KARBON AYAK İZİ AZALTIMI VE KARBON YUTAĞI OLUŞTURMA PROJESİ

AŞAMA-1

temsa.com

İçindekiler

Önsöz 3

TEMSA Hakkında 4

TEMSA Vizyon, Misyon ve Değerler 5

- Sürdürülebilirlik Vizyonumuz ve Misyonumuz 5
- Yıllara göre Stratejik Dönüşüm Hedefleri 6

İklim Değişikliği 7

Karbon Ayak İzi Azaltımı ve Karbon Yutağı Oluşturma Projesi 15

- Projenin Önemi 15
- Projenin Amacı 16
- Projenin Alanı 16
- Materyal ve Yöntem 18

Karbon Ayak İzi Azaltımı ve Karbon Yutağı Oluşturma Projesi Bulguları 21

- Farklı Düzeylerde Mekânsal Sera Gazı Modelleri 21
- TEMSA Gauss Dağılım Modeli 25
- TEMSA Kapsam 1 Karbon Ayak İzi 27

Karbon Ayak İzi Azaltımı ve Karbon Yutağı Oluşturma Projesi Sonuç ve Öneriler 27

55 YILI AŞKIN TECRÜBE

Önsöz

TEMSA, 55 yılı aşkın tecrübesiyle otobüs, midibüs ve hafif kamyon üretiminde dünyanın önde gelen firmalarından biri olarak Sabancı Holding ve PPF Group ortaklığıyla faaliyet göstermektedir. Şirket, Adana'daki geniş fabrikasında yılda 10.000 araç üretim kapasitesiyle, dünya genelinde 70 ülkede faaliyet göstermekte ve Fransa, Almanya, İngiltere, İtalya, Avusturya, İsveç, Belçika, İspanya ve Litvanya gibi Avrupa ülkelerinin yanı sıra Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve çeşitli Türk Cumhuriyetlerine ihracat yapmaktadır. Teknolojik yenilikleri benimseyen TEMSA, kardeş şirketi Skoda'nın desteğiyle sıfır emisyonlu elektrikli araç üretiminde dünya genelinde öncü olma vizyonunu sürdürmektedir.

İklim değişikliği, insanlığın geleceğini tehdit eden en ciddi sorunlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Fosil yakıt kullanımı ve diğer insan faaliyetleri, sera gazı birikimlerini artırarak küresel ısınmayı hızlandırmış, bunun sonucunda da iklim sisteminde geniş çaplı bozulmalara yol açmıştır. TEMSA, bu sorunların bilinciyle hareket ederek çevresel etkilerini en aza indirmek ve küresel iklim krizine karşı çözümler üretmek için yenilikçi adımlar atmaktadır.

TEMSA'nın "Karbon Ayak İzi Azaltımı ve Karbon Yutağı Oluşturma Projesi", bu adımlardan biridir. Bu proje, TEMSA'nın sürdürülebilirlik misyonuyla örtüşen, sera gazı emisyonlarını azaltmayı hedefleyen kapsamlı bir çalışmadır. Proje, fabrika emisyonlarının minimize edilmesi, karbon yutakları oluşturarak atmosferdeki karbonun doğal yollarla tutulmasını amaçlamakta ve bu sayede iklim değişikliğiyle mücadelede örnek bir model sunmaktadır. TEMSA, bu projeyle, sadece ticari başarıya odaklanmanın ötesinde, dünyaya ve gelecek nesillere karşı sorumluluk taşıyan bir vizyonla hareket ettiğini göstermektedir.

TEMSA
HAKKINDA

55 yılı aşkın tecrübesiyle otobüs, midibüs ve hafif kamyon üretiminde dünyanın lider markaları arasında yer alarak mobilitenin elektrifikasyonu vizyonuyla faaliyetlerine devam etmektedir.

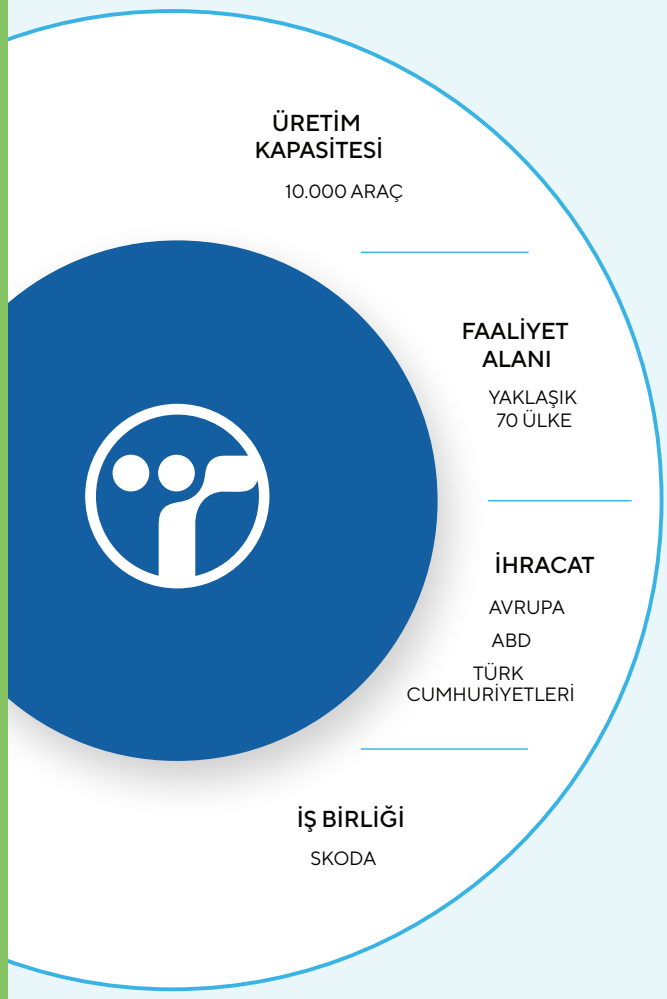
Sabancı Holding ve PPF Group ortaklığı altında faaliyet gösteren TEMSA, 55 yılı aşkın tecrübesiyle otobüs, midibüs ve hafif kamyon üretiminde dünyanın lider markaları arasında yer alarak mobilitenin elektrifikasyonu vizyonuyla faaliyetlerine devam etmektedir.

Şirketin Adana'da 500.000 metrekarelik alana kurulu fabrikasında, 1.720 çalışanıyla 4.000 adet otobüs ve midibüs, 6.000 adet hafif kamyon olmak üzere yılda tek vardiyada toplam 10.000 adet araç üretilebilmektedir.

Bugüne kadar 130 binden fazla araç üreten ve dünyanın 70'e yakın ülkesine 15 binden fazla araç ihraç eden TEMSA; Fransa, Almanya, İngiltere, İtalya, Avusturya, İsveç, Belçika, İspanya ve Litvanya gibi Avrupa ülkelerinin yanı sıra Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve çeşitli Türk Cumhuriyetlerine ihracat yaparak kendi bünyesindeki satış ve satış sonrası hizmet ağıyla faaliyet göstermektedir.

TEMSA, şehirlerarası yolcu ve turizm taşımacılığı için Maraton ve Safir, şehir içi ve kısa mesafe toplu ulaşım için Avenue ve Prestij, Amerika pazarı için TS35, TS30 ve TS45 modellerini, Avrupa pazarı için ise MD9, Avenue ve LDSB modellerini üretmektedir.

8 farklı elektrikli aracının yanı sıra, elektrikli otobüslerin pil ve batarya paketlerini de kendi tesisinde üreten TEMSA, döngüsel iş modeli uygulamaları sayesinde 2050 yılına kadar sera gazı emisyonlarını net sıfıra ulaştırmayı hedeflemektedir.



Değerlerimiz ve İş İlkelerimiz

Saygı

Ortak hedeflerimize öncelikle birbirimize saygı duyarak ve birlikte çalışarak ulaşırız.

Çözüm Odaklılık

Biz TEMSA'lılar müşterimizi çözümsüz bırakmayız, gri alanları sahipleniriz. Problemleri öngörür, proaktif ve akılcı çözümler sunarız.

Şeffaflık

TEMSA'lılar olarak bilginin doğru zamanda, doğru kişilerle paylaşılmasına önem veririz. Yeni gelişmelerin işimize olan etkisini paylaşırız. Açık yüreklilikle gerçekleri söyler, etkin geri bildirimin önemine inanırız.

Tutku ve Sahiplenme

Tutku ile yürüttüğümüz işimizde elde ettiğimiz başarılardan gurur duyarız. İşimizi yaparken etik kültürümüze uygun hareket eder ve herkes için iyi bir rol model oluruz. Fark yaratan çalışanlarımızı her zaman destekleriz.

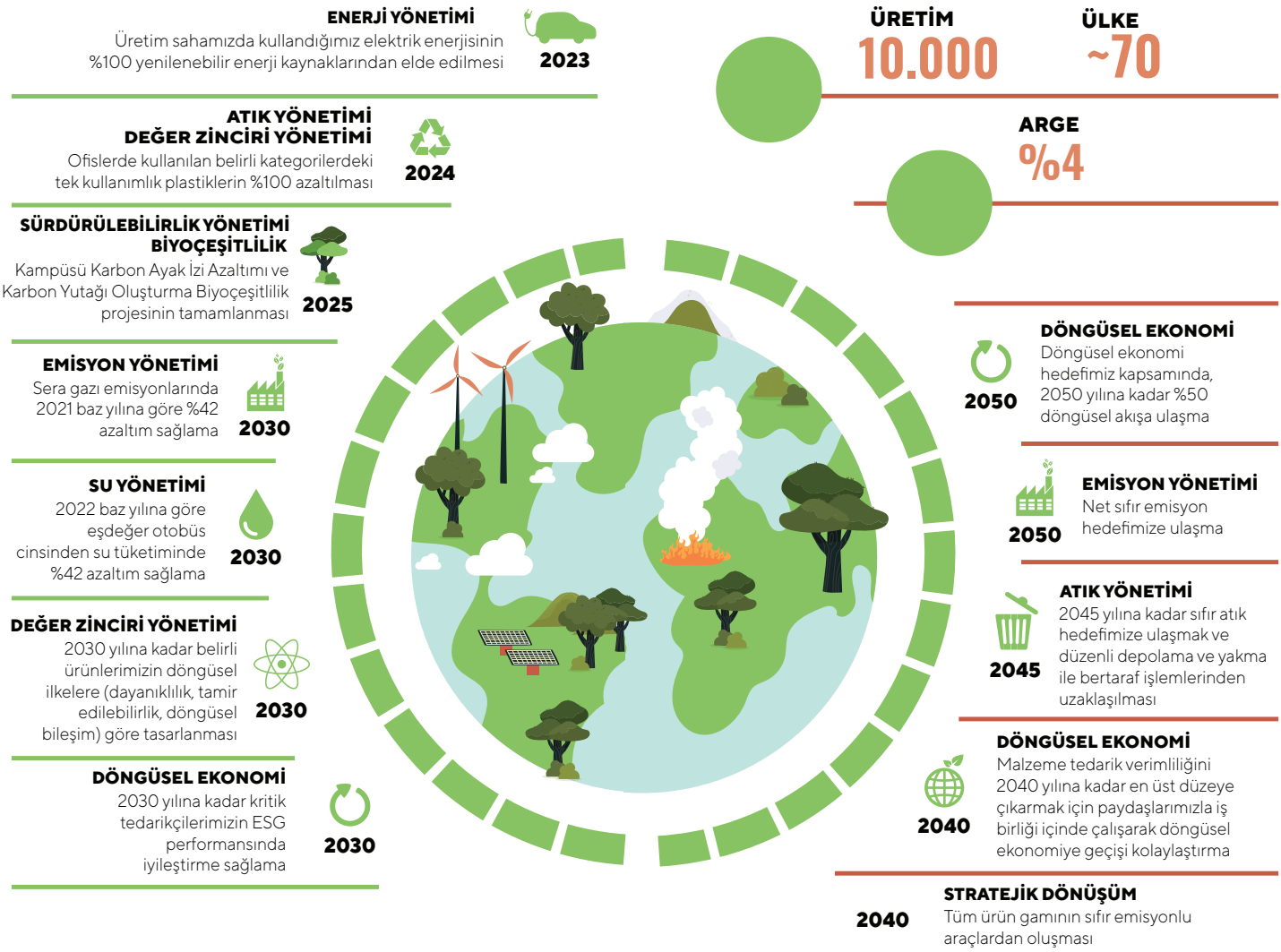
Sürdürülebilirlik Vizyonumuz ve Misyonumuz

Sürdürülebilirlik Vizyonumuz

Teknolojiyi ve dijitali sürdürülebilir yaşamın anahtarı olarak gören, iklim acil durumuyla mücadelede bilimsel yaklaşımları temel kriter olarak kabul eden, sözden aksiyona geçişi önceliklendiren değer odaklı bir şirket olmaktır.

Sürdürülebilirlik Misyonumuz

Sürdürülebilirliği, ÇSY'nin tüm unsurlarıyla sahiplenen, dünya ve insanlık için kalıcı fayda üretmeyi önceliklendiren değer odaklı bir mobilite şirketi olmaktır.



