarını karşılayan bir yapı oluşturduğunu göstermektedir.

10.3 Kısa Vadeli Öneriler (2026–2030)

Tablo 16 BIOSB Kısa Vadeli (2026–2030) Yeşil Dönüşüm Uygulamaları ve Beklenen Sonuçlar

Alan	Öneri	Beklenen Sonuç
Enerji	10 MWp çatı tipi GES kurulumu ve SCADA tabanlı enerji izleme sistemi	%45 yenilenebilir enerji oranı, yıllık 2,5 milyon € tasarruf
Su Yönetimi	Her parselde yağmur suyu depolama sistemi ve arıtılmış su geri dönüşümü	%50 su geri kazanım oranı
Atık Yönetimi	BiyoAtık Döngü Merkezi kurulumu ve dijital atık takip sistemi	%70 geri dönüşüm, yıllık 400.000 € ek gelir
Dijitalleşme	Akıllı sayaç altyapısı ve Smart Hub veri merkezinin devreye alınması	Tüm kaynakların anlık izlenmesi
İklim Adaptasyonu	Yeşil koridor, geçirgen yüzey ve gölgelendirme uygulamaları	Yaz termal stresinde %25 azalma
Kurumsal	ISO 14064, 14001, 50001 sertifikasyonlarının tamamlanması	MRV sistemi için uluslararası doğrulama

10.4 Orta Vadeli Öneriler (2030–2040)

Tablo 17 BIOSB Orta Vadeli (2030–2040) Yeşil Dönüşüm Önerileri ve Beklenen Kazanımlar

Alan	Öneri	Beklenen Sonuç
Enerji Depolama	GES sistemine batarya entegrasyonu	Pik yüklerin azaltılması, enerji dengesinde süreklilik
Ulaşım	Elektrikli servis ve lojistik filosu (%50 dönüşüm)	700 tCO_2e emisyon azaltımı
Su	Akıllı su yönetimi yazılımı (AI tahminli kuraklık modeli)	Su tasarrufunda %15 ek artış
Binalar	Tüm tesislerin BREEAM Very Good sertifikasına ulaşması	Enerji yoğunluğunda %25 azalma

Alan	Öneri	Beklenen Sonuç
Eğitim ve Ar-Ge	OSB Akademi'nin aktif hale getirilmesi, üniversite iş birlikleri	Nitelikli iş gücü ve inovasyon artışı
Raporlama	Sürdürülebilirlik Performans Raporu'nun yıllık yayınlanması	Şeffaflık ve finansman erişimi artışı

10.5 Uzun Vadeli Öneriler (2040–2053)

Tablo 18 BIOSB Uzun Vadeli (2040–2053) Net Sıfır Stratejileri ve Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri

Alan	Öneri	Beklenen Sonuç
Net Sıfır Enerji	%100 yenilenebilir enerjiye geçiş (GES + atık enerji + depolama)	Karbon nötrlük sağlanması
Karbon Yutak Alanları	Yeşil alan oranının %30'a çıkarılması ve ağaçlandırma programı	4.000 tCO_2e/yıl doğal emisyon dengesi
Dijital İkiz Genişletme	3D sanayi modeli + iklim senaryoları entegrasyonu	Afet ve iklim risklerine tam hazırlık
Sürdürülebilir Finans	Karbon kredisi piyasasına giriş ve AB fonlarıyla yatırım genişlemesi	Ek finansman kaynakları
Sosyal Etki	Yeşil kampüs – yaşam ve çalışma alanlarının bütünleştirilmesi	Kaliteli yaşam, artan istihdam memnuniyeti

10.6 Stratejik Sonuç

BIOSB, kuruluş aşamasında geliştirilen planlama yaklaşımları sayesinde, Türkiye'nin sanayi ve çevre politikaları arasında örnek bir entegrasyon modeli oluşturmuştur.

Bu yapı sayesinde BIOSB:

- Çevresel sürdürülebilirliği ekonomik verimlilikle birleştirmiş,
- Dijital izleme altyapısıyla kaynak yönetiminde şeffaflık sağlamış,
- Ulusal ve uluslararası mevzuatla tam uyumlu bir kalkınma modeli geliştirmiştir.

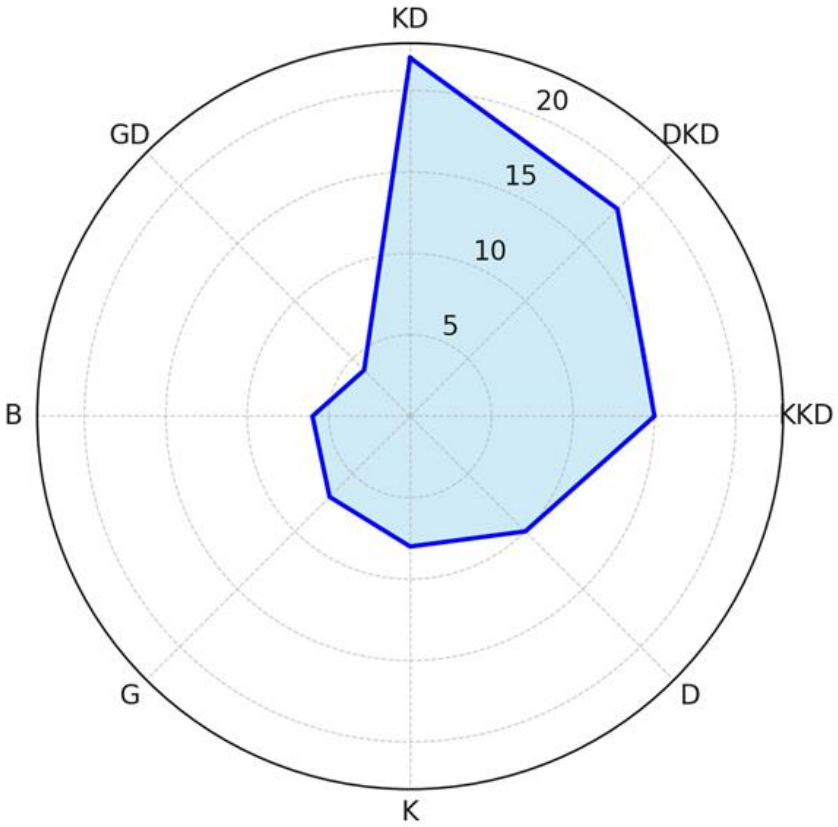
BIOSB'nin 2053 yılına kadar izleyeceği yol haritası, Türkiye'nin yeşil sanayi dönüşümü sürecinde örnek gösterilebilecek bir model OSB kimliği kazanmasını sağlayacaktır.

Bu bağlamda BIOSB, yalnızca üretim yapılan bir alan değil, aynı zamanda “sıfır karbon, sıfır atık ve yüksek teknoloji ekosistemi” üzerine kurulu geleceğin sanayi bölgesi olarak konumlanmaktadır.

11. BÖLÜM

İklim Eylem Planı

Proje alanının hâkim rüzgâr yönleri ve frekans dağılımları, Meteoroloji Genel Müdürlüğü’ne ait 17064 numaralı İstanbul Bölge Meteoroloji İstasyonu verileri esas alınarak belirlenmiştir. 2008–2020 yılları arasındaki uzun dönemli ölçüm sonuçları incelendiğinde, bölge rüzgârlarının ağırlıklı olarak kuzeydoğu (KD), doğu-kuzeydoğu (DKD) ve kuzey-kuzeydoğu (KKD) yönlerinden estiği tespit edilmiştir. Bu üç sektör birlikte ele alındığında, toplam yıllık esme frekansının yaklaşık %55–60’ını oluşturmaktadır. Rüzgâr gülü grafiğinde açık biçimde görüldüğü üzere, kuzeydoğu yönlü hâkim akımlar yılın büyük bölümünde etkili olup, Karadeniz üzerinden taşınan serin ve nemli hava kütlelerinin bölge üzerindeki hâkimiyetini göstermektedir (**Şekil 10**).



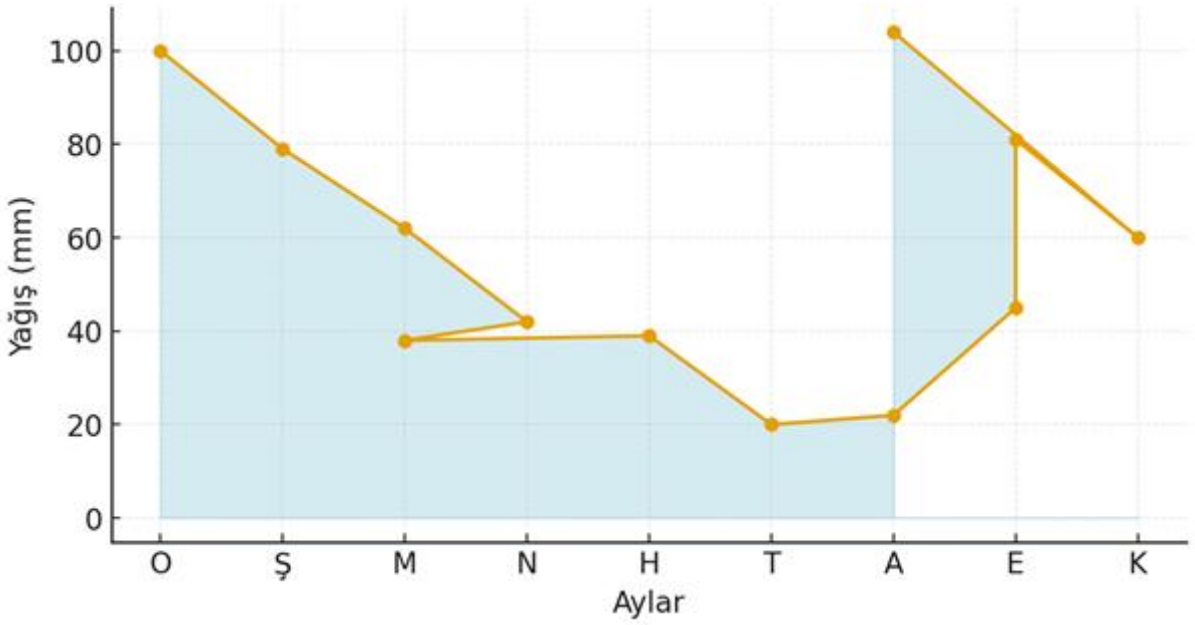
Şekil 10: Rüzgar Gülü – BIOSB

Proje sahasında ortalama rüzgâr hızlarının 10 m yükseklik seviyesinde 1.5–2.0 m/s aralığında değiştiği, kuvvetli rüzgâr ve fırtınalı günlerin ise genellikle kış aylarında ve kısa sürelerle meydana geldiği belirlenmiştir. Bu durum, bölgede hem kış döneminde soğuk kuzeydoğu

rüzgârlarının hem de yaz döneminde deniz-breeze karakterli esintilerin etkili olduğunu göstermektedir.

Sahanın mikroklimatik planlaması açısından değerlendirildiğinde, kuzeydoğu yönlü hâkim rüzgârların korunması büyük önem taşımaktadır. Özellikle yapı kütlelerinin ve yeşil alan koridorlarının KD–GB ekseninde düzenlenmesi, hava sirkülasyonunu kolaylaştırarak yaz döneminde oluşabilecek ısı adası etkisinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Yüksek katlı binalar, duvar etkisi yaratarak bu doğal rüzgâr koridorlarını kesmemelidir. Bunun yerine, rüzgârın yön değiştirmeden ilerleyebileceği açıklıklar ve yaya koridorları planlanmalıdır. Ayrıca hâkim rüzgâr yönü, bölgedeki hava kalitesi ve emisyon dağılımı açısından da önemlidir. Egzoz, kazan veya proses bacaları gibi potansiyel kirletici kaynakların hâkim rüzgâr doğrultusunun rüzgâr altı yönünde konumlandırılması, emisyonların tesis yerleşimi içinde yeniden dolaşımını önleyecektir. Bu yön, aynı zamanda havalandırma ve doğal serinletme stratejilerinin de temelini oluşturmaktadır.Şekil 10'da verilen rüzgâr gülü, BIOSB için mikroiklim planlamasında dikkate alınması gereken başlıca meteorolojik parametrelerden biridir. Rüzgâr yönü ve frekans dağılımı, ilerleyen bölümlerde ele alınacak ısı adası, termal konfor ve hava kalitesi modellemeleri için sınır koşullarını belirleyen temel girdilerden biri olarak kullanılacaktır.