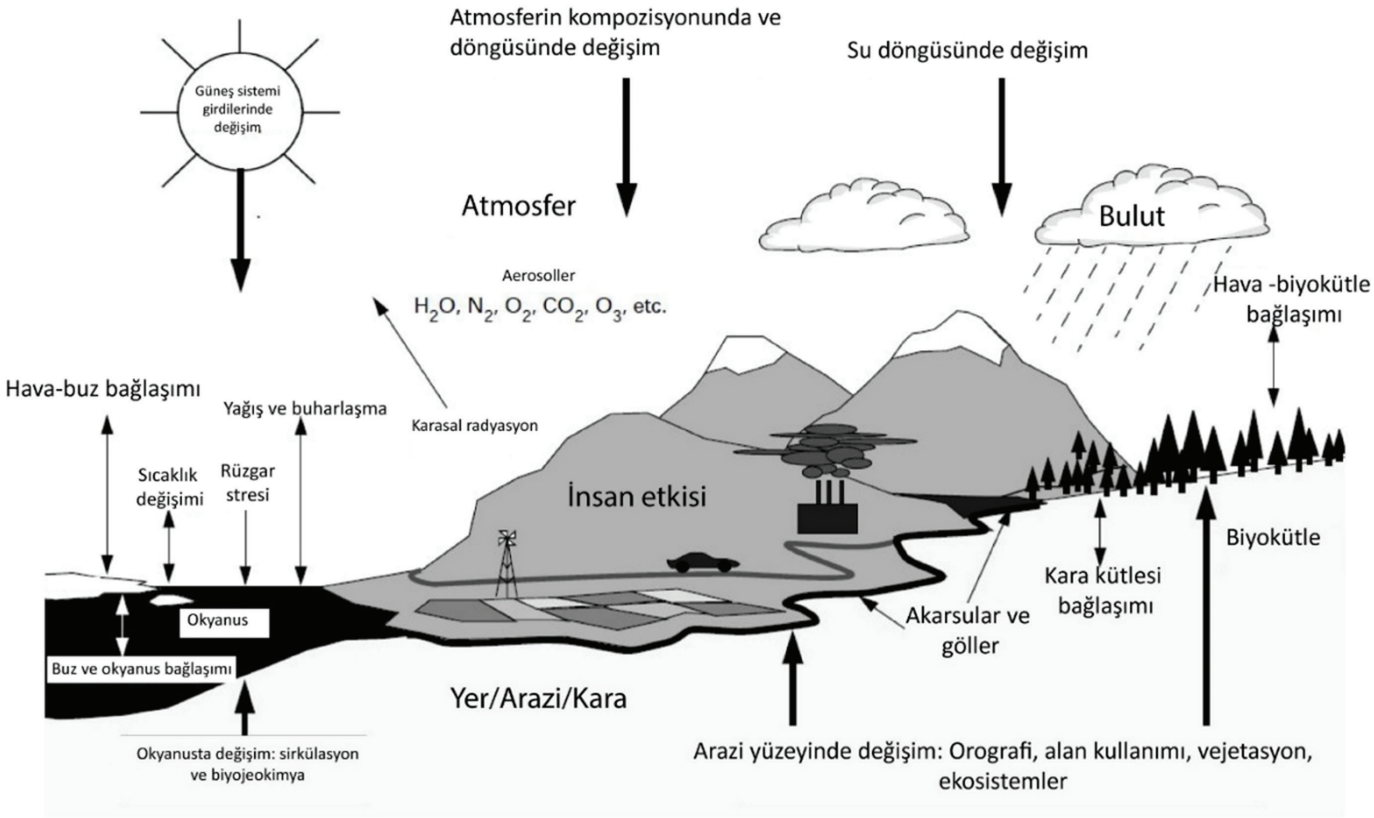
İklim Değişikliği

- İklim, belirli bir zaman dilimi (saat, gün, ay, mevsim, yıl, on yıl vb.) ve coğrafi bölge için atmosferin ortalama durumu olarak tanımlanır. Bu tanım, atmosferde meydana gelen olayların zamansal ve mekânsal dağılımlarını kapsar. Bu dağılımlar, söz konusu zaman dilimi boyunca gözlemlenen hava koşullarının istatistiksel analizine dayanır. Örneğin; Türkiye'nin Ankara kenti için mayıs ayı ortalama sıcaklığı, uzun yıllar boyunca mayıs ayı süresince gerçekleştirilen ölçümlerin ortalaması alınarak hesaplanır. Böylece, belirli bir zaman periyoduna ait ortalama durum, farklı meteorolojik olaylar göz önünde bulundurularak elde edilen istatistiksel verilerle tanımlanır.

- İklimi tanımlayan değişkenler yalnızca atmosfer koşullarıyla sınırlı değildir; okyanus sıcaklıkları, kar örtüsü gibi Dünya yüzeyindeki diğer çevresel faktörleri de içerir. Ortalama durum, incelenen fenomenin doğasına bağlı olarak sıcaklık, yağış, rüzgâr, bulutluluk, güneş ışığı, atmosfer basıncı, görüş mesafesi, nem, fırtına, aşırı sıcaklık, sis, kar ve dolu gibi çeşitli değişkenleri içerebilir. Bu parametreler, ortalama değerler, dağılımlar, aralık, standart sapma ve otokorelasyon gibi istatistiksel ölçütler kullanılarak analiz edilir.

- Hava durumu ile iklim arasındaki farkı doğru anlamak, bu iki kavramın birbirinden ayrımını yapmak açısından kritik öneme sahiptir. Hava durumu, belirli bir anda veya kısa süreli zaman diliminde atmosferin mevcut durumunu ifade eder ve kısa vadeli olayları içerir. İklim ise, daha uzun bir zaman aralığı boyunca bir bölgedeki hava koşullarının genel ortalamasını yansıtır. İklim analizleri, hava olaylarının dağılımları, olasılıkları ve zaman içindeki değişkenliklerini dikkate alarak uzun yıllara yayılan gözlemlerden elde edilen eğilimler ve varyasyonları kapsar (WMO, 2002).

- İklim değişikliği, yalnızca doğal iklim değişkenlikleriyle sınırlı kalmayıp, insan faaliyetlerine bağlı olarak meydana gelen değişiklikleri de içeren karmaşık bir süreçtir (Şekil 1). Bu olgu, atmosferdeki değişimlerin belirli zaman dilimlerinde gözlemlenen iklim farklılıklarıyla ilişkili olduğunu, bu farklılıkların ise doğrudan veya dolaylı olarak insan etkisinden kaynaklandığını vurgulamaktadır. Sanayi devriminden bu yana hızla artan fosil yakıt kullanımı, ormansızlaşma ve tarımsal faaliyetler, atmosferin bileşiminde önemli değişikliklere yol açmıştır. Bu faaliyetler, sera gazı birikiminin artmasına neden olarak küresel ısınmayı ve iklim değişikliği süreçlerini hızlandırmıştır. Sera gazlarının atmosferdeki yoğunluğu arttıkça, Dünya'nın enerji dengesi bozulmakta ve ortalama yüzey sıcaklıkları yükselmektedir. Bu, ekosistemlerin bozulmasına, ekstrem hava olaylarının artmasına ve okyanus seviyelerinin yükselmesine yol açmaktadır.



Şekil 1. İklim sisteminin yapısı (WMO, 2002)

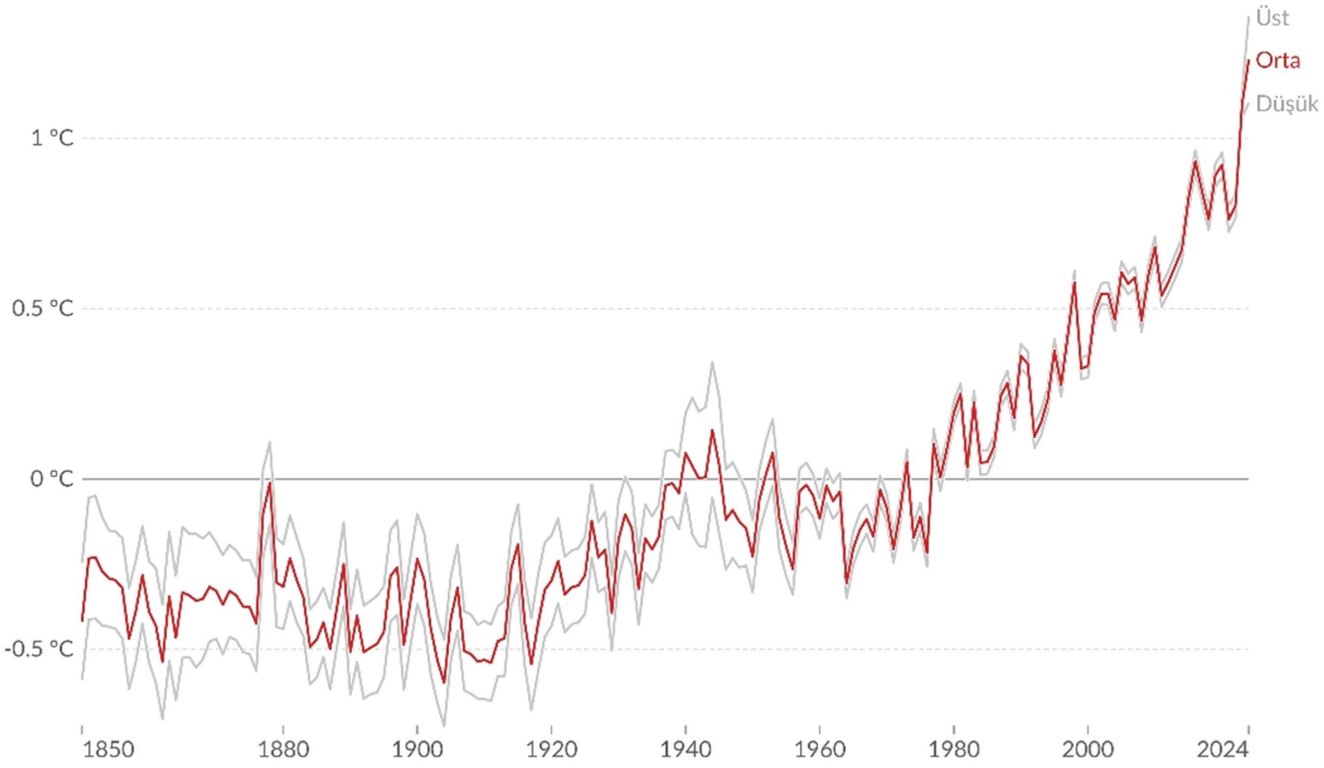
- Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (UNFCCC) göre, iklim değişikliği, küresel atmosferin kimyasal bileşimini değiştiren insan faaliyetlerine atıfta bulunmaktadır. Ancak, bu tanım kara yüzeyindeki değişiklikler veya ekosistemlerin insan etkisiyle bozulması gibi faktörleri dışarıda bırakmakta, bu da iklim değişikliği tartışmalarında kavram karmaşasına yol açabilmektedir. İklim değişikliği terimi, bu nedenle bazen daha geniş bir bağlamda ele alınmakta hem doğal iklim döngüleri hem de insan kaynaklı değişimleri içerecek şekilde kullanılmaktadır. İklim bilimi alanında bu terimin kapsamlı bir şekilde ele alınması hem geçmiş iklim değişkenliklerinin anlaşılmasında hem de insan etkilerinin gelecekteki iklim üzerindeki rolünün değerlendirilmesinde kritik öneme sahiptir.

- İklim sistemi, doğası gereği her zaman dinamik bir yapıya sahip olmuş ve zaman ile mekân ölçeklerinde sürekli bir değişkenlik sergilemiştir. Paleoklimatolojik kayıtlar, iklimin jeolojik zaman dilimlerinde doğal döngülerle büyük ölçüde değiştiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, günümüzde gözlemlenen hızlı değişiklikler, büyük ölçüde insan faaliyetlerinden kaynaklanmakta olup, bu faaliyetler sonucunda doğal döngüler bozulmakta ve iklim üzerindeki insan etkisi giderek daha belirgin hale gelmektedir. Bilimsel topluluğun bu etkileri ayırt etme çabaları, iklim değişikliği ile mücadelede etkili stratejilerin geliştirilmesi açısından önem arz etmektedir. Özellikle, insan etkisinin tarihsel bağlamda değerlendirilmesi, gelecekteki projeksiyonların daha doğru yapılmasına katkı sağlamaktadır.

- 1880 yılından itibaren yapılan termometre tabanlı kayıtlar, küresel yüzey sıcaklıklarında belirgin bir artış olduğunu göstermektedir (Şekil 2). Bu veriler, gezegenin genel olarak bir ısınma eğiliminde olduğunu ve bu ısınmanın iklim sisteminde geniş çaplı değişikliklere neden olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Küresel ısınmanın, iklim değişikliği üzerindeki etkileri çok boyutlu olup, buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi ve aşırı hava olaylarının artması gibi olgularla kendini göstermektedir. Ayrıca, bu ısınma eğilimi ekosistemlerin işleyişini bozmakta, biyolojik çeşitliliği tehdit etmekte ve tarımsal üretim gibi insan faaliyetleri üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu bağlamda, iklim değişikliğinin bilimsel olarak izlenmesi ve insan etkisinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi, gelecekteki iklim politikalarının etkinliğini artırmak için hayati önem taşımaktadır (IPCC, 2023).

Ortalama küresel sıcaklık anomalisi

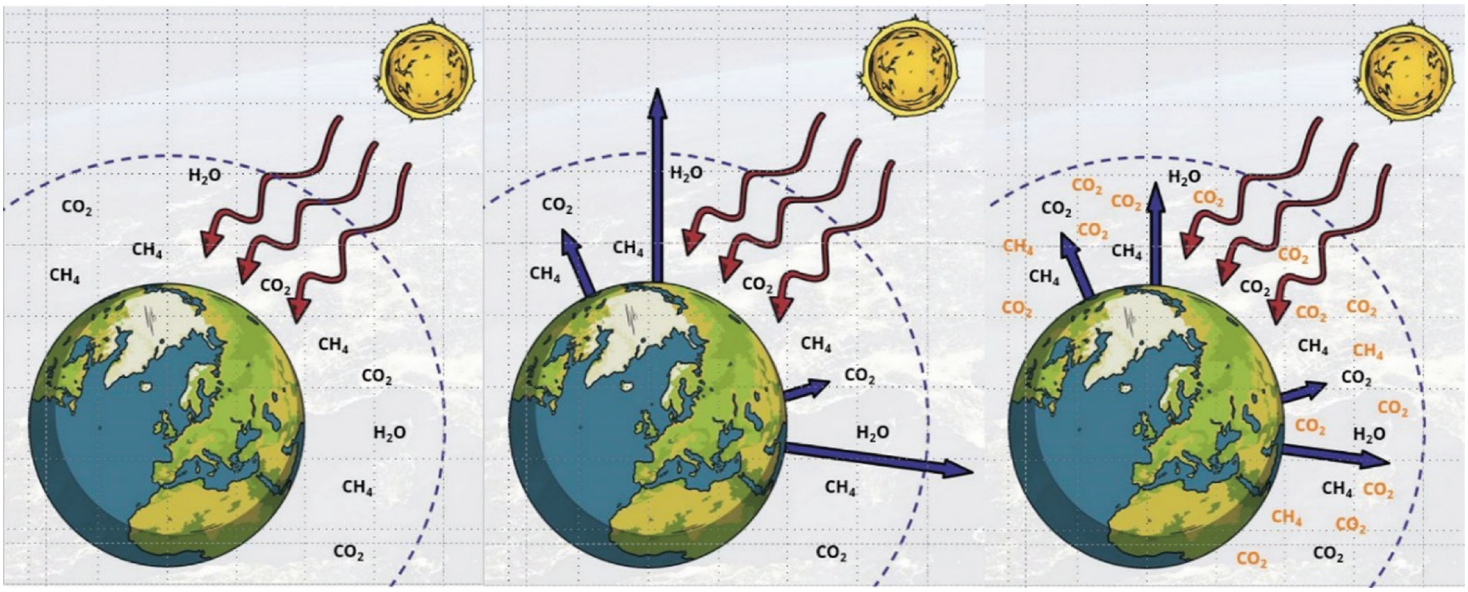
1961-1990 ortalama sıcaklık referans çizgisine göre ortalama küresel kara-deniz sıcaklık anomalisi.