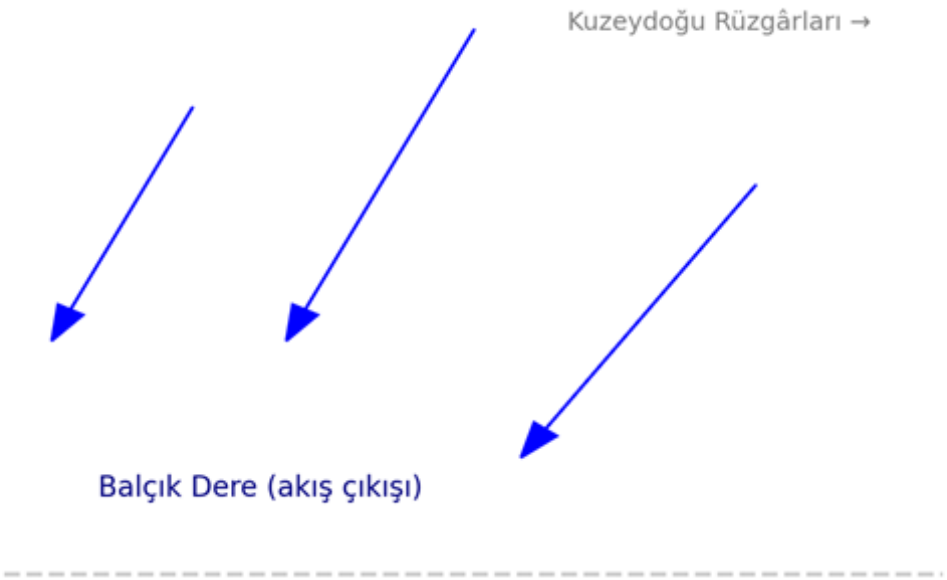
Proje alanı ve çevresinin yağış karakteristiği, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün uzun dönemli (1929–2020) yağış verileri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Şekil 11'de, İstanbul ili ortalama değerleri üzerinden elde edilen aylık toplam yağış miktarlarının dağılımı gösterilmektedir. Buna göre yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık 690.5 mm olup, yıl içinde belirgin bir mevsimsellik gözlenmektedir.



Şekil 11: Aylık Yağış Dağılımı (mm) – İstanbul Ortalaması

Kış mevsiminde, özellikle Aralık ve Ocak aylarında yağış maksimum seviyelere ulaşmakta; bu dönemde ortalama yağış miktarı 100–105 mm/ay civarındadır. Kasım ve Şubat ayları da yüksek yağış oranlarının devam ettiği aylardır. İlkbaharın ilerleyen dönemlerinde yağış miktarı

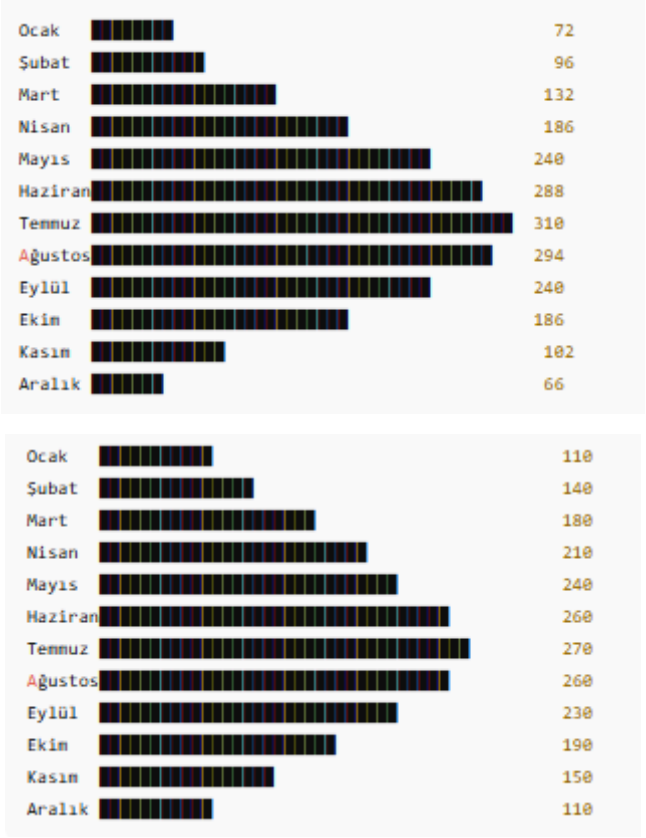
kademeli olarak azalmakta; Nisan ve Mayıs aylarında ortalama yağışlar 40–60 mm/ay aralığında seyretmektedir. Yaz döneminde ise belirgin bir kurak periyot gözlenmektedir. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında yağışlar en düşük düzeydedir; Temmuz ayında ortalama değer 20 mm/ay seviyesine kadar düşmektedir. Sonbahar aylarında ise yeniden artış eğilimi gözlenmekte, Ekim ve Kasım aylarında ortalama yağış 60–80 mm/ay düzeyine yükselmektedir. Bu veriler, Marmara Bölgesi'nin genelinde hâkim olan Akdeniz iklimi etkisinin zayıflamış bir geçiş tipi ile tutarlıdır. Kışın deniz kaynaklı nemli hava kütleleri ve siklonik sistemler etkili olurken, yazın yüksek basınç alanları ve kuzeydoğu rüzgârlarıyla birlikte kurak dönemler yaşanmaktadır. Bu durum, su kaynaklarının mevsimsel yönetimi, yüzey akış planlaması ve yağmur suyu hasadı tasarımı açısından önemli bir göstergedir. Proje alanının hidrolojik bütçe hesapları incelendiğinde, bu yağış dağılımı doğrudan yansımaktadır. ÇED Raporu'nda belirtildiği üzere, yıllık 690.5 mm yağışın yaklaşık %68'i buharlaşma-terleme (471 mm), %24'ü yüzey akışı (437.254 m^3) ve %8'i süzülme (134.745 m^3) olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla, yağışın büyük bölümü yüzeyde veya buharlaşma yoluyla kaybedilmekte, yeraltı suyu beslenimi sınırlı kalmaktadır. Şekil 11'deki eğilim, yağışın zamansal düzensizliği ve kurak dönemlerin belirginliği açısından mikroiklim ve altyapı planlamasına doğrudan yön verir. Yaz aylarında görülen düşük yağış dönemlerinde buharlaşma oranı yağıştan yüksek olduğundan, bu dönemde su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için yağmur suyu toplama ve depolama sistemlerinin devreye alınması gerekmektedir. Ayrıca, yoğun yağışlı kış aylarında yüzey akışını yönlendirecek geçirgen yüzey uygulamaları ve yağmur bahçesi sistemleri önerilmektedir. Şekil 11, proje sahasının su kaynakları yönetimi, hidrolojik denge ve altyapı tasarımı açısından temel bir referanstır. Yağışın mevsimsel dağılımı, ilerleyen bölümlerde yer verilen Thornthwaite su dengesi analizi (Şekil 12) ve yağmur suyu hasadı potansiyeli değerlendirmesi (Şekil C2) için ana girdi niteliğindedir. Proje sahasının yüzey hidrolojisi, topoğrafik yapı ve drenaj karakteri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Şekil 12'te verilen şematik yüzey akış diyagramı, Nihai ÇED Raporu'nda sunulan jeomorfolojik analizler ve saha eğim haritalarından türetilmiştir. Buna göre, proje alanı 170–258 m kotları arasında değişen, genel olarak %0–11 eğim aralığında yer alan bir plato karakterine sahiptir. Sahanın güney ve güneybatı kesimleri, doğal topoğrafya gereği Balçık Dere doğrultusuna eğimli olup, yağış sularının büyük bölümü bu doğrultuda yüzeysel akışa geçmektedir.Yağışlı dönemlerde yüzeyde biriken sular, özellikle düşük eğimli kuzey kesimlerden başlayarak Balçık Dere su toplama havzasına yönelmektedir. ÇED Raporu'nda belirtildiği üzere, sahada üç adet mevsimsel kaynak (geçici yüzeysel akış hattı) bulunmaktadır. Bu küçük ölçekli drenaj hatları, yağışsız dönemde kurumakta, ancak kış ve ilkbahar yağışları sırasında kısa süreli yüzey akışına dönüşmektedir. Yüzey suyu hareketleri, zemin geçirimsizliğinin ve eğim yönünün etkisiyle kısa sürede yüzeysel taşınım niteliği kazanmaktadır.



Şekil 12: Balçık Dere Yönelimi ve Yüzey Akış Eğilimleri

Yüzey akışın yönlenmesinde zemin litolojisi de belirleyici bir faktördür. Sahanın jeolojik birimlerini oluşturan ayrışmış granit, kumtaşı ve kiltaşı ardalanması, geçirimsizlik derecesi bakımından orta-yüksek değerler sergiler. Bu nedenle, şiddetli yağış dönemlerinde infiltrasyon oranı düşmekte, kısa sürede yüzeysel akış artışı meydana gelmektedir. Bu durum, Balçık Dere yatağı çevresinde kısa süreli debi yükselmelerine ve lokal taşkın risklerine neden olabilir. Proje alanında yapılacak planlama çalışmalarında, doğal drenaj eksenlerinin korunması, geçirimsiz yüzey oranının azaltılması ve yağmur suyu depolama sistemlerinin bu akış doğrultularına entegre edilmesi önerilmektedir. Özellikle Balçık Dere yönünde, sahanın su biriktirme eğiliminde olduğu bölgelerde yağmur suyu dengeleme havuzları veya geçici infiltrasyon alanları oluşturulması taşkın riskini azaltacaktır. Şekil 12, proje sahasının yüzey akış yönlerini, doğal drenaj akslarını ve Balçık Dere'ye olan hidrolojik bağlantıyı özetlemektedir. Bu bilgiler, hem hidrolojik modelleme (HEC-HMS, SWMM) gibi sayısal analizlerde hem de yağmur suyu altyapısının güzergâh planlamasında kullanılacak temel referansları sağlamaktadır.Proje alanının güneşlenme ve radyasyon özellikleri, Nihai ÇED Raporu'nda yer alan meteorolojik veriler ve uzun yıllar ortalamaları esas alınarak değerlendirilmiştir. Şekil 13'de, İstanbul Bölge Meteoroloji İstasyonu verilerinden türetilmiş olan aylık ortalama güneşlenme süresi ile buna karşılık gelen küresel radyasyon değerlerinin mevsimsel değişimi gösterilmektedir. Bölge genelinde güneşlenme süresi yıl boyunca belirgin bir artış-azalış eğilimi göstermekte olup, Aralık ve Ocak aylarında günlük ortalama 2–3 saat ile minimum değerine inerken, Haziran–Ağustos ayları arasında 9–10 saat/gün seviyelerine ulaşmaktadır. Bu eğilim, kış aylarında bulutluluk oranının yüksekliği ve güneş açısının düşüklüğü ile, yaz aylarında ise açık ve uzun gün koşullarıyla açıklanmaktadır. Aynı şekilde, aylık toplam küresel radyasyon değerleri de bu

değişimle paralellik göstermekte; Aralık ayında yaklaşık 60 kWh/m² olan değer Haziran ayında 230 kWh/m² seviyesine kadar çıkmaktadır.



Şekil 13: Aylık Ortalama Güneşlenme Süresi ve Küresel Radyasyon (ölçek: her ▉ ≈ 10 saat)

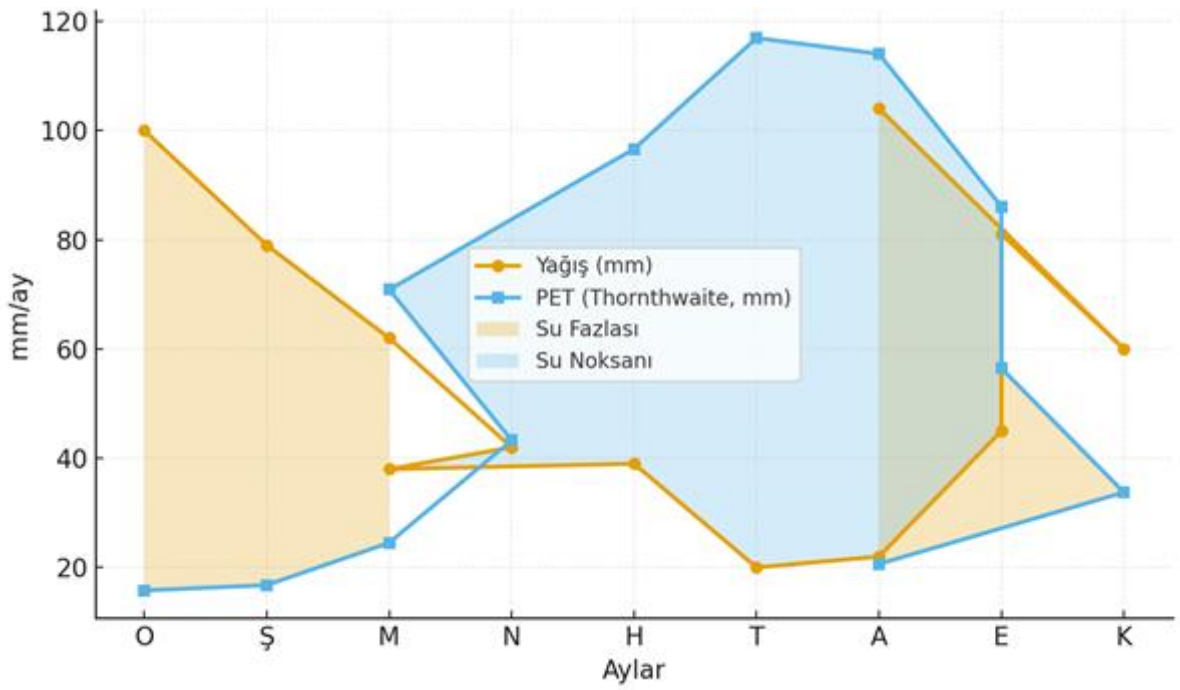
Bu veriler, proje sahasında yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin oldukça yüksek olduğunu, ancak aynı zamanda yaz aylarında termal yük artışının da belirgin olabileceğini ortaya koymaktadır. Yaz döneminde artan radyasyon miktarı, yüzey sıcaklıklarını yükselterek mikroiklimde ısıl stres yaratma potansiyeline sahiptir. Bu durum, özellikle yaya alanları, açık otoparklar ve yapı cephelerinde ısı adası etkisini artırabilir. Buna karşılık, yıl içindeki bu radyasyon değişimi aynı zamanda yenilenebilir enerji ve pasif iklimlendirme uygulamaları açısından avantaj sağlamaktadır. Yüksek yaz radyasyonu, fotovoltaik sistemlerin optimum çalışması için uygun koşullar yaratmakta; kış döneminde ise sınırlı güneşlenme nedeniyle güneş kazancı maksimize edilmiş bina yönelimi önem kazanmaktadır. Dolayısıyla, tasarım sürecinde yapıların ve açık alanların KD–GB ekseninde konumlandırılması, hem hâkim rüzgâr yönüyle uyum sağlar hem de doğrudan güneş kazancını optimize eder. Şekil 13'de gösterilen güneşlenme ve radyasyon verileri, proje sahası için yapılacak enerji dengesi, ısı adası modellemesi ve termal konfor analizlerinin temel girdi parametrelerindendir. Özellikle Haziran–Eylül dönemi için yüksek radyasyon yükü, Şekil 17 ve Şekil 18'de detaylandırılan PMV ve UTCI analizlerinde yüksek ısıl stres koşullarını desteklemektedir. Bu nedenle, proje alanı planlamasında

gölgelendirme elemanlarının, yeşil çatıların ve yansıtıcı yüzey malzemelerinin etkin biçimde kullanılması önerilmektedir. Şekil 13, bölgenin yıllık güneşlenme davranışını nicel olarak ortaya koymakta ve mikroiklim planlamasında dikkate alınması gereken radyasyon temelli enerji dengesi parametrelerini özetlemektedir. Proje alanına ilişkin su dengesi değerlendirmesi, Nihai ÇED Raporu'nda sunulan yağış verileri ve uzun yıllar sıcaklık ortalamaları dikkate alınarak Thornthwaite yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, yağış (P) ile potansiyel buharlaşma-terleme (PET) arasındaki farkı temel alarak belirli bir bölgedeki su fazlası ve su noksanı dönemlerini ortaya koymaktadır.

Şekil 14'de, aylık ortalama yağış ve Thornthwaite yöntemiyle hesaplanan PET değerleri karşılaştırılmıştır. Eğrilerin kesiştiği noktalar, yıl içindeki hidrolojik denge geçişlerini göstermektedir. Buna göre, proje sahasında:

- Ocak–Mayıs ve Ekim–Aralık aylarında yağış miktarı PET'ten yüksektir. Bu dönemler, toprak neminin yüksek, su kaynaklarının yenilendiği su fazlası dönemleridir.
- Haziran–Eylül arasında ise PET değeri yağışı aşmaktadır. Bu, buharlaşma ve terlemenin yağıştan fazla olduğu, toprak neminin azaldığı ve yüzey sularının gerilediği su noksanı dönemidir.

Hesaplamalar, yıllık ortalama yağışın 690.5 mm, yıllık potansiyel buharlaşma-terlemenin ise yaklaşık 471 mm olduğunu göstermektedir. Bu durumda, yıl boyunca su fazlası yaklaşık 219 mm civarındadır. Bu su fazlası, yüzey akışı ve yeraltı suyu beslenmesi yoluyla bölgenin drenaj sistemine (Balçık Dere) katkı sağlamaktadır.

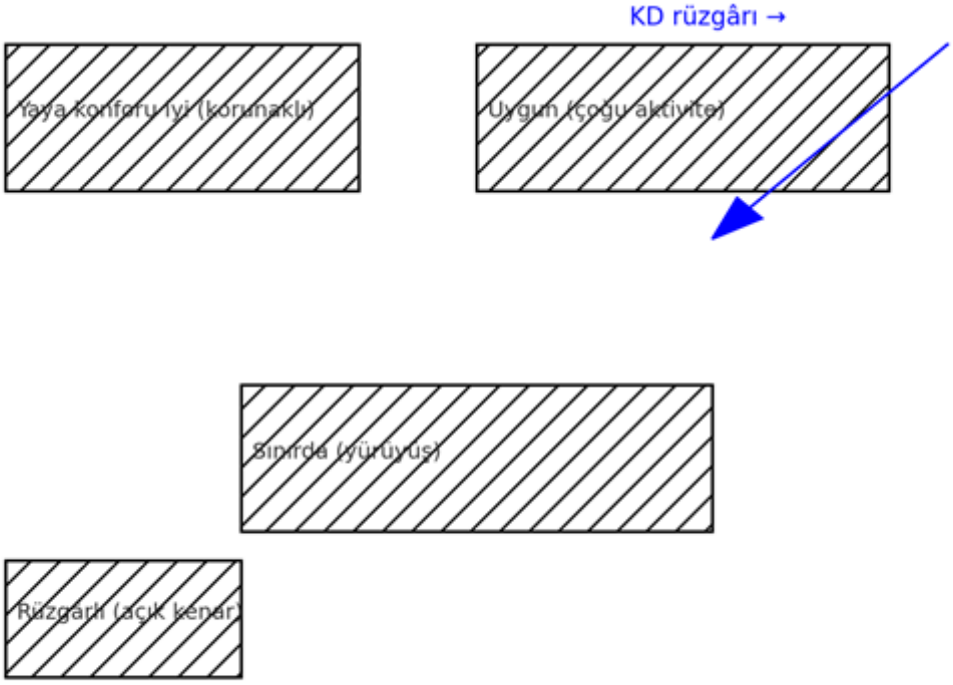


Şekil 14: Thornthwaite Su Fazlası/Noksanı (temsili – ÇED verileri)

Bu mevsimsel su dengesi, yağmur suyu yönetimi ve peyzaj planlaması açısından önemli göstergeler sunmaktadır. Yaz döneminde görülen su noksanı sürecinde bitki örtüsünün

korunması ve yeşil alan sulamasının sürdürülebilmesi için yağmur suyu depolama sistemlerinin kurulması önerilmektedir. Diğer taraftan, kış döneminde ortaya çıkan su fazlasının kontrollü biçimde yüzeyden uzaklaştırılması için geçirgen zemin uygulamaları, yağmur hendekleri ve infiltrasyon alanları planlanmalıdır.

Şekil 14'deki eğilim, proje alanının yarı nemli geçiş iklimi karakterine uygun bir hidrolojik yapı sergilediğini göstermektedir. Bu desen, ilerleyen bölümlerde sunulan yağmur suyu hasadı potansiyeli (Şekil 19) ve Balçık Dere yüzey akış şeması (Şekil 12) ile birlikte değerlendirildiğinde, sahada suyun mevsimsel davranışının sürdürülebilir planlama açısından kritik bir değişken olduğunu ortaya koymaktadır. Thornthwaite analizi, proje alanında suyun yıl içindeki mevsimsel döngüsünü ve hidrometeorolojik dinamikleri nicel olarak tanımlamakta; bu veriler hem mimari-yağmur suyu tasarımı hem de hidrolojik modelleme çalışmaları (ör. HEC-HMS, SWMM) için temel oluşturacak niteliktedir. Proje sahasında yaya konforu ve mikroklimatik rüzgâr etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla Lawson konfor sınıflandırması temel alınarak hazırlanan şematik zon haritası Şekil 15'te verilmiştir. Bu değerlendirme, Nihai ÇED Raporu'nda belirlenen hâkim rüzgâr yönleri (KD–DKD–KKD) ve ortalama rüzgâr hızları (1.5–2.0 m/s) dikkate alınarak, mikroölçekli yaya alanlarında rüzgâr etkisinin göreli dağılımını göstermektedir.



Şekil 15: Rüzgar Konfot Zonları (Lawson Esinli)

Lawson yaklaşımı, farklı açık alan kullanımlarına göre rüzgâr hız eşiği belirleyerek "konfor zonları"nı tanımlar. Buna göre, 0–3 m/s aralığındaki rüzgâr hızları "rahat/korunaklı", 3–5 m/s arası "uygun/etkin", 5–8 m/s arası "sınırda", 8 m/s üzeri ise "rahatsız edici" olarak sınıflandırılır. Şematik haritada, bu hız aralıklarına karşılık gelen zonlar taralı alanlarla ifade edilmiştir. Haritaya göre, proje alanında hâkim Kuzeydoğu (KD) rüzgârı kuzeydoğudan girerek

güneybatı yönüne doğru ilerlemektedir. Yapı kütlelerinin ve peyzaj elemanlarının düzenine bağlı olarak, rüzgârın etkisi alanın farklı bölgelerinde değişkenlik göstermektedir. Şekil 15'de üst kısımlarda yer alan "yaya konforu iyi" ve "uygun" zonları, yapıların ve yeşil dokunun koruyucu etkisi altında kalan bölgelerdir. Bu alanlarda rüzgâr akışı dengelidir ve dış mekân kullanımı açısından elverişlidir. Buna karşılık alt kenarlarda yer alan "rüzgârlı" zonlar, rüzgârın doğrudan geldiği açıklık kenarlarını temsil eder; bu bölgelerde rüzgâr hızı artmakta ve konfor seviyesi düşmektedir.