Şekil 2. Ortalama küresel sıcaklık anomalisi (Met Office Hadley Centre, 2024)

İklim Değişikliğine Ne Sebep Olur?

- İklim değişikliği, Dünya'nın enerji dengesinde meydana gelen bozulmalar sonucu oluşan karmaşık bir süreçtir. Dünya'ya gelen enerji, esas olarak Güneş'ten kısa dalga radyasyon formunda gelir. Bu enerji, yeryüzüne ulaştığında, Dünya tarafından emilir ve ardından uzun dalga radyasyon (kızılötesi) olarak geri yayılır. Atmosferde bulunan sera gazları — özellikle karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve su buharı (H_2O) — bu uzun dalga radyasyonu emerek geri yansıtır. Bu süreç, yeryüzünü sıcak tutan doğal sera etkisi olarak bilinir ve yaşamın devamı için gereklidir. Ancak, insan faaliyetleri bu doğal dengeyi bozarak sera etkisini aşırı derecede artırmakta ve küresel ısınmaya yol açmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Sera gazı emisyonları ve sera etkisi (WMO, 2002)

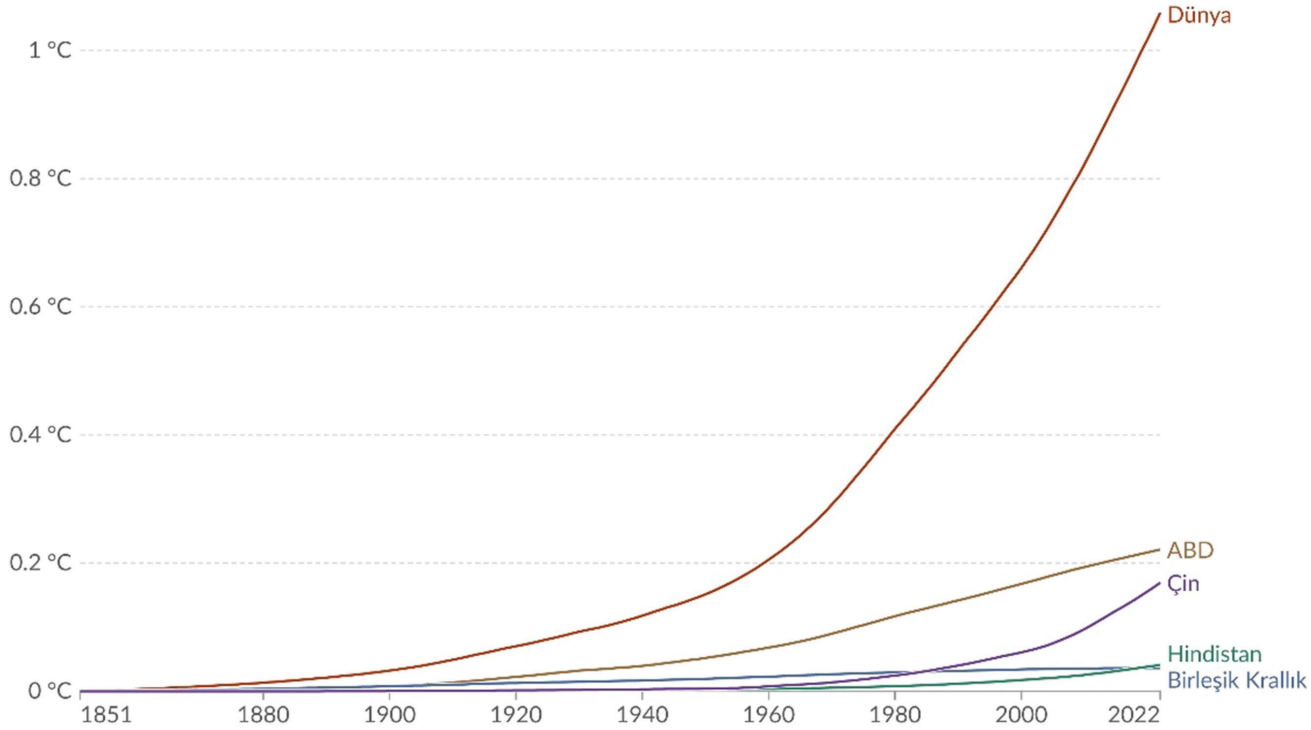
- Sera gazları atmosferde biriktiğinde, Dünya'nın yüzeyinden yayılmaya çalışılan ısının büyük bir kısmı atmosferde tutulur. Atmosferdeki sera gazı konsantrasyonu ne kadar yüksekse, bu ısının tutulma oranı da o kadar fazla olur. Artan sera gazı miktarları, gezegenin sıcaklığında bir yükselişe neden olarak iklim değişikliğini tetikler. Bu durum, sıcaklık artışları, deniz seviyesinin yükselmesi, aşırı hava olayları ve ekosistemlerdeki bozulmalar gibi olumsuz sonuçlarla kendini gösterir.

- **Doğal ve İnsan Kaynaklı İklim Değişikliği**

- İklim değişikliği, doğal süreçler sonucunda da meydana gelebilir. Örneğin, volkanik patlamalar, Güneş'in enerji çıktısındaki değişiklikler ya da büyük göktaşı çarpmaları, iklim üzerinde ani ve büyük etkilere neden olabilir. Ancak, günümüzde tanık olduğumuz hızlı iklim değişikliği, esas olarak insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Bu insan faaliyetlerinin başında üç temel faktör gelmektedir:

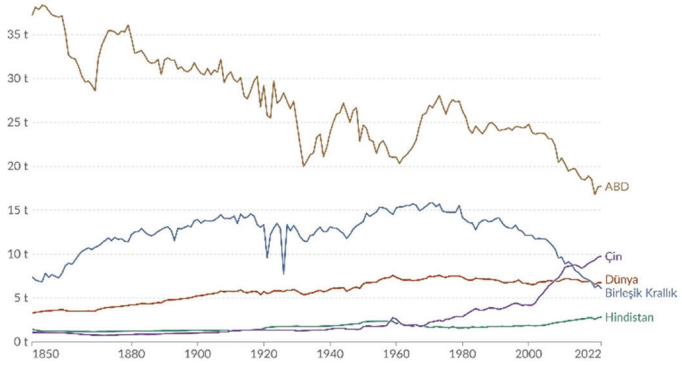
- Fosil Yakıtların Kullanımı: Fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğal gaz) yandığında büyük miktarda karbondioksit (CO_2) atmosfere salınır. CO_2, sera gazları arasında en yaygın olanlardan biridir ve atmosferde uzun süre kalabilmesi nedeniyle küresel ısınmanın başlıca etkenlerinden biridir. Sanayi devriminden bu yana fosil yakıt kullanımındaki artış, atmosferdeki CO_2 konsantrasyonunun önemli ölçüde yükselmesine yol açmıştır. Bu durum, enerji üretimi, ulaşım ve endüstri faaliyetlerinin küresel ısınmaya büyük katkıda bulunduğunu göstermektedir (Şekil 4, Sekil 5).

- **Fosil kaynakların ortalama küresel yüzey sıcaklığı artışına katkısı, 1851'den 2022'ye**
- Bir ülke veya bölgenin kümülatif karbondioksit, metan ve nitöz oksit emisyonları sonucunda oluşan küresel yüzey sıcaklığı değişimi

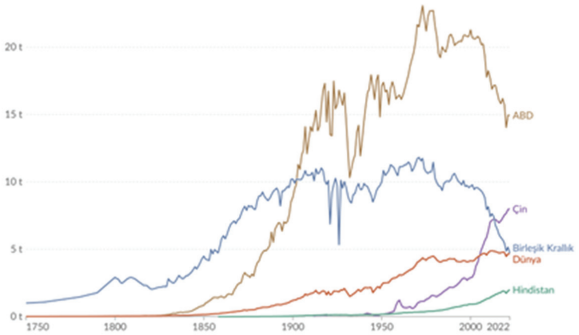


Şekil 4. Fosil kaynakların ortalama küresel sıcaklığa etkisi (Met Office Hadley Centre, 2024)

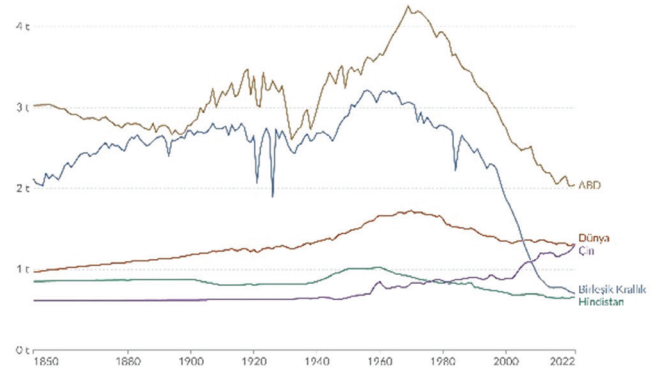
- Kişi başına düşen sera gazı emisyonu



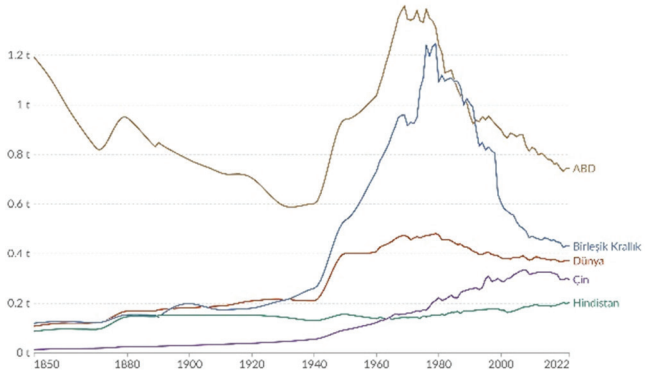
- Kişi başına düşen CO_2 emisyonu



- Kişi başına düşen metan emisyonu



- Kişi başına düşen nitroz oksit emisyonu



Şekil 5. Kişi başına sera gazı emisyonu (Met Office Hadley Centre, 2024)

- Ormansızlaşma: Ormanlar, atmosferdeki karbonu emen ve depolayan büyük karbon yutaklarıdır. Ancak, ormansızlaşma sonucunda bu doğal karbon tutma kapasitesi azalmakta ve atmosferdeki karbondioksit miktarı artmaktadır. Ormansızlaşma sadece karbondioksit emilimini engellemekle kalmaz, aynı zamanda yakılan veya kesilen ağaçların karbonu atmosfere salınır. Ormansızlaşma, tarım alanlarının genişletilmesi, kentleşme ve yasadışı ağaç kesimi gibi insan faaliyetleriyle hızlanmaktadır.

- Biyoçeşitliliğin Azalması: Biyoçeşitlilik, ekosistemlerin dayanıklılığını ve istikrarını sağlayan temel unsurlardan biridir. Ancak, ekosistemlerin bozulması ve türlerin yok olması, doğal dengenin bozulmasına ve atmosferde daha fazla karbonun birikmesine yol açar. Biyoçeşitliliğin azalması, ekosistemlerin değişen iklim koşullarına karşı daha az dirençli hale gelmesine neden olur. Ayrıca, bozulmuş ekosistemler, küresel sıcaklıklardaki artışa karşı tampon görevi görme yeteneklerini kaybederler.

İklim Değişikliği Neden Bir Sorundur?

- İklim değişikliği, milyonlarca yıl boyunca türlerin çevrelerine uyum sağlamak için geliştirdiği evrimsel adaptasyon süreçlerini tehdit eden karmaşık bir sorundur. Bu adaptasyonlar genellikle istikrarlı bir iklimde gerçekleşmiş ve canlıların hayatta kalma yeteneklerini güçlendirmiştir. Ancak, günümüzde hızla gerçekleşen iklim değişiklikleri, türlerin uyum sağlama sürelerini kısıtlayarak adaptasyon süreçlerini sekteye uğratmaktadır. Bu durum, birçok canlı türünün hayatta kalma ve gelişme yeteneklerini zayıflatarak ekosistemlerde bozulmalara neden olmaktadır. Ayrıca, iklim değişikliğinin tetiklediği aşırı hava olayları, kasırgalar, kuraklıklar ve seller gibi afetlerin sıklığını ve şiddetini artırarak insan ve doğal yaşam üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır (Şekil 6).