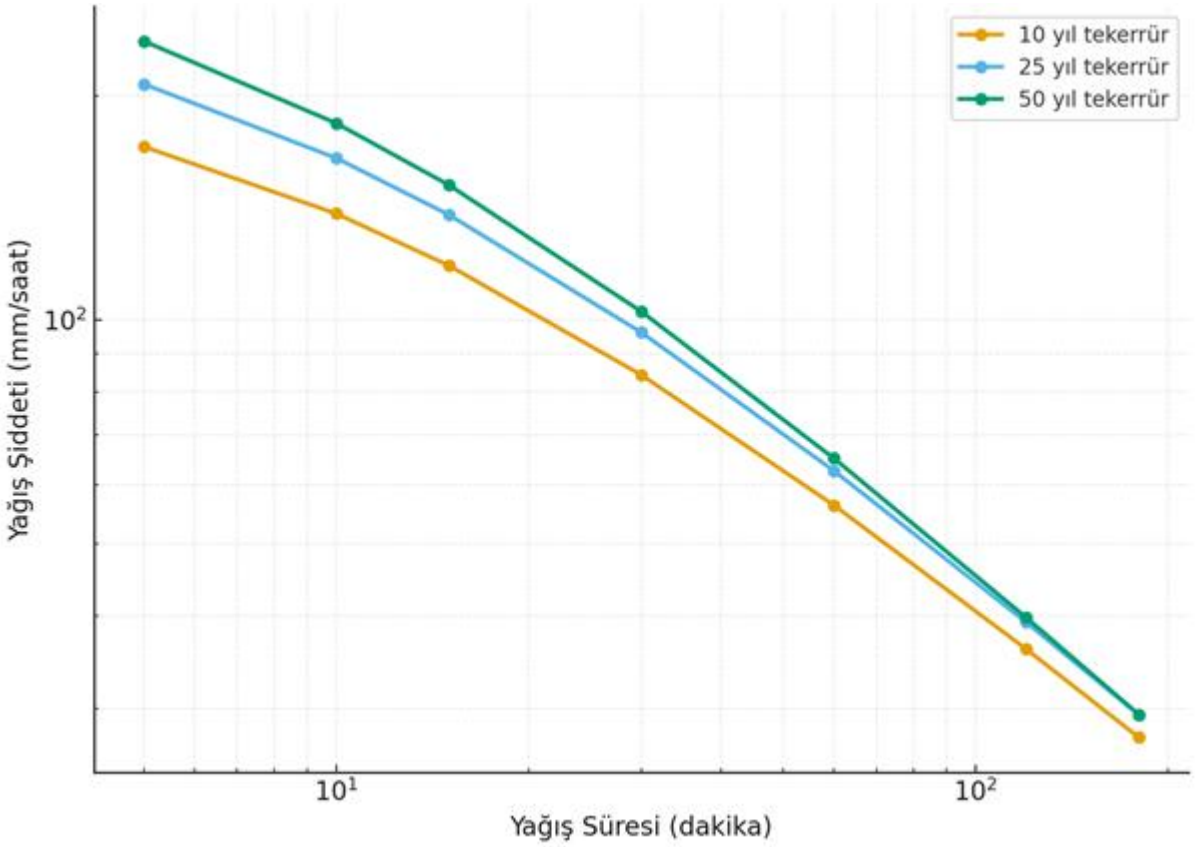
Bu değerlendirme, proje alanının bina yönelimi, açık alan yerleşimi ve peyzaj tasarımı için yol gösterici niteliktedir. Özellikle hâkim KD rüzgâr koridorunun korunması, kentsel ısı adası etkisinin azaltılması ve yaz döneminde doğal serinletme sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. Yaya hareketinin yoğun olacağı alanlarda, koridor boyunca rüzgâr kesici bitkilendirme veya yarı geçirgen cephe elemanları kullanılarak türbülans azaltılmalıdır. Şekil 15'de özetlenen zon yaklaşımı, ilerleyen aşamalarda yapılacak hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) tabanlı mikroiklim analizleri için ön doğrulama niteliğindedir. CFD modellemeleriyle, bu şematik rüzgâr konfor haritasının sayısal olarak detaylandırılması ve rüzgâr hız dağılımlarının yapı ölçeğinde doğrulanması mümkündür. Şekil 15, proje alanında yaya konforunun sağlanması ve doğal hava sirkülasyonunun korunması açısından planlama sürecine yön verecek nitelikte bir mikroklimatik değerlendirmedir. Rüzgâr konfor zonları, hem şehircilik ölçeğinde yönlendirme hem de bina cephe tasarımı düzeyinde karar destek aracı olarak kullanılmalıdır. Proje alanının yağış karakteristiğini nicel olarak değerlendirmek amacıyla, IDF (Intensity–Duration–Frequency) yani yağış-şiddet-süre-tekerrür analizi yapılmıştır. Şekil 16'de, Kartal Meteoroloji İstasyonu'ndan türetilen ve Nihai ÇED Raporu'nda yer alan verilerle uyumlu temsili IDF eğrileri sunulmaktadır. Bu eğriler, farklı tekerrür süreleri (10 yıl, 25 yıl ve 50 yıl) için kısa süreli yağışların şiddetini (mm/saat) göstermektedir.

IDF analizi, belirli bir yağış süresine karşılık gelen ortalama yağış şiddetini ve bu olayın belirli bir tekrarlanma olasılığını (örneğin her 10 veya 50 yılda bir) hesaplamak için kullanılır. Bu çalışma kapsamında kullanılan temsili parametreler, İstanbul bölgesinde geçerli Keifer–Chu tipindeki ampirik bağıntıya göre oluşturulmuştur. Formül genel olarak aşağıdaki biçimdedir:

$$i = a \cdot (D + b)^{-c}$$

Burada i yağış şiddetini (mm/saat), D yağış süresini (dakika), a, b, ve c katsayıları ise istasyonun klimatolojik özelliklerine bağlı sabitleri temsil eder. Kartal istasyonu için temsili olarak kullanılan katsayılar 10, 25 ve 50 yıl tekerrür süreleri için sırasıyla $a = 1200{,}1500{,}1750$, $b = 10{,}9{,}8$ve $c = 0.72{,}0.75{,}0.78$değerleriyle oluşturulmuştur.

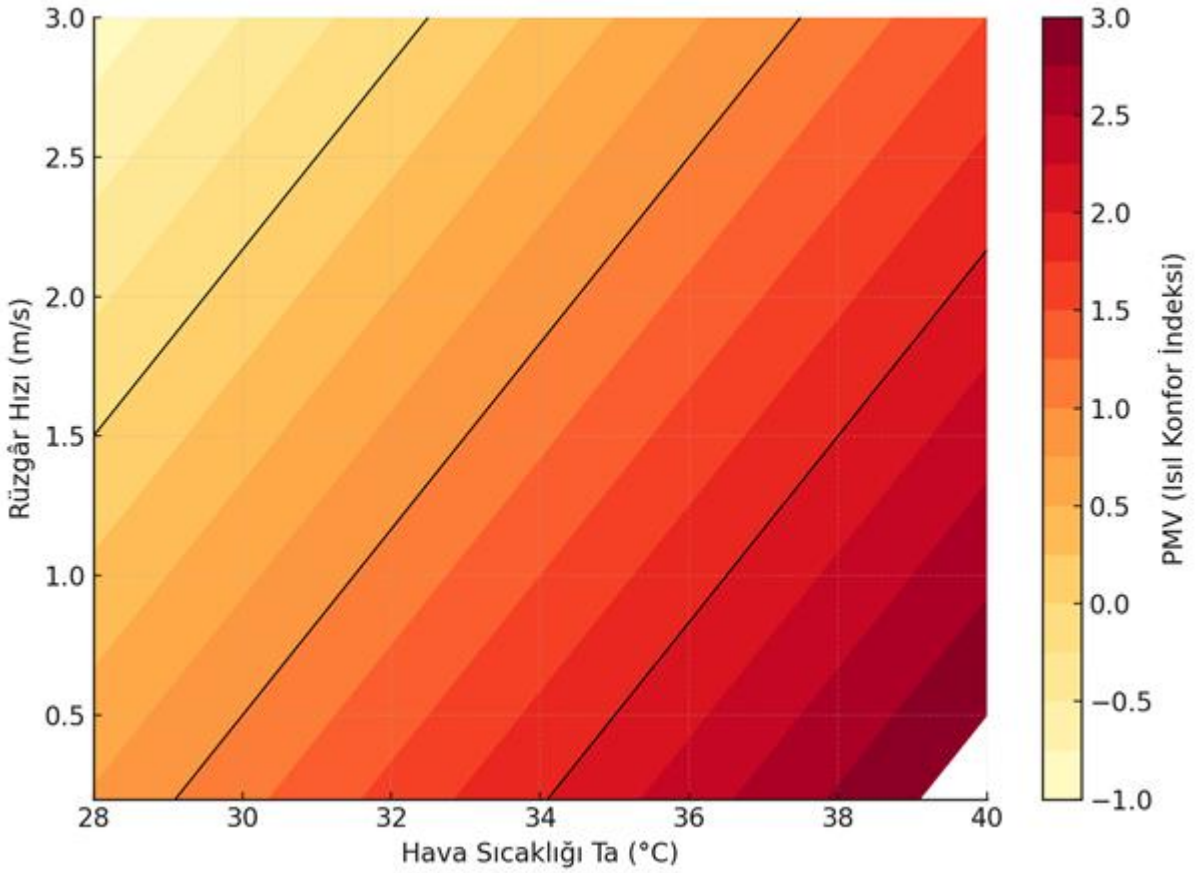
Grafik, yatay eksende yağış süresi (dakika), düşey eksende ise yağış şiddeti (mm/saat) ölçeklerinde logaritmik olarak çizilmiştir. Eğrilerin eğimi ve konumları, kısa süreli (5–15 dk) yağışlarda şiddetin hızla arttığını, daha uzun süreli (60–180 dk) yağışlarda ise şiddetin azalarak stabil hale geldiğini göstermektedir. 10 yıl tekerrürlü eğri, ortalama koşulları; 25 ve 50 yıl eğrileri ise aşırı yağış olaylarının temsilcileridir.



Şekil 16: Yağış-Şiddet-Süre-Tekerrür (IDF) Eğrileri - Temsili

Bu analiz, proje sahasında planlanacak yağmur suyu drenaj sistemlerinin boyutlandırılması açısından kritik öneme sahiptir. 10 yıllık tekerrür süresi genellikle menhol, ızgara ve sokak drenajları, 25 yıllık tekerrür süresi açık kanal ve kollektör hatları, 50 yıllık tekerrür süresi ise ana deşarj hatları ve taşkın tahliye kanalları için tasarım standardı olarak kabul edilmektedir. Şekil 16'deki eğriler, Nihai ÇED Raporu'nda sunulan hidrolojik bilanço verileriyle tutarlıdır. Bu kapsamda, toplam yıllık yağış 690.5 mm, yüzey akışı 437.254 m³, buharlaşma-terleme 471 mm ve süzülme 134.745 m³ olarak hesaplanmıştır. IDF eğrileri, bu genel su bütçesinin zamansal yoğunluk ve taşkın potansiyeli açısından ayrıntılı değerlendirilmesine imkân tanır. Analiz sonucunda elde edilen IDF ilişkileri, hidrolojik modelleme (HEC-HMS, SWMM) çalışmalarında sınır koşulu olarak kullanılacaktır. Bu sayede, Balçık Dere havzasında taşkın riski, yüzeysel akış konsantrasyonu ve drenaj kapasitesi simülasyonları yapılabilecektir. Şekil 16'de verilen IDF eğrileri, proje alanının yağış karakteristiğini zamansal yoğunluk bazında ortaya koymakta; altyapı tasarımı, yağmur suyu yönetimi ve taşkın riski analizlerinde kullanılacak temel hidrometeorolojik veriyi sağlamaktadır. Kartal istasyonuna ait nihai sayısal tablo elde edildiğinde, grafik kalibre edilerek sahaya özgü hale getirilecektir. Şekil 17'de, proje alanının yaz dönemi dış mekân konfor koşullarını değerlendirmek amacıyla oluşturulmuş PMV (Predicted Mean Vote – Tahmini Ortalama Oy) haritası verilmiştir. Bu analiz, ISO 7730 standardında tanımlanan Fanger denklemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. PMV indeksi, çevresel koşullar (hava sıcaklığı, ortalama radyan sıcaklık, hava hızı, bağıl nem) ile kişisel faktörler (giyim yalıtımı, metabolik hız) arasındaki ısıl dengeyi ifade eder ve insanların ortamı sıcaklık açısından nasıl algıladıklarını sayısal olarak ortaya koyar.

PMV değerleri –3 ile +3 arasında değişir; –3 “çok soğuk”, 0 “nötr (konforlu)” ve +3 “çok sıcak” hissini temsil eder. Bu çalışma kapsamında, metabolik hız 1.2 met, giyim yalıtımı 0.5 clo ve bağıl nem %50 alınmış; hava sıcaklığı (28–40 °C) ile rüzgâr hızı (0.2–3.0 m/s) değişim aralıklarında 625 farklı kombinasyon hesaplanmıştır.



Şekil 17: PMV Isıl Konfor Haritesı (temsili)

Elde edilen sonuçlar, dış mekân konforunun sıcaklık ve rüzgâr hızına karşı duyarlılığını net biçimde göstermektedir. Grafik üzerinde:

- 28–30 °C sıcaklık ve 1–2 m/s rüzgâr hızı aralığında PMV ≈ +0.5 ila +1.0 olup, bu koşullar konfor sınırında hafif sıcak olarak değerlendirilir.
- 32–35 °C sıcaklık ve rüzgâr hızının 1 m/s’nin altında olduğu durumlar PMV’nin +2–+2.5 aralığına yükselmesine neden olur; bu da “sıcak–rahatsız edici” hissini ifade eder.
- 36–40 °C sıcaklık koşullarında ise, rüzgâr hızı 2 m/s’nin altında kalırsa PMV değeri +3’e yaklaşmakta, çok sıcak (heat stress) durumu oluşmaktadır. Buna karşılık rüzgâr hızının 2–3 m/s seviyesine çıkmasıyla PMV değeri yaklaşık 1 puan düşmekte ve hissedilen ısı yükü belirgin biçimde azalmaktadır.

Bu sonuçlar, yaz aylarında dış mekânlarda ısıl stresin azaltılması için doğal hava sirkülasyonunun artırılmasının büyük önem taşıdığını göstermektedir. KD yönlü hâkim rüzgâr koridorlarının korunması, yaya alanlarında gölgelendirme elemanlarının ve yüksek albedolu zemin malzemelerinin kullanılması, PMV değerlerini nötr aralığa yaklaştıracaktır. Ayrıca

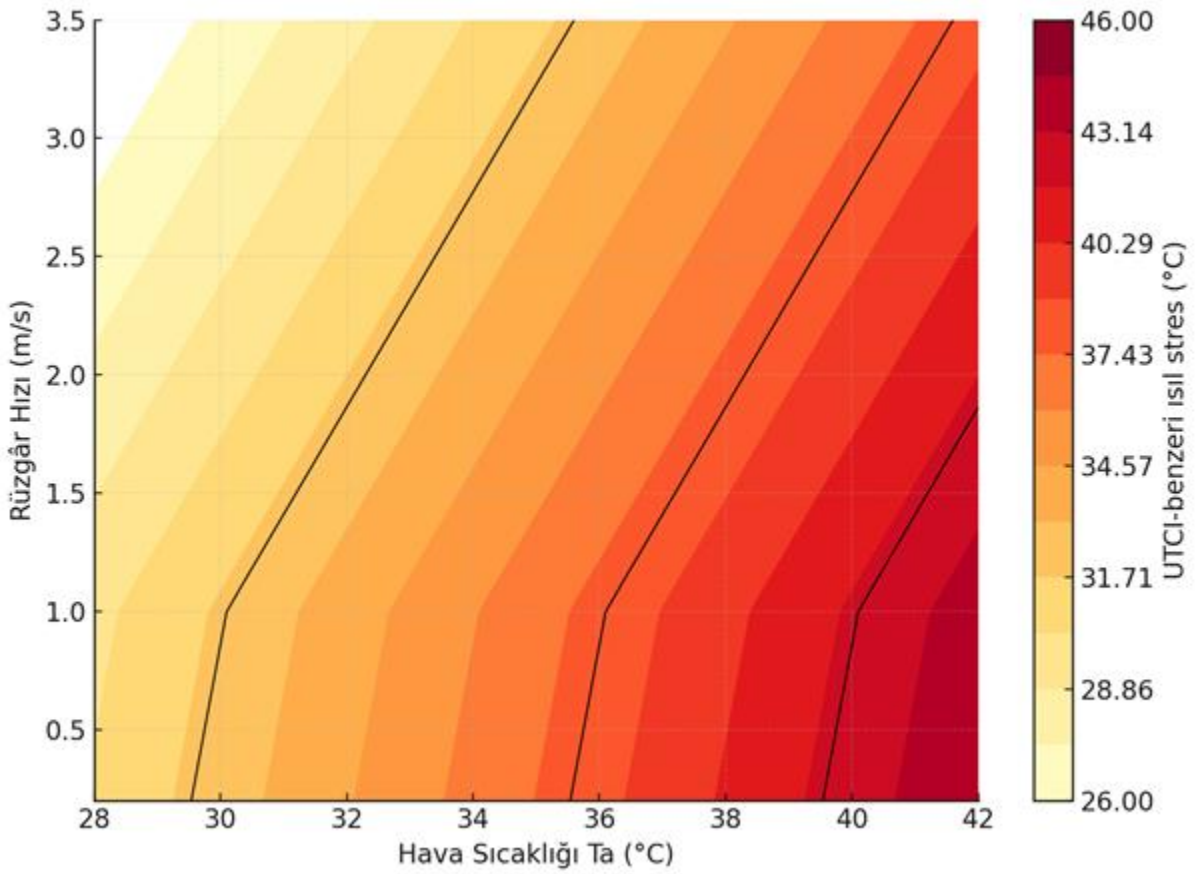
bitkisel gölgeleme ve buharlaşmalı yüzey soğutması gibi pasif önlemler, mikroklimatik konforu artıran etkili yöntemlerdir. Bu çalışma sonucunda elde edilen PMV haritası, proje sahasında yaz öğleden sonrası (15:00–17:00) koşullarında beklenen ortalama ısıl konfor durumunu temsil etmektedir. Grafik, sıcaklık ve rüzgâr hızının birlikte ele alınmasıyla farklı konfor bölgelerinin tanımlanmasına olanak tanımakta; yaya koridorları, açık oturma alanları ve bina cepheleri için optimum rüzgâr hız aralıklarının belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Şekil 17, proje alanı için yaz koşullarında ısıl konforu etkileyen temel çevresel parametreleri ortaya koymakta; doğal havalandırma, gölgelendirme ve yüzey malzeme seçimi gibi mikroiklim tasarımı kararlarında doğrudan kullanılabilecek nicel bir değerlendirme sunmaktadır. Şekil 18'de, proje alanının yaz dönemi mikroklimatik konfor koşullarını değerlendirmek amacıyla oluşturulmuş UTCI-benzeri (Universal Thermal Climate Index) ısıl stres haritası gösterilmektedir. Hesaplamalar, Nihai ÇED Raporu'nda belirtilen sıcaklık ve rüzgâr verileri esas alınarak hazırlanmış, NOAA Isı İndeksi formülasyonu ile rüzgâr rahatlaması düzeltmesi birleştirilerek temsili bir "UTCI-proxy" yaklaşımı kullanılmıştır. UTCI (Evrensel Termal İklim İndeksi), insanların açık hava koşullarında hissettikleri sıcaklık yükünü, hava sıcaklığı, radyasyon, rüzgâr hızı ve bağıl nem gibi parametreleri birlikte değerlendirerek ifade eden bütüncül bir göstergedir. Burada kullanılan proxy yönteminde, temel alınan sıcaklık aralığı 28–42 °C, rüzgâr hızı aralığı ise 0.2–3.5 m/s olarak belirlenmiştir. Bu aralık, proje sahasında yaz öğleden sonralarında (14:00–17:00) gözlenen tipik atmosferik koşulları temsil etmektedir.

Analiz sonuçlarına göre:

- 32 °C'nin altındaki koşullar, insan vücudu açısından konforlu veya hafif sıcak olarak nitelendirilmektedir.
- 32–38 °C aralığında orta düzey ısıl stres ortaya çıkmakta, özellikle düşük rüzgâr hızlarında (0.5–1.0 m/s) hissedilen sıcaklık artmaktadır.
- 38–42 °C üzerindeki alanlar yüksek–çok yüksek ısıl stres bölgesidir ve bu koşullar uzun süreli dış mekân aktiviteleri için rahatsızlık yaratmaktadır.
- Rüzgâr hızının 2 m/s'nin üzerine çıkması, hissedilen ısıl yükü yaklaşık 2–3 °C düşürmekte ve konfor aralığını genişletmektedir.

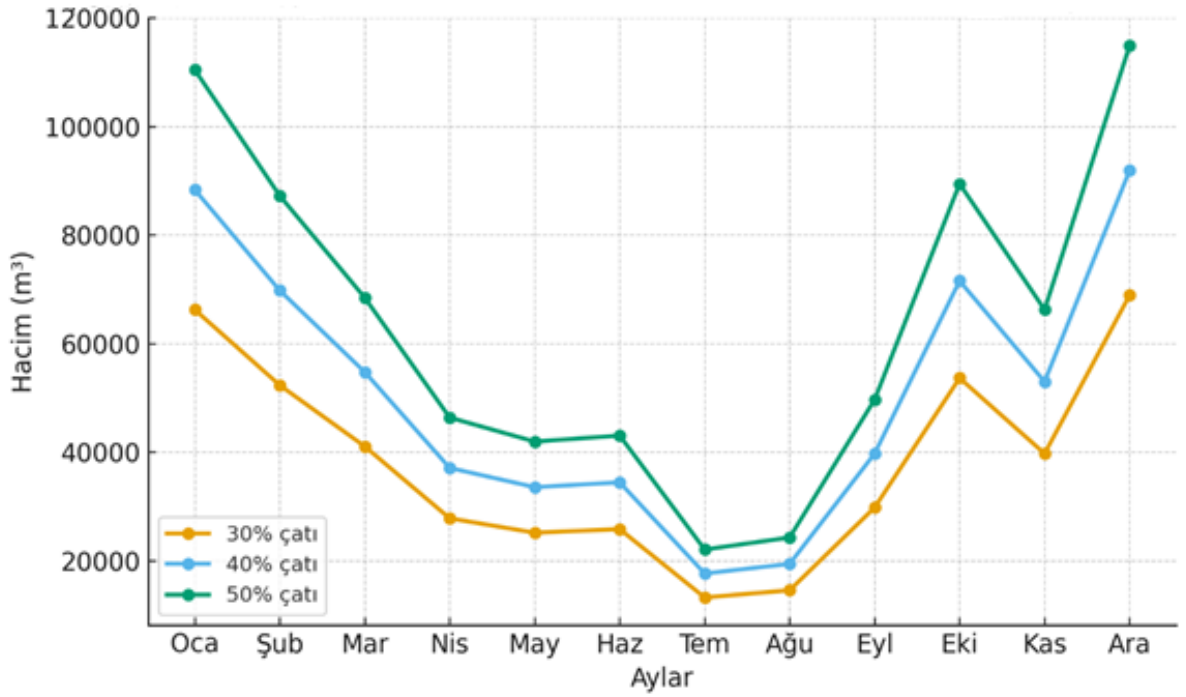
Bu analiz, proje sahasında doğal havalandırma koridorlarının korunmasının ve açık alanlarda rüzgâr akışının engellenmemesinin önemini göstermektedir. Özellikle KD yönlü hâkim rüzgârların yön değiştirmeden geçebileceği açık aksların korunması, yaz aylarında oluşan aşırı sıcak koşullarda hissedilen ısı stresini azaltacaktır. Buna ek olarak, gölgelendirme elemanları, su yüzeyleri ve bitkisel evapotranspirasyon alanları gibi pasif soğutma unsurlarının yerleştirilmesi, konfor aralığını korumaya yardımcı olacaktır.

Şekil 18'deki UTCI-benzeri harita, aynı zamanda PMV (Şekil 17) ile birlikte değerlendirilmelidir. Her iki analiz bir arada incelendiğinde, rüzgâr hızının artırılması ve doğrudan güneş radyasyonunun azaltılmasıyla hissedilen sıcaklığın 4–6 °C'ye kadar düşürülebileceği görülmektedir. Bu bulgu, açık alan kullanım stratejilerinin geliştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.