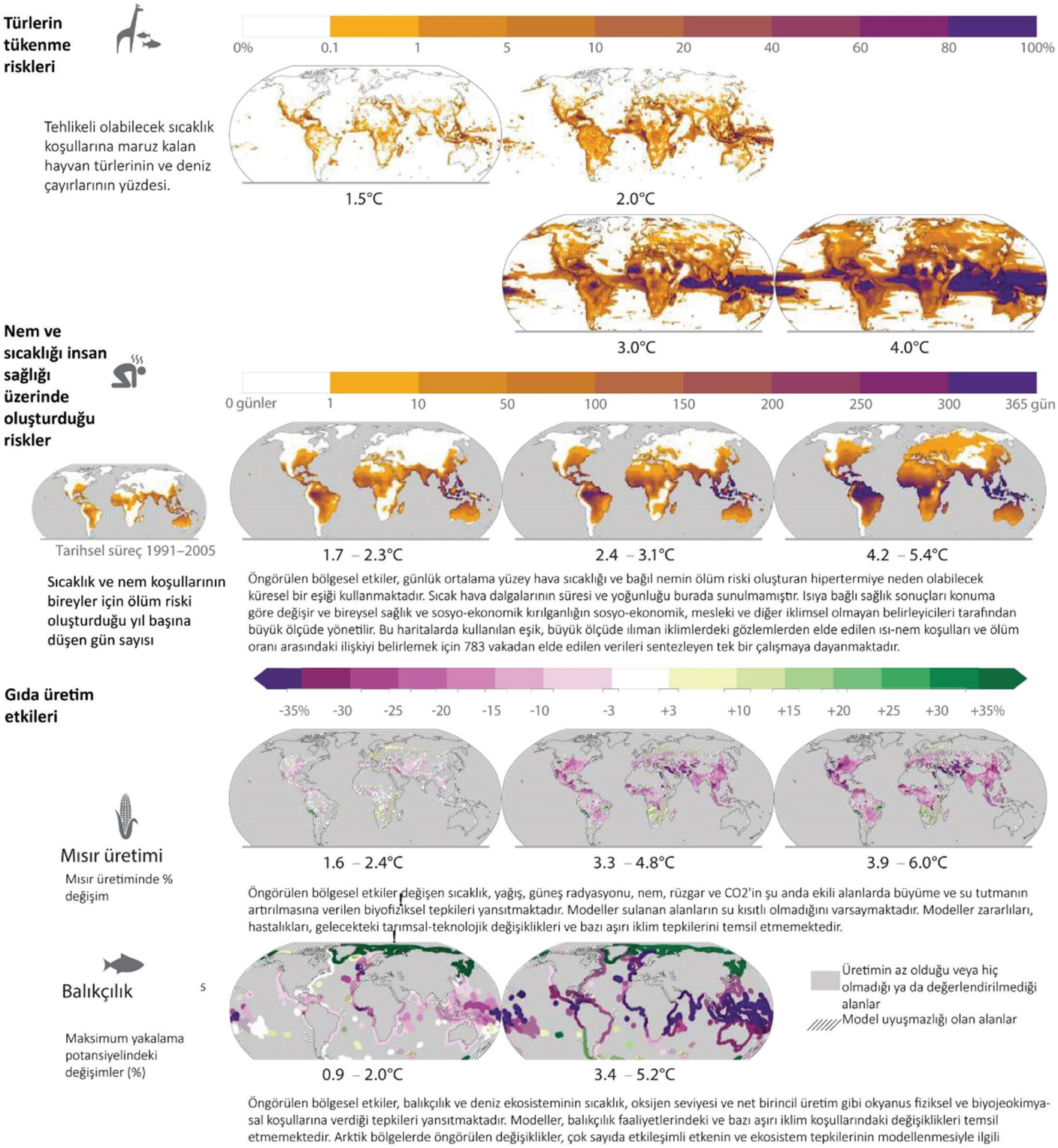
2050'ye kadar Küresel Sıcaklık Artışını 1,5°C ile Sınırlamanın Önemi

- İklim değişikliğiyle mücadelede kritik eşiklerden biri, küresel sıcaklık artışını 1,5°C ile sınırlamaktır. Bilimsel çalışmalar, sıcaklık artışının 1,5°C'yi aşması durumunda doğrudan ve geri dönüşü olmayan etkilerin yaşanacağını ortaya koymaktadır. Örneğin, sıcaklık artışı 1,5°C ile sınırlandırıldığında, mercan resiflerinin %70-90'ı yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalırken, bu artışın 2°C'ye ulaşması durumunda bu kayıp %99'a çıkabilir (IPCC, 2018). Mercan resifleri, deniz ekosistemlerinin önemli bir parçası olduğundan, onların yok oluşu deniz yaşamını ve balıkçılıkla geçinen toplulukları ciddi şekilde etkileyecektir.

- Bunun yanı sıra, deniz seviyesindeki yükselmeye bağlı olarak milyonlarca insan göç etmek zorunda kalabilir. 2°C'lik bir sıcaklık artışı, deniz seviyesinin hızla yükselmesine yol açarak kıyı bölgelerinde yaşayan yaklaşık 280 milyon insanı göç riskiyle karşı karşıya bırakabilir. Özellikle alçak bölgelerdeki şehirler ve adalar büyük tehlike altındadır. Aynı zamanda, bu göçler ekonomik ve sosyal sorunları da beraberinde getirecek ve altyapısı zayıf bölgelerde insani krizler doğurabilecektir.

Artan sıcaklıklar, tarımsal üretimi ve gıda güvenliğini de tehdit etmektedir. Kuraklıkların sıklığı ve şiddeti artacak, bu da özellikle tarım ve su kaynakları üzerinde baskı yaratacaktır. Böcek, bitki ve omurgalı türlerinin yaklaşık %18'i 1,5°C sıcaklık artışında habitat kaybı ve yok olma riski ile karşı karşıya kalırken, bu oran 2°C sıcaklık artışında %20-30'a kadar çıkabilir. Bu biyolojik çeşitlilik kaybı, ekosistem hizmetlerini bozarak gıda üretimini, su kaynaklarını ve diğer hayati doğal kaynakları etkileyebilir.

- Gelecekteki iklim değişikliğinin doğal ve beşeri sistemlerdeki etkilerin şiddetini ve bölgesel farklılıkları artıracağı öngörülmektedi.



Şekil 6. İklim değişikliğinin gelecekteki etkileri (IPCC, 2018)

İklim Değişikliği ile Mücadelede Hızlı Hareket Etmenin Gerekliliği

İklim değişikliğinin etkilerini hafifletmek için ne kadar hızlı hareket edilirse edilsin, atmosferde birikmiş olan sera gazlarının etkisi bir süre daha devam edecektir. Bu durum, iklim değişikliğinin mevcut etkilerinin daha da kötüleşeceği anlamına gelir. Ancak, küresel ısınmayı 1,5°C ile sınırlamak, daha büyük çevresel felaketlerin önlenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Küresel sıcaklık artışını minimum seviyede tutmak hem insanlık hem de ekosistemler için yaşamsal bir zorunluluk haline gelmiştir.

Bu bağlamda, iklim değişikliğiyle mücadelede hükümetler, özel sektör, sivil toplum kuruluşları ve bireyler arasında eşgüdümlü bir çaba gereklidir. Enerji üretimi, ulaşım ve sanayi gibi sektörlerde düşük karbonlu teknolojilerin benimsenmesi, biyoçeşitliliğin korunması ve ekosistemlerin güçlendirilmesi, iklim değişikliğinin en yıkıcı etkilerinden korunmanın başlıca yolları olarak öne çıkmaktadır. Hedeflenen 1,5°C'lik sıcaklık artışının altında kalmak, sadece iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmekle kalmayacak, aynı zamanda gelecekteki nesiller için daha yaşanabilir bir dünya yaratma sorumluluğunu da yerine getirecektir (IPCC, 2018).

Paris İklim Anlaşması

2015 yılında Paris'te düzenlenen COP21'de, dünya genelindeki ülkeler iklim değişikliğiyle mücadele için iddialı bir yol haritası çizen Paris İklim Anlaşması'nı imzalamıştır. Paris Anlaşması, küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelere göre 2°C ile sınırlamayı, mümkünse 1,5°C'yi hedeflemeyi amaçlamaktadır. Bu hedefe ulaşmak için, dünya genelinde 2050 yılına kadar 'net sıfır' emisyon düzeyine ulaşılması gerekmektedir. Net sıfır emisyon, atmosfere salınan sera gazlarının, karbon yutakları aracılığıyla dengelenmesi anlamına gelir.

Anlaşmanın en önemli yönlerinden biri, ülkelerin beş yılda bir emisyon azaltma taahhütlerini yenilemelerini ve her seferinde daha iddialı hedefler belirlemelerini zorunlu kılmasıdır. Paris Anlaşması'nın bu dinamik yapısı, her ülkenin kendi belirlediği Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkılar (NDC'ler) aracılığıyla küresel emisyon azaltım çabalarına katılmasını sağlamaktadır. COP26 gibi sonraki konferanslar, bu taahhütlerin yenilenmesi ve ilerleme kaydedilmesi açısından kritik dönemeçler olmuştur. Ancak, Paris Anlaşması'ndan sonra küresel karbon dioksit emisyonları artmaya devam etmiş ve 1990 yılına kıyasla %62 oranında yükselmiştir (UNFCCC, 2021).

Sanayi ve Paris İklim Anlaşması

Paris Anlaşması'nın sanayi sektörü üzerinde de önemli bir etkisi bulunmaktadır. Sanayi, küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %21'ini oluşturmaktadır ve bu sektörde karbon emisyonlarının azaltılması, anlaşmanın başarıya ulaşması açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, sanayi sektörü için düşük karbonlu teknolojilerin benimsenmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması büyük bir öncelik haline gelmiştir.

Anlaşmaya göre, 2050 yılına kadar sanayi sektörü de dahil olmak üzere tüm sektörlerde net sıfır karbon hedefine ulaşılması gerekmektedir. Bunun sağlanması için yeşil teknolojilere yapılan yatırımların artırılması, fosil yakıt tüketiminin aşamalı olarak azaltılması ve sürdürülebilir üretim yöntemlerinin teşvik edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, döngüsel ekonomi modellerinin sanayiye entegre edilmesi ve karbon tutma ve depolama teknolojilerinin geliştirilmesi gibi stratejiler, sanayi sektörünün dönüşümünde önemli bir rol oynayacaktır (IEA, 2020).

Ayrıca, Paris Anlaşması kapsamında gelişmiş ülkelerin, iklim değişikliğiyle mücadele konusunda gelişmekte olan ülkelere finansal ve teknik destek sağlaması gerekmektedir. Bu destek, özellikle sanayi ve enerji sektörlerinde yeşil teknolojilerin yaygınlaştırılması ve düşük karbonlu kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesi için hayati önem taşımaktadır.

Karbon Ayak İzi Azaltımı ve Karbon Yutağı Oluşturma Projesi- Aşama 1

Günümüzde küresel iklim değişikliği, insanlık için çevresel, ekonomik ve toplumsal sürdürülebilirlik açısından en ciddi tehditlerden biri olarak kabul edilmektedir. Karbon emisyonlarının hızla artması, küresel ısınmayı tetikleyen en önemli faktörlerden biridir. Bu durum, yalnızca ekosistem dengesini bozmakla kalmayıp, tarım, su kaynakları ve hava kalitesi gibi yaşamsal unsurlar üzerinde de yıkıcı etkiler yaratmaktadır (IPCC, 2021). Artan karbon emisyonlarına bağlı olarak şiddetlenen doğal afetler, kuraklık, seller ve aşırı hava olayları, dünya genelinde yaşam koşullarını olumsuz etkilemektedir. Bu bağlamda, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve karbon nötrlüğe ulaşılması, iklim değişikliği ile mücadelenin merkezinde yer almaktadır.

Projenin Önemi

Sanayi sektörleri, enerji yoğun üretim süreçleri ve fosil yakıt tüketimi nedeniyle küresel sera gazı emisyonlarının başlıca kaynakları arasında yer almaktadır. TEMSA Adana Kampüsü'nde yürütülecek olan "Karbon Ayak İzi Azaltımı ve Karbon Yutağı Oluşturma Projesi", bu emisyonların azaltılması ve karbon nötrlüğe ulaşılması hedefiyle, sanayi kuruluşları için örnek teşkil edecek nitelikte bir adımdır. Karbon nötrlük, bir işletmenin ya da faaliyetin atmosfere saldığı karbonun, doğal veya yapay karbon yutakları ile dengelemesini ifade etmektedir. Proje kapsamında, kampüsün karbon emisyonlarının detaylı bir şekilde analiz edilmesi, mekânsal dağılımlarının belirlenmesi ve uygun karbon yutaklarının stratejik olarak tasarlanması, yerel ve küresel iklim hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynayacaktır.

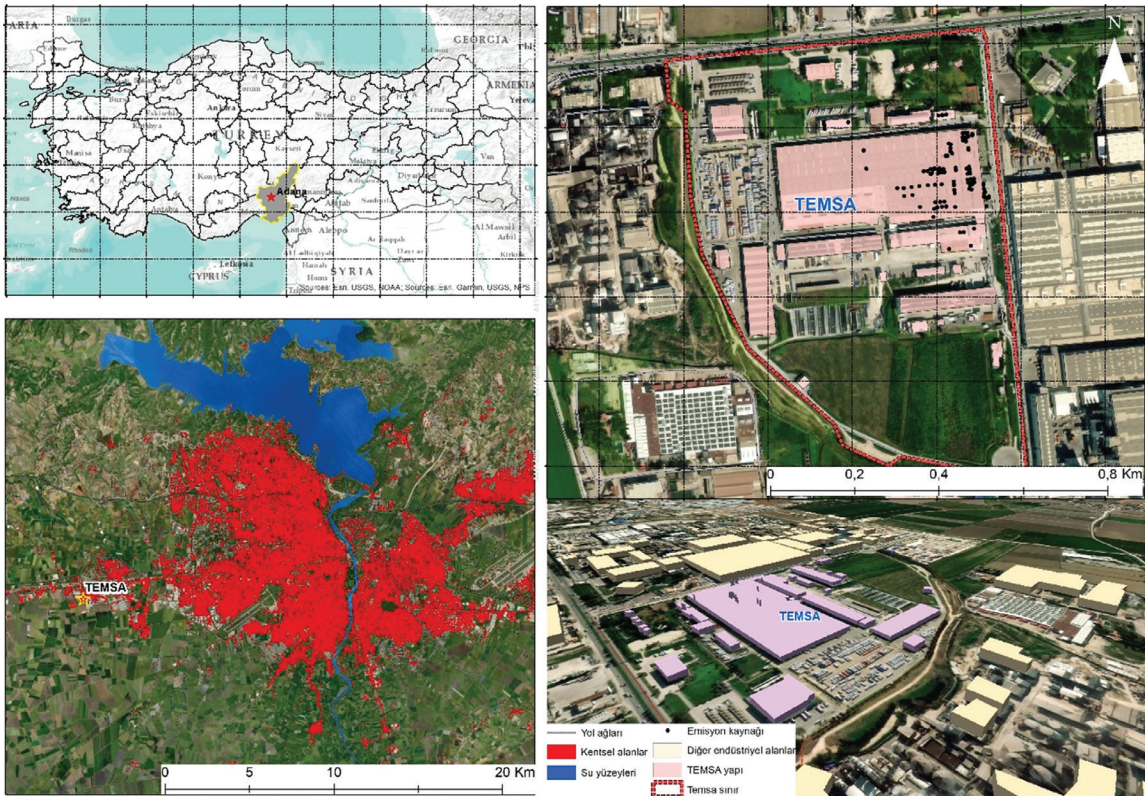
Projenin Amacı

TEMSA Adana Kampüsü için yürütülen "Karbon Ayak İzi Azaltımı ve Karbon Yutağı Oluşturma Projesi", iki ana aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama, karbon ayak izi ve sera gazı emisyonlarının mekânsal dağılımının detaylı bir şekilde hesaplanmasını kapsamaktadır ve bu rapor bu aşamanın sonuçlarını ortaya koymaktadır. Bu süreçte, kampüsün üretim birimlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları, yersel ölçümler, uydu görüntüleri ve iklim verileri kullanılarak analiz edilmiştir. Mekânsal istatistik ve modelleme teknikleri makine öğrenme algoritmalarıyla entegre edilerek farklı düzeylerde (il, kentsel çekirdek ve sanayi bölgesi) ve TEMSA kampüs genelindeki sera gazı emisyonları haritalandırılmış ve zaman içinde emisyonların nasıl değiştiği izlenmiştir. Bu çalışmalar, mevcut emisyonların doğru bir şekilde tespit edilmesini sağlamış ve gelecekteki emisyon senaryolarının öngörülmesi için kritik bir zemin hazırlamıştır.

Projenin ikinci aşamasında ise ilk aşamada hesaplanan emisyonların karbon yutakları ile dengelemesi ve nötrleştirilmesi hedeflenmektedir. Bu süreç, doğal karbon yutakları (ormanlar, bitki örtüsü) ve yapay karbon yutaklarının (yenilikçi mühendislik çözümleri ve düşük karbonlu teknolojiler) tasarımını içerecektir. Ağaçlandırma, yeşil alanların artırılması ve sürdürülebilir peyzaj düzenlemeleri gibi faaliyetler, karbon emisyonlarını dengelemede önemli bir rol oynayacaktır. İkinci aşamanın başarıyla tamamlanması, sadece TEMSA Adana Kampüsü'nün karbon nötr hale gelmesini sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda bölgesel ve küresel ölçekte sanayi kuruluşlarına örnek teşkil edecektir. Karbon emisyonlarının nötralizasyonu, sanayi bölgelerinin çevresel etkilerini minimize etmek ve iklim değişikliği ile mücadelede güçlü bir katkı sağlamak açısından kritik bir aşamadır. Projenin bu kısmının henüz tamamlanmamış olması, özellikle bu aşamanın gerekliliğini ve aciliyetini ön plana çıkarmaktadır. Karbon yutaklarının tasarımı ve devreye alınması, mevcut emisyonların etkilerini hafifletmenin ve uzun vadeli sürdürülebilirliği sağlamanın en etkin yoludur.

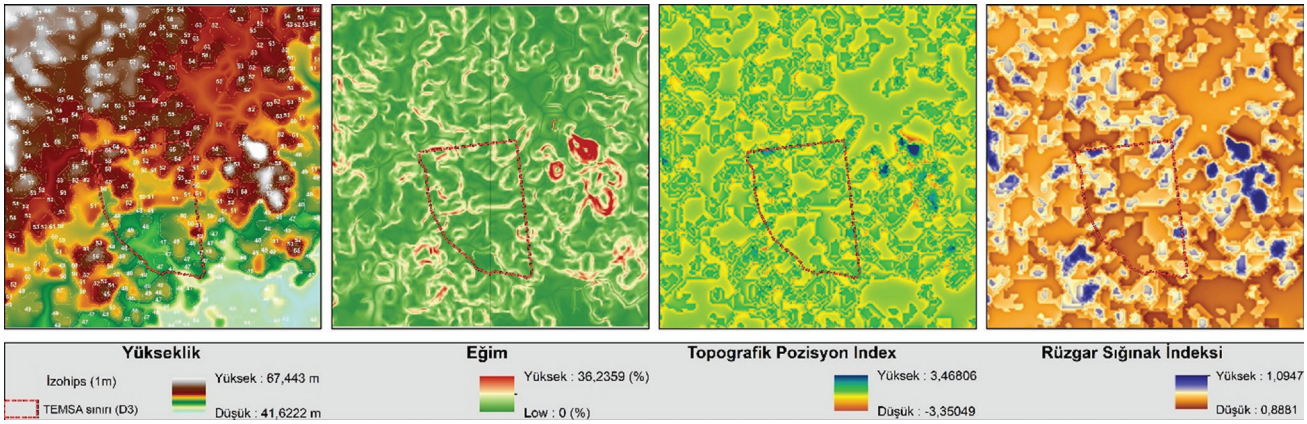
Projenin Alanı

TEMSA Adana Kampüsü, Adana kentsel alanının batı yönünde, yaklaşık 560.000 m^2 alan üzerine kuruludur (Şekil 7). Kampüs alanı içerisinde yaklaşık 136.000 m^2 geçirimli yüzey bulunmaktadır. Kampüs bölgesinin kuzeyinde Mersin Adana karayolu, demiryolu hattı ve yerleşim alanları bulunmaktadır.

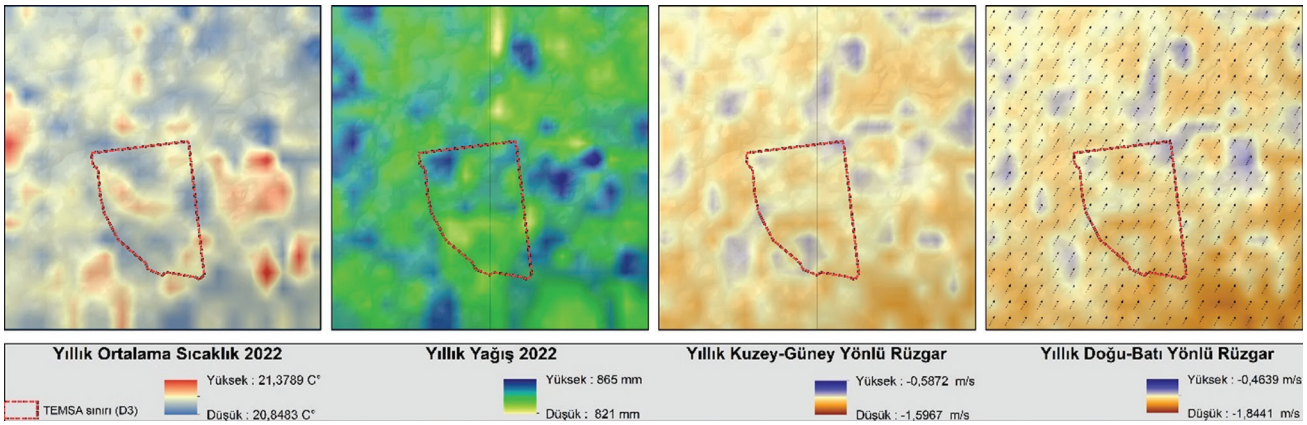


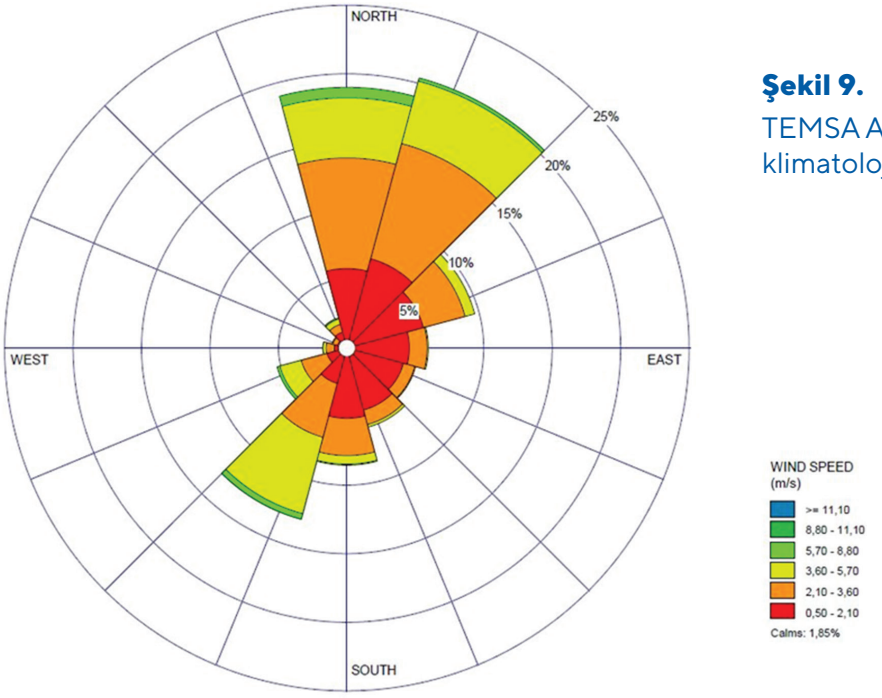
Şekil 7. TEMSA Adana kampüsü coğrafi konumu

Kampüs alanı 42 ile 57 metre arasında yüksekliğe sahip olup, ortalama yüksekliği yaklaşık 49 metre civarındadır. Kampüsün bulunduğu alandaki ortalama eğim %2 ve ortalama Topografik Pozisyonu İndeks değeri sıfırdır (Düz ya da hafif eğimli alanları ifade etmektedir) (Şekil 8). Kampüste hâkim rüzgâr yönü, kuzeydoğu yönünde olup ortalama 2,44 m/s'dir. 2022 yılı verilerine göre ortalama sıcaklığı 20 C° ve toplam 850 mm yağış almaktadır (Şekil 9).



Şekil 8. TEMSA Adana kampüsü topografik özellikler





Şekil 9.
TEMSA Adana kampüsü klimatolojik özellikler

Materyal ve Yöntem

İklim Veri Setinin Hazırlanması

Bu çalışma, Adana ili sınırlarını kapsayan bölge için yüksek çözünürlüklü iklim ve topografik veriler kullanarak iklim değişkenlerinin mekânsal çözünürlüğünü artırmayı ve bu verileri ileri düzey makine öğrenme algoritmalarıyla modellemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, 2022 yılına ait ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) verileri ile ALOS PALSAR verileri entegre edilerek yüksek çözünürlüklü iklim ve topografik analizler gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel ölçek küçültme teknikleri kullanılarak, geniş çözünürlüklü iklim verileri ince mekânsal ölçeklere indirgenmiş ve doğruluğu yüksek bir model elde edilmiştir (Şekil 10).

Veriler ve Modelleme Süreci

İklim Verileri: Çalışmada, ERA5 verileri kullanılarak Adana ili sınırlarını kapsayan bölge için iklim verileri elde edilmiştir. ERA5 verileri, yaklaşık 11 km x 11 km mekânsal çözünürlüğe sahiptir. Veriler, ortalama sıcaklık, yıllık toplam yağış, doğu-batı yönlü rüzgar (U) ve kuzey-güney yönlü rüzgar (V) bileşenlerini içermektedir. Verilerin medyanı alınarak yıllık ortalama değerler elde edilmiş ve bu veriler daha sonra ölçek küçültme işlemi için kullanılmıştır.

Sayısal Yükseklik Modeli (DEM): Yüksek çözünürlüklü topografik analizler için, ALOS PALSAR uydu görüntülerinden Radyometrik Arazi Düzeltmesi uygulanmış veriler kullanılmıştır. ALOS PALSAR verisi, başlangıçta 12.5 m x 12.5 m çözünürlükte olup, kübik yeniden ölçeklendirme yöntemi ile çözünürlüğü 10 m x 10 m olacak şekilde artırılmıştır. Bu yüksek çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) üzerinden çeşitli topografik ve morfometrik analizler gerçekleştirilmiştir.

Topografik ve Morfometrik Analizler: Yüksek çözünürlüklü DEM verisi kullanılarak bölge için aşağıdaki topografik değişkenler üretilmiştir:

- Eğim (Slope)
- Topografik Pozisyon İndeksi (TPI)
- Bakılar Durumu (Aspect)
- Rüzgar Sığınak İndeksi (Wind Shelter Index)
- Arazi Formu (Landform)

Bu topografik değişkenler, mekânsal analizlerde önemli bir rol oynamakta ve iklimsel değişkenlerle birlikte modelleme sürecine dahil edilmiştir.

İstatistiksel Ölçek Küçültme ve Makine Öğrenme: İklim verilerinin mekânsal çözünürlüğünü artırmak için istatistiksel ölçek küçültme teknikleri uygulanmıştır. Yüksek çözünürlüklü topografik değişkenler ve ERA5 iklim verileri, çeşitli makine öğrenme algoritmalarıyla eğitilmiştir. Kullanılan algoritmalar şunlardır:

- Boosted Regression Trees (BRT)
- Generalized Additive Model (GAM)
- Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS)
- Support Vector Machines (SVM)
- Random Forests (RF)
- Neural Networks (NN)

Her bir algoritma, topografik değişkenlerle iklimsel veriler arasındaki ilişkiyi öğrenmiş ve bu veriler temelinde mekânsal modelleme gerçekleştirilmiştir. Tüm modellerin performansları değerlendirilmiş ve en iyi performans gösteren modeller kullanılarak ensemble (birleştirilmiş) bir model oluşturulmuştur. Ensemble model için thin-plate spline yöntemi uygulanarak nihai sonuçlar elde edilmiştir.