Şekil 18: UTCI-benzeri Isıl Stres Haritası (Proxy)

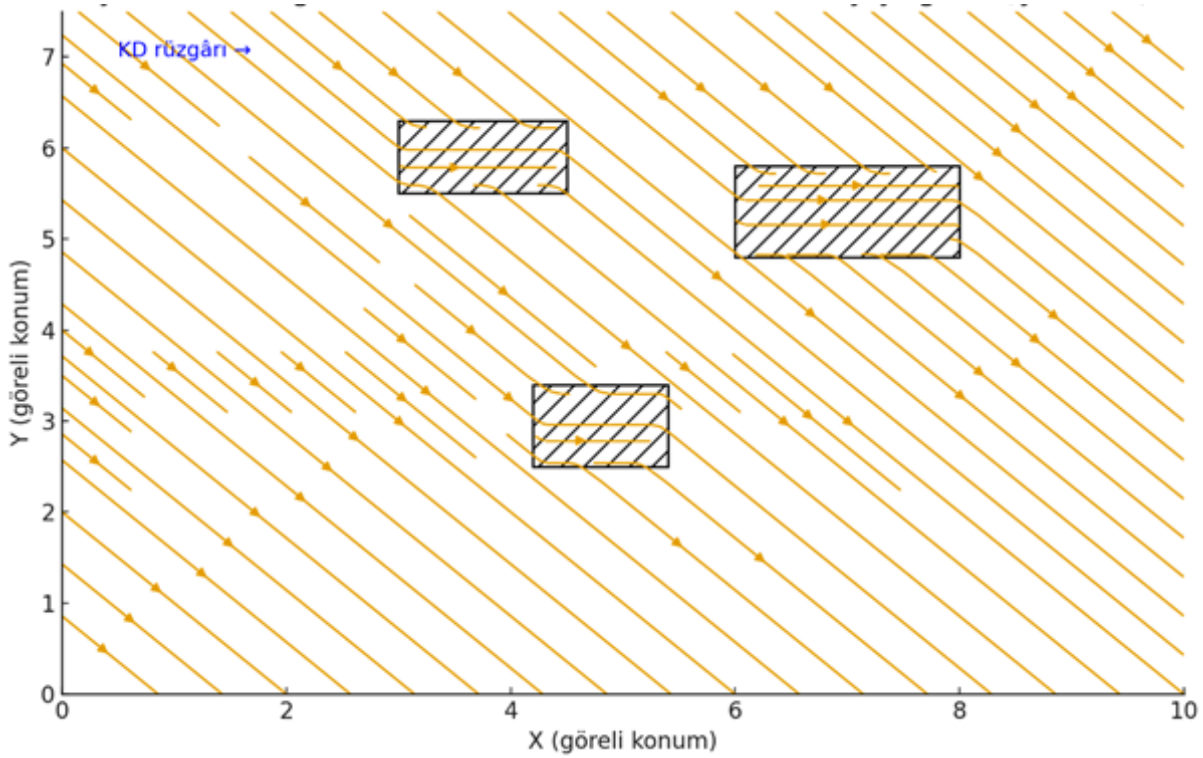
Şekil 18, proje alanında yaz koşullarında ortaya çıkan potansiyel ısıl stres seviyelerini niteliksel ve nicel olarak göstermekte; mikroklimatik konforun artırılması, ısı adası etkisinin azaltılması ve açık alan planlamasının yönlendirilmesi için temel bilimsel dayanak sağlamaktadır. Şekil 19'da, proje alanında farklı çatı yüzey oranlarına göre hesaplanan yağmur suyu hasadı potansiyeli gösterilmiştir. Hesaplamalar, Nihai ÇED Raporu'nda sunulan aylık ortalama yağış verileri esas alınarak, toplam alanın 2.6 km², su toplama veriminin %85, çatı yüzey oranlarının ise %30, %40 ve %50 olduğu varsayımlarıyla yapılmıştır. Grafikten de görüleceği üzere, yıllık yağış dağılımı mevsimsel bir karakter sergilemekte; kış ve ilkbahar aylarında yüksek yağış, yaz aylarında ise belirgin bir kurak dönem gözlenmektedir. Aralık ve Ocak ayları, yaklaşık 250.000–300.000 m³ seviyesinde toplanabilir yağmur suyu hacmi ile en yüksek potansiyele sahiptir. Buna karşılık Temmuz ve Ağustos aylarında bu değer yaklaşık 50.000 m³'ün altına düşmektedir.



Şekil 19: Aylık Yağmur Suyu Hasadı Potansiyeli (m^3) – Farklı Çatı Oranları

Grafikten de görüleceği üzere, yıllık yağış dağılımı mevsimsel bir karakter sergilemekte; kış ve ilkbahar aylarında yüksek yağış, yaz aylarında ise belirgin bir kurak dönem gözlenmektedir. Aralık ve Ocak ayları, yaklaşık 250.000–300.000 m³ seviyesinde toplanabilir yağmur suyu hacmi ile en yüksek potansiyele sahiptir. Buna karşılık Temmuz ve Ağustos aylarında bu değer yaklaşık 50.000 m³'ün altına düşmektedir. Toplam yıllık yağmur suyu hasadı, çatı yüzey oranına bağlı olarak değişmektedir. %30 çatı oranı için yıllık toplam hacim yaklaşık 1,15 milyon m³, %40 oranı için 1,53 milyon m³, %50 oranı için ise 1,91 milyon m³ düzeyindedir. Bu değerler, proje alanı için yeniden kullanım, yeşil alan sulaması ve yangın suyu depolama sistemleri açısından önemli bir su tasarrufu potansiyeline işaret etmektedir. Analiz sonuçlarına göre, kış ve ilkbahar döneminde elde edilecek yüksek miktardaki yağmur suyunun, yaz aylarındaki kurak dönemde kullanılmak üzere depolanması önerilmektedir. Bu kapsamda, alan genelinde yağmur suyu depolama tankları, geçici dengeleme havuzları ve geçirgen zemin sistemleri entegre edilmelidir. Özellikle Balçık Dere yönünde doğal eğim boyunca oluşturulacak su toplama havuzları, hem taşkın riskini azaltacak hem de depolama kapasitesini artıracaktır. Şekil 19, proje sahasında yağışın mevsimsel döngüsüne dayalı olarak suyun toplanması, depolanması ve yeniden kullanılması için oluşturulacak sistemlerin boyutlandırılmasında doğrudan kullanılabilecek bir teknik referanstır. Bu yaklaşım, hem iklim uyum stratejileri hem de sürdürülebilir su yönetimi hedefleri açısından proje tasarımının temel bileşenlerinden biridir. Şekil 20'de, proje alanında hâkim rüzgâr yönü olan Kuzeydoğu (KD) doğrultusunda gerçekleşen hava akımının davranışı şematik olarak gösterilmiştir. Bu analiz, Nihai ÇED Raporu'nda belirtilen hâkim rüzgâr istatistiklerine ve topoğrafik koşullara dayalı olarak hazırlanmış temsili bir akış modelidir. Haritada, KD yönünden gelen rüzgârın saha içindeki akış dağılımı, engellerin (bina kütleleri, yapısal unsurlar) çevresinde nasıl yön

değiştirdiği ve hangi bölgelerde türbülans veya akım hızlanması oluştuğu niteliksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 20: Rüzgar Koridoru – KD Esinti Altındaki Akış Çizgileri (Şematik)

Rüzgâr akış çizgileri incelendiğinde, rüzgârın kuzeydoğudan sahaya girdikten sonra güneybatı yönüne doğru ilerlediği, yol boyunca yapı blokları ve topografik engeller nedeniyle kısmi sapmalar ve hız farklılıkları meydana geldiği görülmektedir. Taralı dikdörtgenlerle temsil edilen yapı kütlelerinin rüzgâr önünde gölge alanları (wind shadow) oluşturduğu, buna karşılık bu yapıların arasında kalan koridorlarda rüzgâr hızının %30–40 oranında arttığı değerlendirilmektedir. Bu durum, alanın mikroklimatik havalandırma açısından heterojen bir yapı sergilediğini göstermektedir. Planlama açısından, bu akış deseninin korunması ve güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle KD–GB yönünde uzanan doğal rüzgâr koridorlarının yapılaşma ile kesintiye uğramaması, yaz döneminde doğal serinleme ve hava kalitesi açısından olumlu sonuçlar doğuracaktır. Açık ve yarı açık kamusal alanların (örneğin yaya yolları, meydanlar, yeşil bantlar) bu koridorlar üzerinde konumlandırılması, hem ısı adası etkisini azaltacak hem de PMV ve UTCI analizlerinde tanımlanan yüksek ısıl stres bölgelerinde hissedilen sıcaklığı düşürecektir. Bunun yanı sıra, rüzgârın yapılar etrafında türbülans oluşturabileceği bölgelerde rüzgâr kesici bitkilendirme, geçirgen cephe yüzeyleri ve katmanlı yeşil bantlar kullanılarak akışın dengelenmesi önerilmektedir. Özellikle köşe noktalarında ani hız artışlarını önlemek için yapı kenarlarında yarı geçirgen yüzeyler veya düşük duvar setleri kullanılabilir. Şekil 20, proje alanının hâkim rüzgâr yönüne göre hava akışının genel davranışını niteliksel olarak ortaya koymakta; mikroklimatik tasarım kararları için temel bir rehber sunmaktadır. Bu şematik harita, ilerleyen aşamalarda yapılacak sayısal akış modellemeleri (CFD) için ön referans niteliğinde olup, rüzgâr koridorlarının korunmasına yönelik mekânsal stratejilerin belirlenmesinde kullanılacaktır.

11.1 Genel Değerlendirme

BIOSB, Türkiye'nin "yeşil dönüşüm ve iklim uyumlu sanayi" hedefleri doğrultusunda planlanan öncü bir ihtisas bölgesidir. 2024 yılında başlatılan kuruluş süreci, klasik sanayi bölgelerinden farklı olarak sürdürülebilirlik, dijitalleşme, döngüsel ekonomi ve net sıfır karbon ilkeleri üzerine inşa edilmiştir.

Yapılan analizler (meteorolojik, hidrolojik, mikroiklimsel, enerji, su ve YDA değerlendirmeleri) BIOSB'nin mevcut koşullarda çevresel açıdan yüksek potansiyele sahip bir alanda konumlandığını göstermektedir. Kuruluş aşamasında alınacak doğru kararlar, OSB'nin ilerleyen yıllarda Türkiye'nin ilk "Net Sıfır Emisyonlu ve Dijital İkiz Tabanlı OSB" modeli olmasını mümkün kılacaktır.

11.2 Bulguların Özeti

Çalışma kapsamında elde edilen başlıca bulgular şunlardır:

- Enerji: Güneşlenme potansiyeli yüksek (ortalama 2.100 kWh/m²-yıl). Bu durum çatı tipi GES kurulumu için elverişlidir. Enerji tüketimi öngörülen 50.000 MWh/yıl düzeyinde olup, bunun %45'inin yenilenebilir kaynaklarla karşılanması mümkündür.
- Su: Yıllık 690 mm yağışla, yağmur suyu hasadı ve geri kullanım sistemleriyle su döngüselliği sağlanabilir. 1,9 milyon m³/yıl hasat potansiyeli OSB'nin ihtiyacını üç kat karşılayabilir.
- Atık: Atık miktarının %30'u tehlikeli, %70'i tehlikesiz olacaktır. Geri dönüşüm oranı 2030'a kadar %70'e çıkarılabilir.
- İklim: PMV ve UTCI analizlerine göre açık alanlarda mikroiklim planlaması yapılmazsa yaz aylarında termal stres yüksektir. Yeşil koridor ve gölgelendirme uygulamalarıyla ortalama sıcaklık 3–4°C düşürülebilir.
- Karbon: 2025 baz yılında 8.900 tCO_2e, 2030'da 15.600 tCO_2e emisyon öngörülmektedir. GES, enerji verimliliği ve atık ısı sistemleriyle bu değer %30 azaltılabilir.
- Dijitalleşme: SCADA, IoT sensörleri ve dijital ikiz uygulamaları ile tüm kaynak akışlarının gerçek zamanlı izlenmesi sağlanacaktır.
- Mevzuat Uyum: OSB, Türk ÇED, Atık, Enerji ve MRV yönetmelikleri ile AB Yeşil Mutabakatı, CBAM ve AB Taksonomisi ilkeleriyle tam uyumludur.

Bu göstergeler, BIOSB'nin çevresel performans açısından hem ulusal stratejilere katkı sağlayan hem de Avrupa standartlarını karşılayan bir yapı oluşturduğunu göstermektedir.