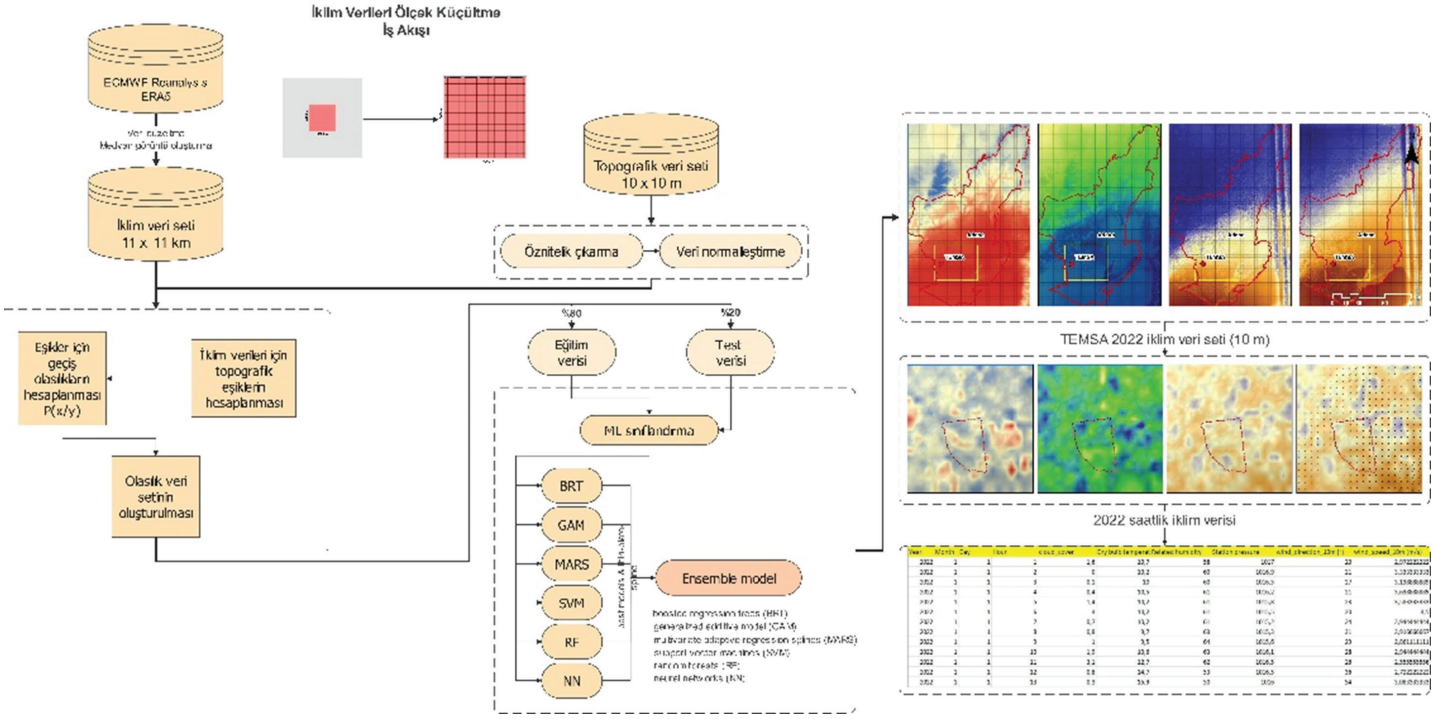
Ensemble model, toplam doğruluk oranı %95'in üzerinde olacak şekilde doğrulanmış ve iklim verilerinin mekânsal çözünürlüğü 10 m x 10 m seviyesine indirgenmiştir.

İstatistiksel Ölçek Küçültmenin Önemi:

İstatistiksel ölçek küçültme, geniş ölçekli iklim verilerinin ince mekânsal çözünürlüklerde yeniden modellenmesini sağlayan önemli bir tekniktir (Wilby et al., 2004). Geniş ölçekli iklim modelleri genellikle düşük mekânsal çözünürlükte veri sağlarken, yerel ölçeklerde daha detaylı analizler yapabilmek için bu verilerin çözünürlüğünü artırmak gerekebilir. Bu tür çalışmalar, özellikle yerel yönetimlerin ve sanayi kuruluşlarının, bölgesel iklim etkilerini ve risklerini daha doğru bir şekilde değerlendirmelerine olanak tanır. Çalışmada kullanılan ölçek küçültme teknikleri, yüksek çözünürlüklü topografik değişkenler ve ileri düzey makine öğrenme algoritmalarıyla desteklenmiş, bu sayede doğruluğu yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuçlar:

Çalışma sonunda, ERA5 verilerinin mekânsal çözünürlüğü 10 m x 10 m seviyesine indirilmiş ve elde edilen sonuçlar Adana ili sınırları içerisindeki iklim değişkenlerinin detaylı mekânsal dağılımını ortaya koymuştur. Bu yöntemle oluşturulan model, toplam doğruluk oranı %95'in üzerinde olan güvenilir sonuçlar sunmuştur. Bu yaklaşım, yerel iklim verilerinin daha ayrıntılı analiz edilmesini sağlamakta ve gelecekteki iklim risklerinin öngörülmesi için önemli bir araç oluşturmaktadır.



Şekil 10. İklim veri setinin oluşturulması ve ölçek küçültme

Sera Gazı Emisyon Veri Setinin Oluşturulması ve Ölçek Küçültme:

Bu aşamada, Aralık 2022 tarihini kapsayan, zamansal çözünürlüğü 1 saat ve mekânsal çözünürlüğü yaklaşık 10 km olan CAMS European air quality forecasts surface verileri ile mekânsal çözünürlüğü 10 metre olan ve proje kapsamında oluşturulmuş kentsel alan, yol ağlarına uzaklık, sanayi alanlarına uzaklık ve NDVI gibi arazi kullanımı/örtüsü verileri kullanılmıştır.

Sera gazı emisyon veri setinin mekânsal çözünürlüğünü artırmak için istatistiksel ölçek küçültme teknikleri uygulanmıştır. Yüksek çözünürlüklü arazi kullanımı değişkenleri ve CAMS European air quality forecasts surface hava kalitesi verileri, Boosted Regression Trees (BRT), Generalized Additive Model (GAM), Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS), Support Vector Machines (SVM), Random Forests (RF),Neural Networks (NN) gibi çeşitli makine öğrenme algoritmalarıyla eğitilmiştir.

Her bir algoritma, LULC değişkenleriyle hava kalitesi verileri arasındaki ilişkiyi öğrenmiş ve bu temelde mekânsal modelleme gerçekleştirilmiştir. Tüm modellerin performansları değerlendirilmiş ve en iyi performans gösteren modeller kullanılarak ensemble (birleştirilmiş) bir model oluşturulmuştur. Ensemble model için thin-plate spline yöntemi uygulanarak nihai sonuçlar elde edilmiştir. Ensemble model, toplam doğruluk oranı ortalama %97'in üzerinde olacak şekilde doğrulanmış ve Sera gazı emisyon veri verilerinin mekânsal çözünürlüğü araştırma birim ölçeğine indirgenmiştir.

Gauss Dispersion Model-TEMSA Sera Gazı Emisyonunun Mekânsal Modelinin Oluşturulması

Bu çalışma kapsamında, TEMSA Adana Kampüsü'ndeki emisyonların mekânsal dağılımını modellemek amacıyla Gauss Dispersion Modeli kullanılmıştır. Bu model, özellikle atmosferde yayılan kirleticilerin konsantrasyonlarının tahmini için yaygın olarak tercih edilen bir yaklaşımdır ve atmosferdeki kirletici taşınımını anlamak için temel bir yöntemdir (Hanna, Briggs, Hosker, 1982). Gauss Dispersion Modeli, kirleticilerin atmosferik taşınımı ve yayılımını belirlemek için meteorolojik koşulları ve kaynak parametrelerini dikkate alarak, zamansal ve mekânsal dağılımı matematiksel olarak tahmin eder. Bu model, homojen ve kararlı atmosferik koşullar altında ideal bir gauss dağılımı öngörür ve kirleticilerin belirli bir kaynak noktasından yayıldıktan sonra rüzgar ve atmosferik difüzyon etkisiyle nasıl dağıldığını analiz eder.

Gauss Dispersion Modeli, temel olarak aşağıdaki genel denkleme dayanır:

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right]$$

Burada;

C(x, y, z): Kirletici konsantrasyonu (mg/m^3)

Q: Kirletici emisyon oranı (g/s)

σy, σz: Yatay ve dikey yöndeki dağılım parametreleri (m)

u: Yatay rüzgar hızı (m/s)

H: Kaynağın çıkış yüksekliği (m)

x, y, z: Kaynaktan uzaklık ve yükseklik (m).

Çalışmada kullanılan parametreler, TEMSA Adana Kampüsü'ndeki sanayi tesislerinden ölçülen emisyon verilerine dayanmaktadır. Emisyon kaynakları için Temel yükseklik, Baca yüksekliği, Baca çapı, Gaz çıkış şiddeti ve Emisyon oranı (g/s) gibi bilgiler toplanmış, aynı zamanda meteorolojik koşullar göz önüne alınarak Bulutluluk oranı, Kuru termometre sıcaklığı, Bağıl nem, Açık hava basıncı, Rüzgâr yönü ve Rüzgâr hızı gibi değişkenler de modele entegre edilmiştir.

Modelde Kullanılan Veriler:

CO, NO, NO_2, SO_2 ve Toz emisyonları: Bu kirleticiler Aralık 2022 tarihinde saatlik ortalama değerler olarak ölçülmüş olup, her bir kirleticinin mekânsal dağılımı için giriş verisi olarak kullanılmıştır. Meteorolojik veriler: 2022 yılı boyunca saatlik olarak toplanan bulutluluk oranı, sıcaklık, bağıl nem, açık hava basıncı, rüzgar yönü ve rüzgar hızı, kirleticilerin atmosfere yayılımında önemli faktörlerdir ve modelin hesaplamalarına dahil edilmiştir.

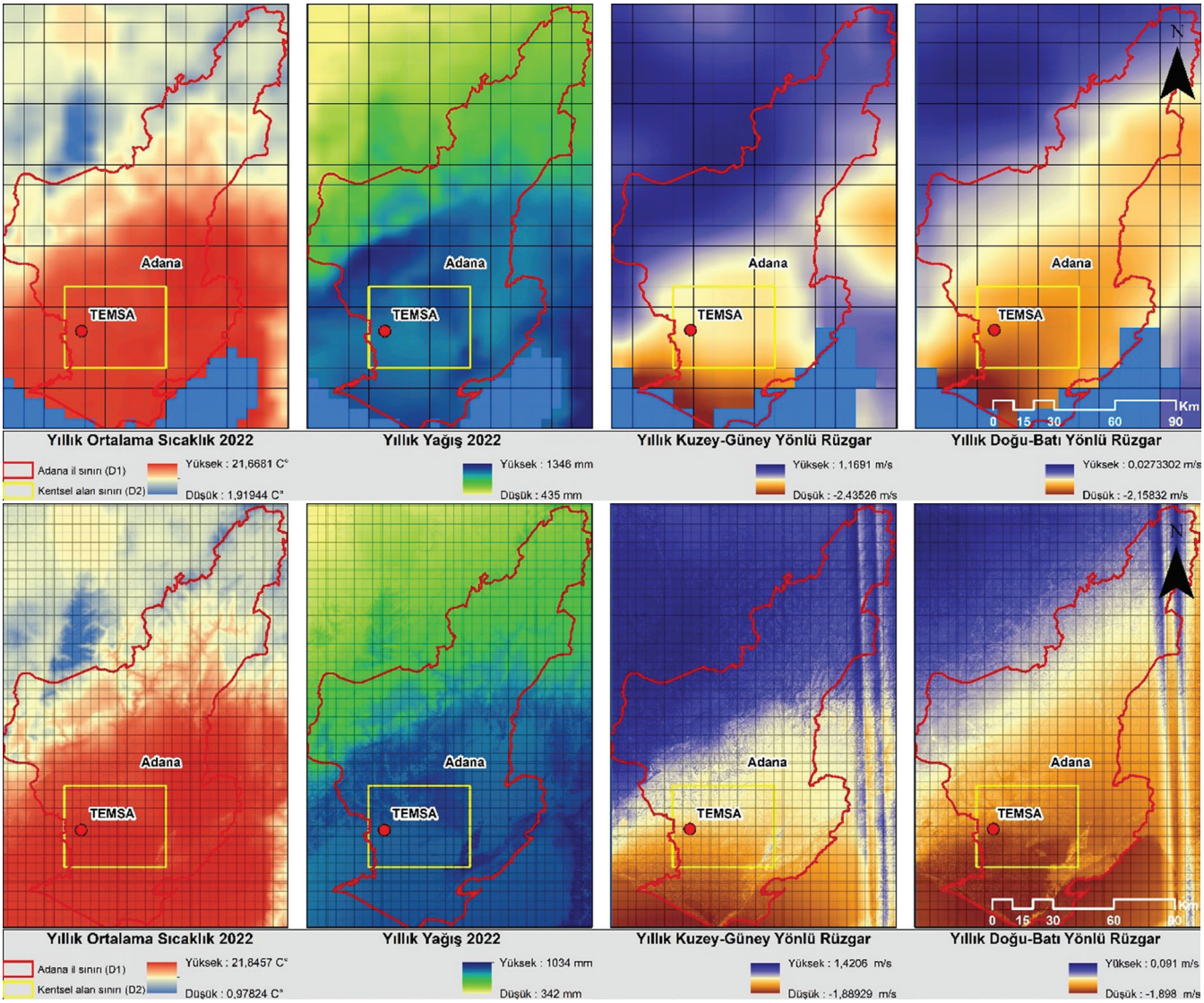
Modelleme Süreci: Modelde, CO, NO, NO_2, SO_2 ve toz emisyonlarının 4 saatlik, 8 saatlik, 24 saatlik, aylık ve yıllık dağılımları mekânsal olarak analiz edilmiştir. R programı kullanılarak oluşturulan kodlar, Gauss Dispersion Modeli'nin temel denklemlerini kullanarak her bir kirletici için belirlenen süre dilimleri içerisindeki konsantrasyonları (mg/m^3) hesaplamış ve mekânsal dağılım haritaları üretmiştir. Bu haritalar, kampüs içindeki kirletici yoğunluklarının mekânsal ve zamansal değişimlerini görselleştirmiştir.

Modelleme sürecinde, meteorolojik değişkenlerin etkisiyle emisyonların yatay ve dikey dağılımları hesaplanmıştır. Rüzgâr hızı ve yönü, kirleticilerin yayılma yönünü ve mesafesini belirlerken, atmosferik stabilite koşulları (örneğin bulutluluk oranı, sıcaklık farkları) yayılma dinamiklerini etkileyen önemli faktörlerdir. Her bir kirletici için hesaplanan sonuçlar, mekânsal dağılımı gösteren haritalarla görselleştirilmiş ve kampüs içerisindeki farklı bölgelerdeki konsantrasyonların karşılaştırılması sağlanmıştır.