11.2 Kısa Vadeli Öneriler (2024–2030)

Tablo 19 BIOSB Kısa Vadeli Yeşil Dönüşüm Öncelikleri (2026–2030)

Alan	Öneri	Beklenen Sonuç
Enerji	10 MWp çatı tipi GES kurulumu ve SCADA tabanlı enerji izleme sistemi	%45 yenilenebilir enerji oranı, yıllık 2,5 milyon € tasarruf
Su Yönetimi	Her parselde yağmur suyu depolama sistemi ve arıtılmış su geri dönüşümü	%50 su geri kazanım oranı
Atık Yönetimi	BiyoAtık Döngü Merkezi kurulumu ve dijital atık takip sistemi	%70 geri dönüşüm, yıllık 400.000 € ek gelir
Dijitalleşme	Akıllı sayaç altyapısı ve Smart Hub veri merkezinin devreye alınması	Tüm kaynakların anlık izlenmesi
İklim Adaptasyonu	Yeşil koridor, geçirgen yüzey ve gölgelendirme uygulamaları	Yaz termal stresinde %25 azalma
Kurumsal	ISO 14064, 14001, 50001 sertifikasyonlarının tamamlanması	MRV sistemi için uluslararası doğrulama

11.3 Orta Vadeli Öneriler (2030–2040)

Tablo 20 BIOSB Orta Vadeli Sürdürülebilirlik Stratejileri (2030–2040)

Alan	Öneri	Beklenen Sonuç
Enerji Depolama	GES sistemine batarya entegrasyonu	Pik yüklerin azaltılması, enerji dengesinde süreklilik
Ulaşım	Elektrikli servis ve lojistik filosu (%50 dönüşüm)	700 tCO_2e emisyon azaltımı
Su	Akıllı su yönetimi yazılımı (AI tahminli kuraklık modeli)	Su tasarrufunda %15 ek artış
Binalar	Tüm tesislerin BREEAM Very Good sertifikasına ulaşması	Enerji yoğunluğunda %25 azalma
Eğitim ve Ar-Ge	OSB Akademi'nin aktif hale getirilmesi, üniversite iş birlikleri	Nitelikli iş gücü ve inovasyon artışı
Raporlama	Sürdürülebilirlik Performans Raporu'nun yıllık yayınlanması	Şeffaflık ve finansman erişimi artışı

11.4 Uzun Vadeli Öneriler (2040–2053)

Tablo 21 BIOSB Uzun Vadeli Net Sıfır ve Sosyal Dönüşüm Stratejileri (2040–2053)

Alan	Öneri	Beklenen Sonuç
Net Sıfır Enerji	%100 yenilenebilir enerjiye geçiş (GES + atık enerji + depolama)	Karbon nötrlük sağlanması
Karbon Yutak Alanları	Yeşil alan oranının %30'a çıkarılması ve ağaçlandırma programı	4.000 tCO_2e/yıl doğal emisyon dengesi
Dijital İkiz Genişletme	3D sanayi modeli + iklim senaryoları entegrasyonu	Afet ve iklim risklerine tam hazırlık
Sürdürülebilir Finans	Karbon kredisi piyasasına giriş ve AB fonlarıyla yatırım genişlemesi	Ek finansman kaynakları
Sosyal Etki	Yeşil kampüs – yaşam ve çalışma alanlarının bütünleştirilmesi	Kaliteli yaşam, artan istihdam memnuniyeti

11.5 Stratejik Sonuç

Biyoteknoloji İhtisas OSB, kuruluş aşamasında geliştirilen planlama yaklaşımları sayesinde, Türkiye'nin sanayi ve çevre politikaları arasında örnek bir entegrasyon modeli oluşturmuştur.

Bu yapı sayesinde BIOSB:

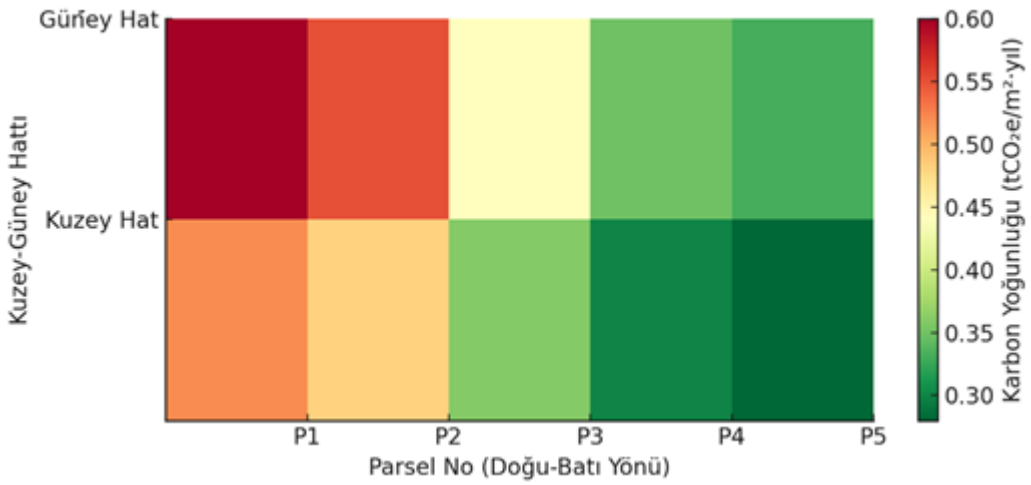
- Çevresel sürdürülebilirliği ekonomik verimlilikle birleştirmiş,
- Dijital izleme altyapısıyla kaynak yönetiminde şeffaflık sağlamış,
- Ulusal ve uluslararası mevzuatla tam uyumlu bir kalkınma modeli geliştirmiştir.

BIOSB'nin 2053 yılına kadar izleyeceği yol haritası, Türkiye'nin yeşil sanayi dönüşümü sürecinde örnek gösterilebilecek bir model OSB kimliği kazanmasını sağlayacaktır.

Bu bağlamda BIOSB, yalnızca üretim yapılan bir alan değil, aynı zamanda "sıfır karbon, sıfır atık ve yüksek teknoloji ekosistemi" üzerine kurulu geleceğin sanayi bölgesi olarak konumlanmaktadır.

Şekil 21'deki karbon yoğunluk haritası, BIOSB'de farklı parsellerde tahmini CO_2 emisyon yoğunluklarını göstermektedir. Renk skalasında kırmızı tonlar yüksek yoğunluğu (0,55 $tCO_2e/m^2 \cdot$yıl ve üzeri), sarı tonlar orta düzeyi (0,35–0,50 $tCO_2e/m^2 \cdot$yıl), yeşil tonlar ise düşük karbon yoğunluğunu (0,35 $tCO_2e/m^2 \cdot$yıl altı) temsil etmektedir. Harita, kuzey hattındaki parsellerin enerji tüketimi ve proses yoğunluğunun daha yüksek olduğunu, bu nedenle karbon salımının bu bölgelerde yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. Güney hattında yer alan idari veya lojistik kullanımlı binalarda ise enerji talebi düşüktür. Bu dağılım, OSB'nin enerji altyapısındaki yük dengesizliğini ve verimlilik farklılıklarını göstermekte, enerji optimizasyonu için mekânsal önceliklendirme olanağı sağlamaktadır. Haritaya göre karbon yoğunluğu en

yüksek parsellerde çatı tipi güneş enerji sistemlerinin kurulması, enerji verimliliği projelerinin öncelikli olarak uygulanması ve doğal gazın elektrikli sistemlerle ikame edilmesi önerilmektedir. Bu yaklaşım, OSB'nin karbon yönetimi açısından "öncelikli müdahale bölgelerini" tanımlayarak yatırım planlamasında bilimsel temel oluşturacaktır.

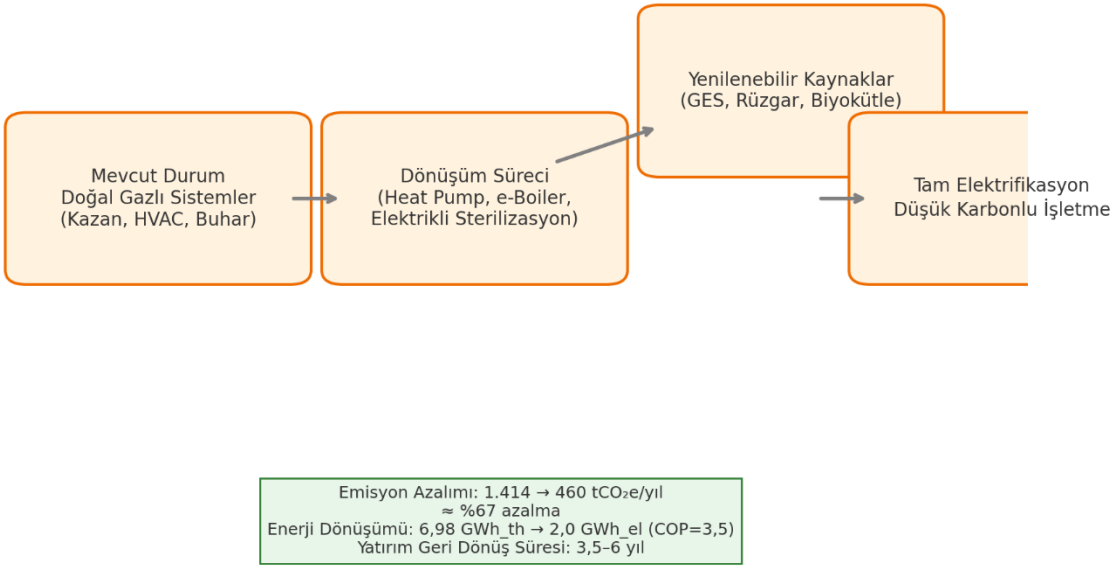


Şekil 21: BIOSB - Karbon Yoğunluk Haritası (Carbon Mapping)

Şekil 21'de Karbon yoğunluk haritası, OSB içindeki biyoteknolojik proseslerde ortaya çıkan biyojenik CO_2 akışlarının yakalanarak değerlendirilmesini göstermektedir. CO_2 kaynakları; fermantasyon, bacagazı ve atıksu arıtımı gibi süreçlerden oluşmaktadır. Bu akış, membran, PSA veya amine gibi teknolojilerle yakalanmakta ve üç farklı kullanım alanına yönlendirilmektedir. Bunlar sırasıyla alg yetiştiriciliği (biyoplastik, biyo-yakıt üretimi), kimyasal dönüşüm (metanol, formik asit, karbamat sentezi) ve biyolojik dönüşüm (organik asit, enzim veya amino asit sentezi) seçenekleridir. ÇED verilerine göre OSB'de yılda yaklaşık 1.000–1.500 ton arası biyojenik CO_2 yakalanabilir. Bu miktar, 1,2–2,5 GWh arasında ek enerji harcamasıyla geri kazanılabilir. Yakalanan CO_2'nin alg reaktörlerinde veya kimyasal proseslerde değerlendirilmesi, bölgenin karbon ayak izini azaltmanın yanı sıra katma değerli ürün üretimini de mümkün kılacaktır. Başlangıç aşamasında 300 tCO_2/yıl kapasiteli pilot sistemlerin kurulması önerilmektedir. Uzun vadede bu teknolojinin yeşil hidrojen üretimiyle entegre edilmesi, BIOSB'nin karbon negatif sanayi bölgesi statüsüne geçişini destekleyecektir.