Karbon Ayak İzi Azaltımı ve Karbon Yutağı Oluşturma Projesi Bulguları

Bölgesel İklim Verileri

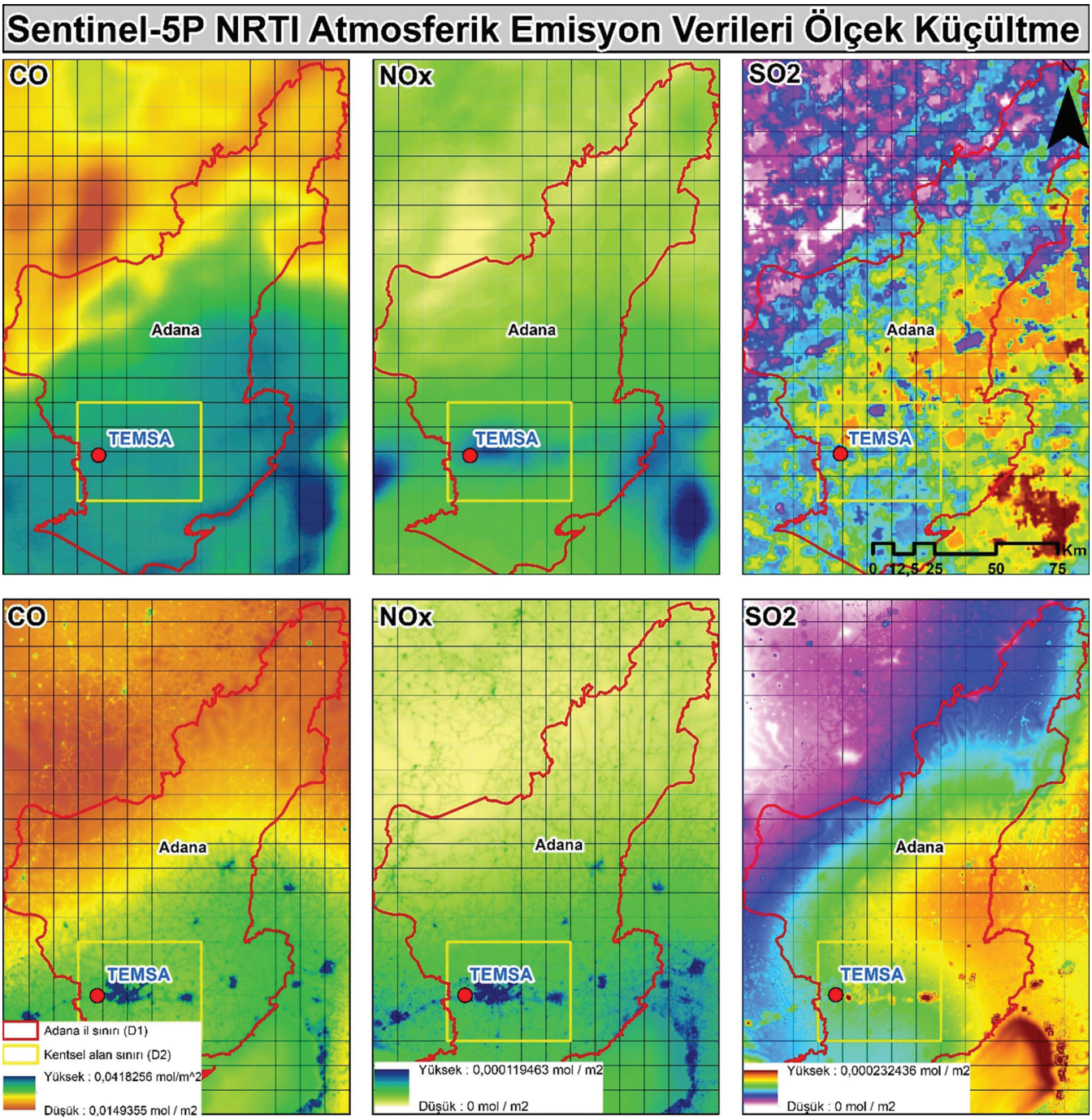
Araştırmanın gerçekleştirilmesinde ve sera gazının modellenmesinde sıcaklık, yağış ve rüzgar şiddeti gibi iklim veri setleri kullanılmaktadır. Bu kapsamda araştırma alanını içerisine alan Adana il sınırları içerisinde yüksek mekânsal çözünürlükte ve 1 saatlik zamansal çözünürlükte iklim veri setleri oluşturulmuştur (Şekil 11). Gauss dispersion modelde kullanılan saatlik iklim veri seti csv formatta ekte sunulmuştur.



Şekil 11. Yüksek çözünürlüklü iklim veri seti

Atmosferik Sera Gazı Emisyon Dağılım Modelleri

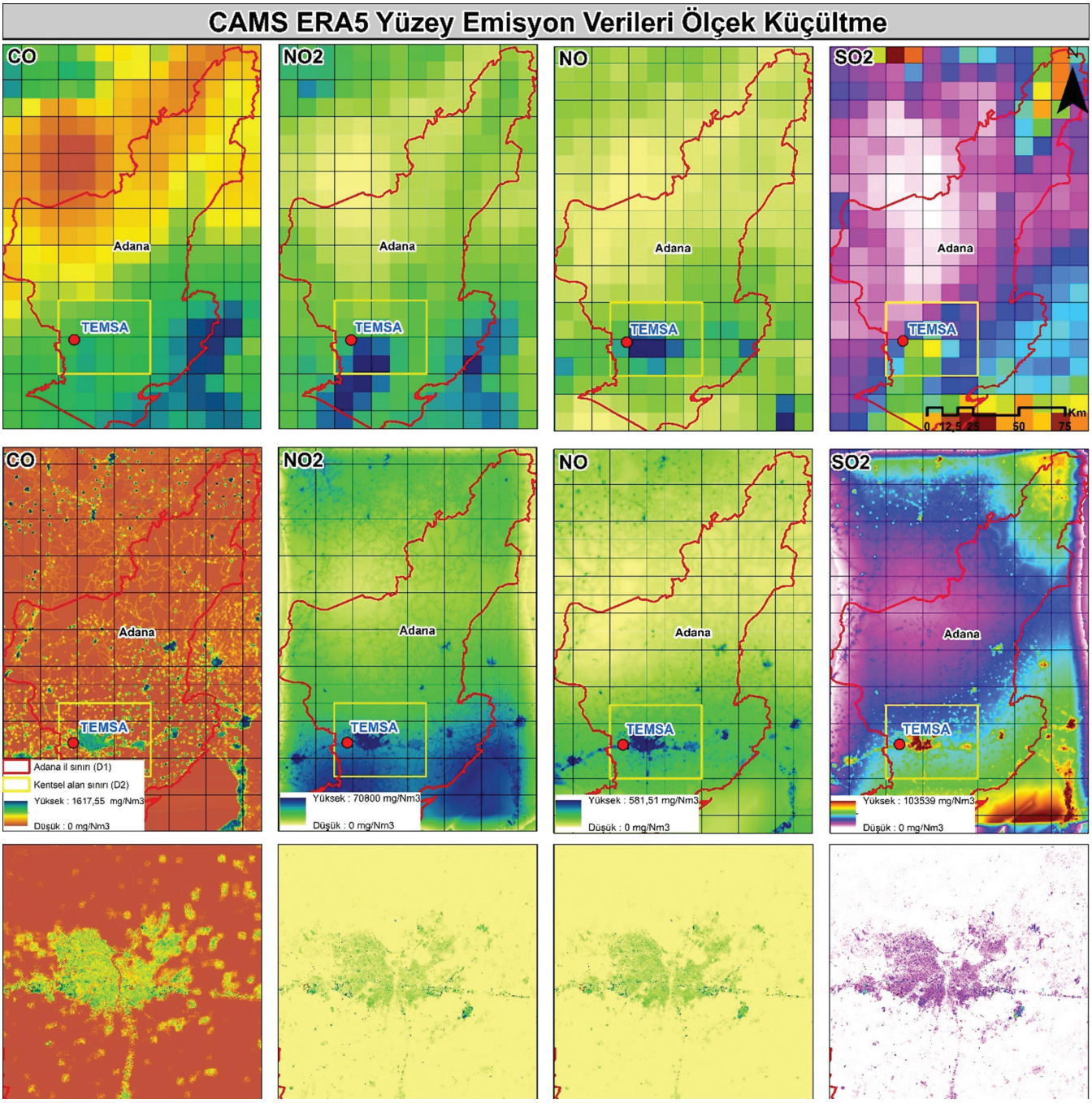
Araştırmanın gerçekleştirilmesinde, yüzey sera gazının modellenmesinde ve üretilen veri setinin kalibrasyonu için atmosferik sera gazı dağılımı veri seti istatistiksel ölçek küçültme teknikleri kullanılarak modellenmiştir (Şekil 12). Elde edilen atmosferik sera gazı dağılım modelleri yüzey emisyon haritalarının oluşturulmasında girdi veri seti olarak kullanılmıştır.



Şekil 12. Yüksek çözünürlüklü atmosferik sera gazı emisyonu

Yüzey Sera Gazı Emisyon Dağılım Modelleri

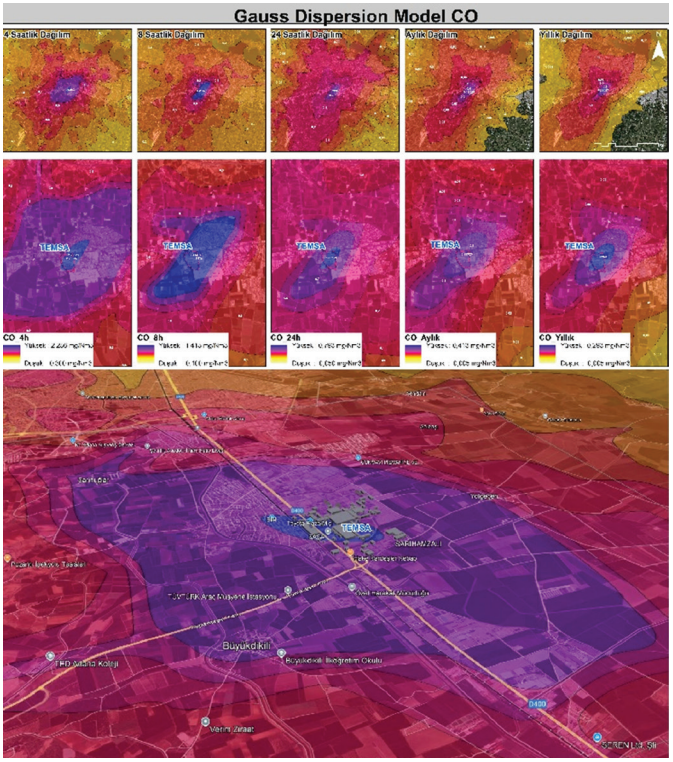
Araştırmanın kapsamında TEMSA ve TEMSA'nın bulunduğu bölge arasındaki emisyon ilişkisinin çözümlenmesi için yüksek çözünürlüklü yüzey sera gazı modellenmiştir (Şekil 13). Elde edilen sera gazı dağılım modelleri yersel ölçümlerden elde edilen emisyon veri setleri ile doğrulanarak Gauss dağılım modeli oluşturulmuştur.



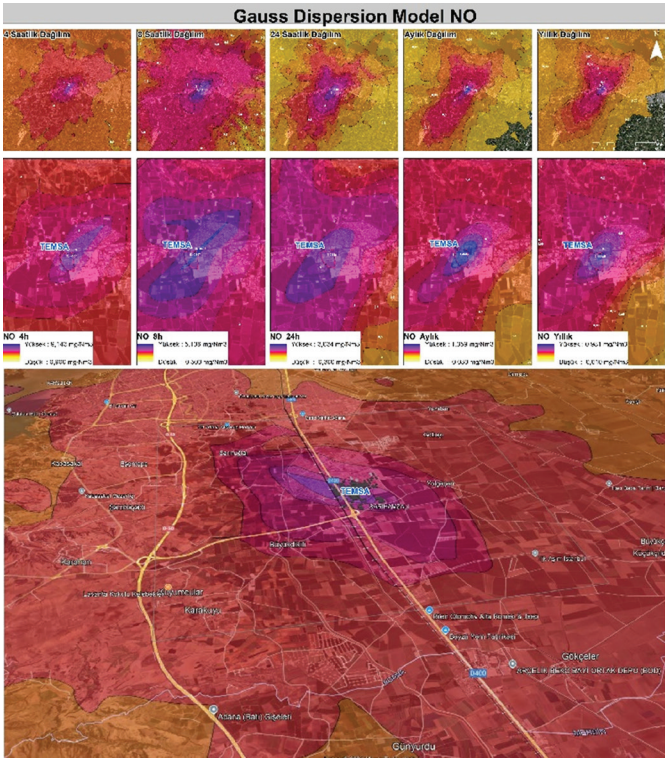
Şekil 13. Yüksek çözünürlüklü yüzey sera gazı emisyon dağılımı

Gauss Dispersion Model

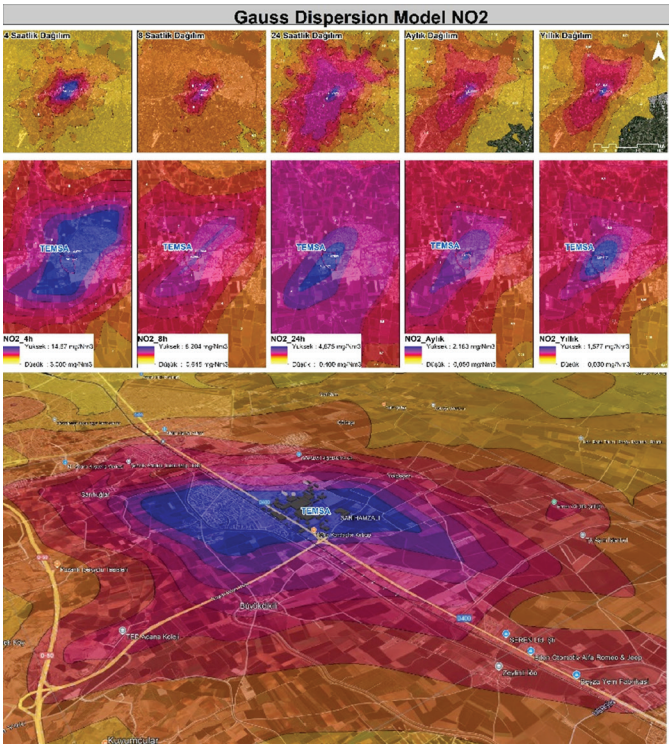
Gauss Dispersion Modeli, özellikle sanayi tesisleri gibi noktasal kaynaklardan yayılan kirleticilerin atmosfere yayılımını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan bir modeldir. Bu model, hem regülasyon hem de çevresel etki değerlendirme çalışmalarında önemli bir yer tutmaktadır (Turner, 1994). Özellikle rüzgar hızına, yönüne ve atmosferik kararlılık sınıflarına dayanan hesaplamalar, kirleticilerin kısa ve uzun mesafelerdeki dağılımlarını tahmin etmek için kullanılır. Ayrıca, bu modelin basitliği ve hesaplama kolaylığı, geniş veri setleri ile çalışırken etkin bir şekilde kullanılmasına olanak tanır. Gauss Dispersion Modeli'nin bu çalışmada kullanılması, TEMSA Adana Kampüsü'nde çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve emisyon kontrol stratejilerinin belirlenmesi açısından kritik bir adım olmuştur. Bu tür modeller, kirleticilerin çevresel etkilerini öngörmek, hava kalitesi yönetim planları geliştirmek ve sanayi kaynaklı emisyonların kontrolü için stratejiler oluşturmak adına vazgeçilmez bir araçtır. Ayrıca, model sonuçları, kampüs içindeki karbon ayak izi azaltımına yönelik tasarım ve planlama stratejilerinin belirlenmesinde kullanılacak verileri sağlamıştır (Şekil 14, 15, 16, 17, 18).