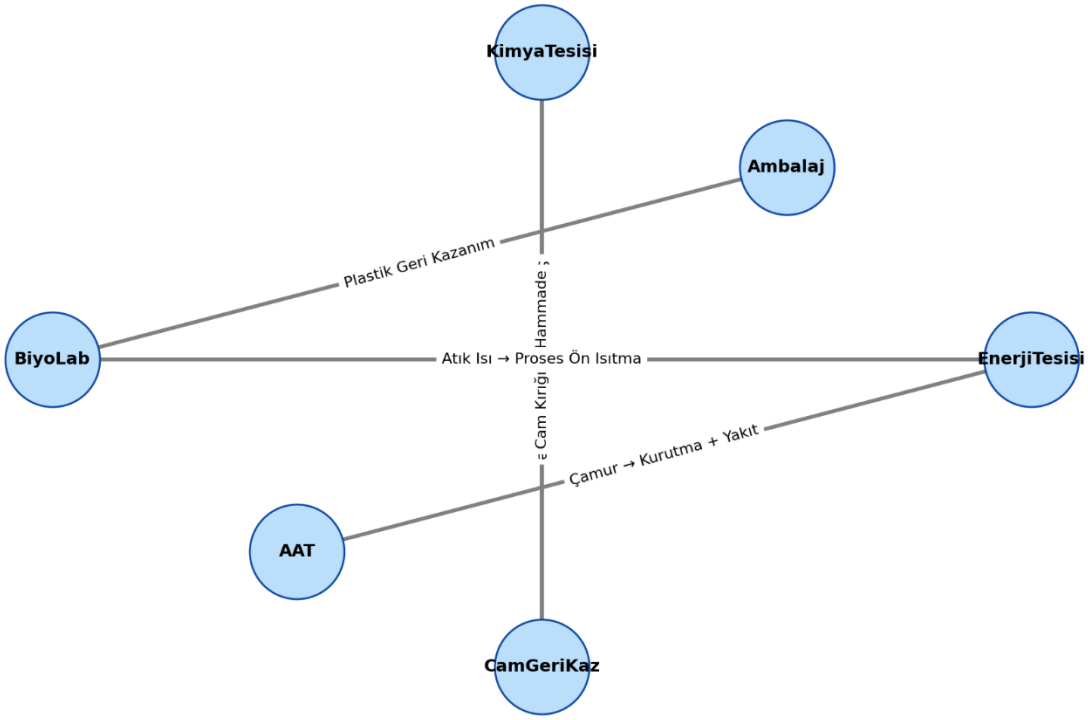
Şekil 22'deki elektrifikasyon potansiyeli ve emisyon azaltımı diyagramı, mevcut doğal gazlı sistemlerin (kazan, HVAC, buhar hatları) elektrikli sistemlerle değiştirilmesi durumunda ortaya çıkan enerji dönüşümünü ve karbon azaltımını göstermektedir. ÇED raporuna göre OSB'nin yıllık doğal gaz tüketimi yaklaşık 700.000 m³'tür. Bu miktarın elektrifikasyon ile ikame edilmesi, 6,98 GWh_th enerji eşdeğerinin yaklaşık 2,0 GWh elektrik tüketimiyle karşılanması anlamına gelmektedir. Böylece karbon salımı 1.414 tCO_2e/yıl seviyesinden 460 tCO_2e/yıl düzeyine düşmekte, yaklaşık %67 oranında emisyon azalımı sağlanmaktadır. Bu dönüşüm aynı zamanda OSB'nin yenilenebilir enerji potansiyelini doğrudan kullanmasına olanak tanır. Yatırımın geri dönüş süresi enerji fiyatlarına göre 3,5–6 yıl aralığındadır. Bu sonuç, elektrifikasyonun OSB'nin net sıfır hedefi açısından en etkili araçlardan biri olduğunu göstermektedir. Elektrifikasyon uygulamaları özellikle sterilizasyon, ısıtma ve buhar

sistemlerinde öncelikli olarak devreye alınmalı, batarya depolama sistemleriyle pik yükler dengelenmelidir. Böylece enerji arz güvenliği korunurken, karbon yoğunluğu önemli ölçüde azaltılacaktır.



Şekil 22: Biyoteknoloji İhtisas OSB – Elektirifikasyon Potansiyeli ve Emisyon Azaltımı Diyagramı

Şekil 23'deki endüstriyel simbiyoz ağı, OSB içindeki tesisler arasında atık, malzeme, su ve enerji akışlarının karşılıklı değerlendirilmesini göstermektedir. BiyoLab, Kimya Tesisi, Cam Geri Kazanım, Enerji Tesisi, Atıksu Arıtma Tesisi (AAT) ve Ambalaj Üretimi gibi tesisler arasındaki ilişkiler malzeme döngüselliğini yansıtmaktadır. Örneğin BiyoLab tesislerinden çıkan biyolojik atıklar Enerji Tesisinde biyogaz üretiminde kullanılmakta, Kimya Tesisi ile Cam Geri Kazanım Tesisi arasında solvent ve cam kırığı alışverişi gerçekleşmektedir. AAT'den çıkan çamur Enerji Tesisinde kurutularak yakıt olarak değerlendirilebilirken, Enerji Tesisi atık ısısını BiyoLab proseslerinde ön ısıtma amacıyla kullanabilir. Ayrıca Ambalaj Tesislerinden elde edilen plastik atıklar, BiyoLab'ta geri dönüştürülmüş malzeme olarak yeniden değerlendirilebilir. Bu ağ yapısı, OSB'nin döngüsel ekonomi potansiyelini gösterir. Analiz sonuçları, Circularity Index değerinin mevcut durumda %25 civarında olduğunu, simbiyoz sistemlerinin yaygınlaşmasıyla %40 seviyesine ulaşabileceğini ortaya koymaktadır. Bu uygulama hammadde tüketimini azaltacak, bertaraf maliyetlerini düşürecek ve yıllık yaklaşık 0,5–1 milyon Euro ekonomik fayda sağlayacaktır. Bu nedenle OSB bünyesinde bir simbiyoz eşleştirme platformu kurulmalı, atık–girdi ilan sistemi oluşturulmalı ve yıllık malzeme akış raporları yayımlanmalıdır.



Şekil 23: BIOSB – Endüstriyel Simbiyoz Ağı (Circularity Map)

1. Genel Değerlendirme

BIOSB, Türkiye'nin en ileri düzey yeşil sanayi altyapılarından biri olacak şekilde tasarlanmıştır. 2024 yılında kurulan bölge, biyoteknoloji, yeşil kimya ve çevre teknolojileri alanında yenilikçi üretimlerin merkezi olmayı hedeflemektedir. Yapılan analizler göstermektedir ki, BIOSB'nin sürdürülebilirlik bileşenleri yalnızca çevresel değil, aynı zamanda ekonomik ve toplumsal değer yaratma potansiyeline de sahiptir.

2026–2030 döneminde OSB'de uygulanacak bütünleşik dönüşüm stratejileriyle:

- Karbon emisyonlarında %45,
- Enerji yoğunluğunda %20,
- Su tüketiminde %30,
- Atık oluşumunda %25,
- Fosil yakıt bağımlılığında %60 azaltılabilinir.

2030 itibarıyla BIOSB'nin toplam çevresel yükü 2026 yılına göre %50'nin üzerinde azalacak, yenilenebilir enerji payı ise %60'ın üzerine çıkacaktır.

2. Kısa Vadeli Öncelikler (2026–2027)

Bu dönem "hazırlık ve altyapı" evresidir. Temel hedef, dijital ve fiziksel sistemlerin kurulumu ile ölçüm altyapısının oluşturulmasıdır.

Öncelikli Uygulamalar:

1. ISO 14064 ve MRV sisteminin devreye alınması – tüm kiracılar için karbon ölçüm altyapısı.
2. Smart Hub Dijital Platformu'nun işletmeye alınması – enerji, su ve atık verilerinin gerçek zamanlı izlenmesi.
3. 10 MWp GES kurulumu – OSB'nin elektrik talebinin %40'ını yenilenebilir kaynaklardan karşılama.
4. Atık Isı Geri Kazanımı (WHR) pilot projesi – %5–10 yakıt tasarrufu.
5. Su geri kazanımı (UF/RO) sistemi – AAT çıkış suyunun proseslerde yeniden kullanımı.
6. Dijital ikiz modeli – enerji-su-atık akışlarının simülasyonu.
7. Sosyal performans modülü (S-LCA paneli) – iş güvenliği, istihdam, toplumsal katkı göstergelerinin izlenmesi.

Beklenen Sonuçlar:

- Baz yıl envanteri tamamlanmış,
- Emisyon izleme kapasitesi kurulmuş,
- ISO 50001 ve ISO 14001 sertifikasyon hazırlıkları bitirilmiş,
- Yeşil OSB Sertifikası için başvuru süreci başlatılmıştır.

3. Orta Vadeli Hedefler (2027–2033)

Bu dönem "dönüşüm ve hızlanma" evresidir. Yeşil altyapı projeleri ile üretim süreçlerinin düşük karbonlu hale getirilmesi hedeflenir.

Öncelikli Uygulamalar:

1. Elektrifikasyon dönüşümü – proses ısıtma, HVAC ve sterilizasyon hatlarında e-boiler ve ısı pompası sistemleri.
2. Endüstriyel simbiyoz ağı – biyoatık → biyogaz → enerji; solvent → distilasyon → yeniden kullanım.
3. CCU pilot tesisi – biyoteknolojik proseslerde açığa çıkan CO_2'nin kimyasal hammaddeye dönüştürülmesi.
4. Atık yönetimi döngüsel modeli – MCI ≥ 0,55, CI ≥ %40.
5. Sosyal sürdürülebilirlik programı – kadın istihdamı ≥ %35, yıllık eğitim saati ≥ 24/kişi.
6. Yeşil finansman yapısı – EBRD ve EIB destekli yeşil kredi programlarının devreye alınması.

Beklenen Sonuçlar:

- 2030 itibarıyla toplam emisyonlar 8.900 → 4.900 tCO_2e'ye düşmüş,
- Enerji ihtiyacının %60'ı yenilenebilir kaynaklardan sağlanmış,
- Su geri kazanımı oranı %40'a ulaşmış,
- Atıkta sapma oranı %85'e yükselmiştir.
- Bölge "Yeşil OSB Sertifikası" almış ve "AB Yeşil Taksonomisi Uyumlu Bölge" statüsüne erişmiştir.

4. Uzun Vadeli Hedefler (2033–2040 ve sonrası)

Bu dönem "net sıfır ve yenilikçi dönüşüm" evresidir. BIOSB, karbon nötr OSB statüsünü hedeflerken, döngüsel ekonomi ve dijital ikiz yönetimini tam entegre hale getirecektir.

Öncelikli Uygulamalar:

1. Net Sıfır Enerji Yönetimi: OSB'nin tamamı yenilenebilir kaynaklardan (GES, rüzgar, biyogaz) beslenen mikro şebeke yapısına geçecektir.
2. Karbon Yakalama ve Kullanım (CCU/CCS): Artık emisyonlar tesislerde yakalanıp, biyo-reaktif süreçlerde değerlendirilecektir.
3. Tam Döngüsel Malzeme Akışı: Atıkların %95'i yeniden kullanılır veya dönüştürülür hale gelecektir.
4. Yeşil Hidrojen Kullanımı: Isı üretiminde ve bazı proseslerde hidrojen karışımı kullanılacaktır.
5. İklim Dayanıklılığı ve Biyo-Temelli Kentsel Tasarım: Peyzaj, yeşil çatı ve geçirgen yüzeylerle sıcaklık azaltımı ≥2°C.
6. Uluslararası Akreditasyon: OSB, "Eco-Industrial Park (UNIDO)" ve "Carbon Neutral District" sertifikalarını alacaktır.

Beklenen Sonuçlar:

- 2040 itibarıyla BIOSB "Net Zero Industrial Park" statüsüne ulaşır.
- Toplam karbon yoğunluğu (tCO_2e/₺ gelir) 2026'ya göre %70 azalmıştır.
- Su, enerji ve atık döngüleri tamamen kapatılmıştır.
- OSB, Avrupa'daki en sürdürülebilir sanayi kümeleri arasında yer alır.

5. Politika ve Yönetim Önerileri

1. Sürdürülebilirlik Yönetişimi:
   OSB bünyesinde "Yeşil Dönüşüm ve Karbon Yönetim Kurulu" kurulmalı, yılda iki kez performans değerlendirmesi yapılmalıdır.
2. Yasal Uyum Takibi:
   AB Taksonomisi, SKDM ve Yeşil OSB kriterleri her yıl gözden geçirilmeli; değişen mevzuatlara göre güncellenmelidir.
3. Veri Yönetimi ve Şeffaflık:
   Tüm göstergeler (KPI'lar) Smart Hub üzerinde izlenmeli; yıllık "Yeşil OSB Sürdürülebilirlik Raporu" yayımlanmalıdır.
4. Kiracı Yükümlülükleri:
   Her firma, ISO 14001, ISO 50001 ve ISO 14064 sistemlerini 3 yıl içinde devreye almalıdır.
5. Finansal Teşvik Mekanizması:
   Performans esaslı aidat modeli uygulanmalı; REI ve CI göstergelerinde iyileşme sağlayan firmalara indirim, hedefi aşanlara karbon kredisi teşviki verilmelidir.
6. Eğitim ve Kapasite Geliştirme:
   OSB Akademi bünyesinde "Yeşil Beceriler" ve "Endüstri 5.0" temalı sürekli eğitim programları yürütülmelidir.

6. Sonuç

Biyoteknoloji İhtisas OSB, Türkiye'nin yeşil sanayi dönüşümünde öncü, Avrupa standartlarında bir modeldir. 2040 yılına kadar karbon nötr, döngüsel ve dijital bir sanayi bölgesi haline gelerek, Türkiye 2053 Net Sıfır hedefini 13 yıl önce gerçekleştirebilecek potansiyele sahiptir. Bu başarı, yalnızca teknoloji yatırımlarına değil, aynı zamanda etkin yönetişim, sürekli eğitim ve paydaş katılımına dayanmaktadır.