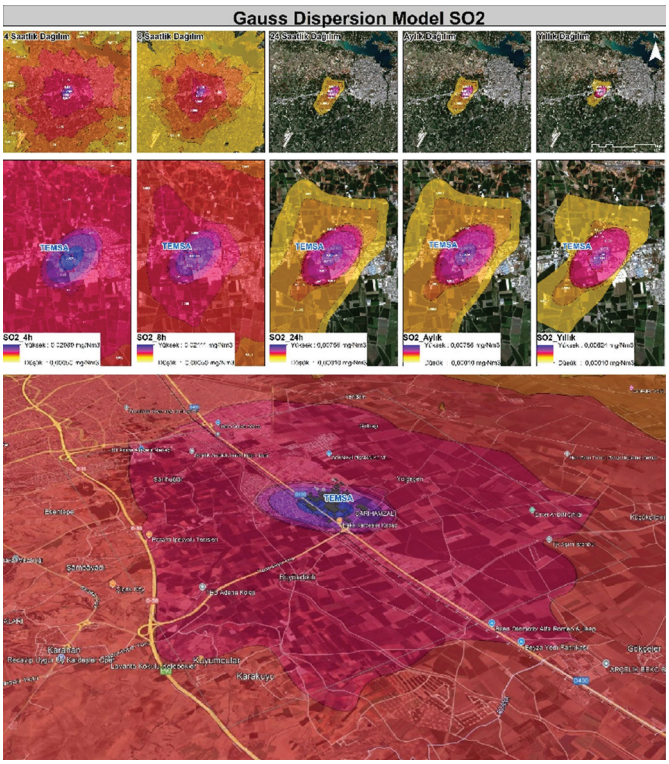
Şekil 14.
Gauss Dispersion Model TEMSA-CO mekânsal dağılım



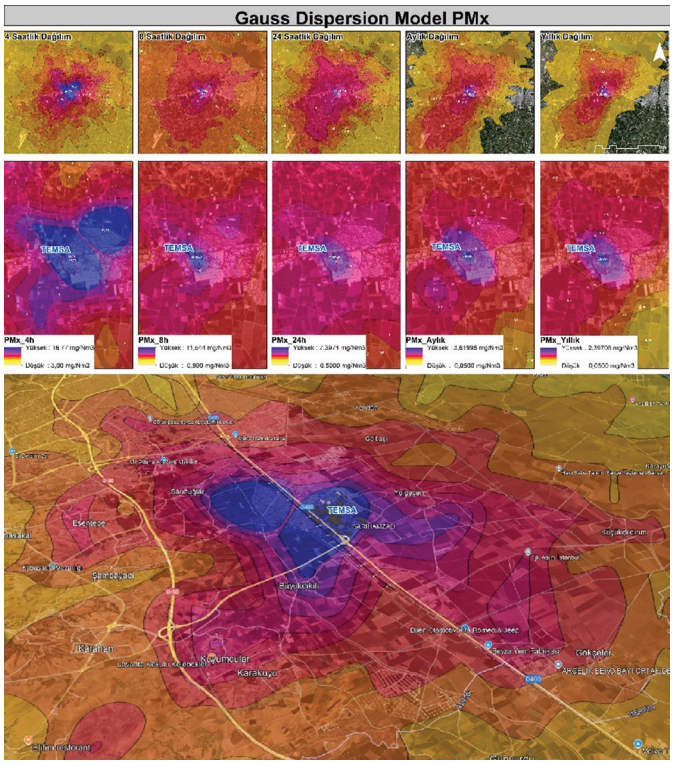
Şekil 15.
Gauss Dispersion Model TEMSA-NO mekânsal dağılım



Şekil 16.
Gauss Dispersion Model TEMSA-NO_2 mekânsal dağılım



Şekil 17.
Gauss Dispersion Model TEMSA-SO_2 mekânsal dağılım



Şekil 18.
Gauss Dispersion Model TEMSA-PMx mekânsal dağılım

Proje Sonuçları: Karbon Ayak İzi Azaltımı ve Karbon Nötr Stratejiler

"Karbon Ayak İzi Azaltımı ve Karbon Yutağı Oluşturma Projesi: TEMSA Adana Kampüsü için Karbon Nötr Tasarım Kodları" projesi, dört düzeyde gerçekleştirilmiş ve her düzeyde farklı mekânsal ve zamansal analizler yapılmıştır:

1. Düzey: Adana İl Sınırları Kapsamındaki Çalışmalar

Bu düzeyde, uzaktan algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve mekânsal istatistik teknikleri kullanılarak, atmosferik emisyon analizleri, topografik analizler, iklim veri seti ve yüzey emisyon veri seti oluşturulmuştur. Farklı kaynaklardan elde edilen veri setleri, istatistiksel ölçek küçültme algoritmaları ile düzenlenmiş ve mekânsal çözünürlük artırılmıştır. Bu aşamada, iklim ve topografik verilerin yanı sıra yüzey emisyon verileri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

2. Düzey: Adana Ana Kentsel Çekirdeği

Bu düzeyde, Adana'nın ana kentsel çekirdeği olan 2000 km^2'lik alan üzerine odaklanılmıştır. Çalışma birim ölçeği olan 10 x 10 metre çözünürlük ile tüm veri seti yeniden düzenlenmiştir. CAMS yüzey emisyon verileri ve TEMSA'ya ait emisyon değerleri ile ilişkiler değerlendirilmiş, mekânsal istatistik analizleri ile bu veri setleri yeniden modellenmiştir.

2. Düzeyde Öne Çıkan Bulgular

CO oranı: Düzey 2'deki ortalama CO miktarı 228 mg/Nm^3 olarak hesaplanmıştır. Bu bölgedeki toplam CO miktarı ise yaklaşık 4,57 milyar mg/Nm^3'tür. TEMSA'nın bu düzeydeki CO katkısı, on milyonda 5 olarak belirlenmiştir.

NO oranı: Bölgedeki NO ortalaması on binde 2 olup, toplam NO miktarı 370.690 mg/Nm^3'tür. TEMSA'nın bu düzeydeki azot oksit katkısı %0,2'dir.

NO_2 oranı: NO_2 ortalaması 3,75 mg/Nm^3 olup, toplam NO_2 miktarı 75 milyon mg/Nm^3'tür. TEMSA'nın bu bölgedeki NO_2 katkısı yüz binde 2 olarak hesaplanmıştır.

SO_2 oranı: SO_2 ortalaması 4,15 mg/Nm^3, toplam SO_2 miktarı ise 83 milyon mg/Nm^3'tür. TEMSA'nın SO_2 katkısı on milyonda 1 olarak hesaplanmıştır.

3. Düzey: TEMSA Kampüsü ve Çevresindeki Sanayi Alanı

Bu düzeyde, uzaktan algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve mekânsal istatistik teknikleri kullanılarak, atmosferik emisyon analizleri, topografik analizler, iklim veri seti ve yüzey emisyon veri seti oluşturulmuştur.

3. Düzeyde Öne Çıkan Bulgular

CO katkısı: TEMSA'nın Düzey 3 bölgesindeki CO katkısı milyonda 1 olarak belirlenmiştir.

NO katkısı: TEMSA'nın NO katkısı, bu düzeyde %7 olarak hesaplanmıştır.

NO_2 katkısı: NO_2 katkısı binde 15 olarak belirlenmiştir.

SO_2 katkısı: SO_2 katkısı ise on milyonda 7 olarak hesaplanmıştır.

4. Düzey: GAUSS Dispersion Modeli ve Karbon Nötr Stratejiler

Bu düzeyde, GAUSS dispersion modeli kullanılarak, TEMSA'nın emisyonlarının mekânsal dağılımı çeşitli zaman dilimlerinde (1 saat, 4 saat, 8 saat, 24 saat, aylık ve yıllık) modellenmiştir. Ayrıca bu düzeyde, TEMSA'nın 1 yıllık karbon ayak izi hesaplanmış ve karbon nötr stratejiler geliştirilmiştir. Bu modelleme sonuçları, karbon nötr stratejilerin oluşturulmasına önemli katkılarda bulunmuş ve TEMSA'nın sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda emisyon azaltım planlarının oluşturulmasında kullanılmıştır.

Mekânsal Modeller

Bu projede, TEMSA Adana Kampüsü ve çevresindeki emisyonların modellenmesi için kapsamlı mekânsal modeller geliştirilmiştir. Uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemleri (CBS), mekânsal istatistikler ve makine öğrenme algoritmaları gibi modern teknikler kullanılarak yüksek doğrulukta mekânsal veri setleri üretilmiştir. Projede kullanılan başlıca veri kaynakları arasında ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) iklim verileri, ALOS PALSAR sayısal yükseklik modelleri, ve CAMS yüzey emisyon verileri bulunmaktadır. Bu veriler, farklı mekânsal çözünürlüklerde olup, istatistiksel ölçek küçültme teknikleri kullanılarak çalışma alanına uyarlanmıştır.

Mekânsal modelleme sürecinde, Boosted Regression Trees (BRT), Generalized Additive Model (GAM), Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS), Support Vector Machines (SVM), Random Forests (RF) ve Neural Networks (NN) gibi makine öğrenme algoritmaları entegre edilmiştir. Bu algoritmalar, çeşitli çevresel ve topografik değişkenler kullanılarak eğitilmiş ve ensemble model ile birleştirilmiştir. Özellikle thin-plate-spline yöntemi ile gerçekleştiren ölçek küçültme işlemi sonucunda, iklim ve emisyon verileri 10 x 10 metre mekânsal çözünürlüğe indirgenmiştir. Bu yüksek çözünürlüklü veri setleri, Adana il sınırlarını kapsayan geniş bir alanda atmosferik emisyonların detaylı mekânsal analizlerine olanak sağlamıştır.

Çalışma kapsamında üretilen bu mekânsal modeller, Gauss dispersion modeli kullanılarak CO, NO, NO2, SO2 ve toz gibi kirleticilerin farklı zamansal ölçeklerde (1 saat, 4 saat, 8 saat, 24 saat, aylık ve yıllık) mekânsal dağılımlarını modellemiştir. Bu modeller, yüksek doğruluk oranlarıyla (%95'in üzerinde) elde edilmiş olup, proje genelinde atmosferik emisyonların ve karbon ayak izinin detaylı analizini mümkün kılmıştır.

Mekânsal modellerin doğruluğu ve güvenilirliği, kullanılan algoritmaların ve veri kaynaklarının kalitesi sayesinde sağlanmış olup, proje sonunda karbon nötr stratejilerin geliştirilmesine önemli katkılar sağlamıştır. Uzaktan algılama teknikleri ve makine öğrenme algoritmaları, bu projede emisyonların detaylı olarak haritalanmasını ve analiz edilmesini mümkün kılarak, karbon yutaklarının oluşturulması ve karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik stratejik yaklaşımlar geliştirilmesinde hayati bir rol oynamıştır.

Karbon Ayak İzi

Karbon Monoksit (CO) - 2,3 ton/yıl: Bu miktar, otomotiv üretim tesisleri için düşük bir seviyedir. CO emisyonları genellikle yanma süreçlerinden kaynaklanır. Eğer fabrikanın emisyon kontrol sistemleri etkili ise, bu düşük seviye makul olabilir.

Azot Oksitler (NO) - 9,3 ton/yıl ve NO2 - 15,8 ton/yıl: NO ve NO2, genellikle yüksek sıcaklıkta yanma süreçlerinden ve motor testlerinden kaynaklanır. Bu değerler, otomotiv üretim tesislerinde kullanılan enerji türüne ve yanma verimliliğine bağlı olarak değişebilir. Eğer NO ve NO2 seviyeleri yüksekse, bu, fabrikada kullanılan enerji kaynaklarının veya yanma sistemlerinin iyileştirilmesi gerektiğine işaret edebilir.

Kükürt Dioksit (SO2) - 0,0016 ton/yıl: Bu çok düşük bir değerdir. SO2, genellikle fosil yakıtların yanmasından kaynaklanır ve düşük bir emisyon seviyesi, temiz enerji kaynaklarının kullanıldığını veya etkili emisyon kontrol sistemlerinin mevcut olduğunu gösterebilir.

Toz - 11,2 ton/yıl: Bu miktar, genellikle üretim süreçlerinde toz oluşumundan kaynaklanır. Boyama ve kaplama işlemlerinde toz emisyonları olabilir, ancak bu miktar, tesisin üretim hacmine ve toz kontrol önlemlerine bağlı olarak değişebilir. Eğer toz emisyonları yüksekse, hava filtrasyon sistemlerinin ve toz kontrol önlemlerinin gözden geçirilmesi gerekebilir.

Genel olarak, verilen emisyon değerleri, tesisin çevre düzenlemelerine uygun olduğunu ve etkili emisyon kontrol sistemlerine sahip olduğunu gösterebilir. Ancak, yüksek NO ve NO2 seviyeleri, enerji kaynakları ve yanma sistemlerinin değerlendirilmesini gerektirebilir. Her durumda, tesisin emisyon değerlerinin uygun olup olmadığını belirlemek için yerel çevre düzenlemeleri ve standartlarla karşılaştırma yapmak önemlidir.

Karbon Ayak İzi Hesaplama Adımları

Emisyonları CO_2 Eşdeğerine Çevirme: Karbon ayak izini hesaplamak için her emisyon bileşeninin CO_2 eşdeğeri (CO_2e) hesaplanır. Bu işlem, her bileşenin global ısınma potansiyelini (GWP) kullanarak yapılır. İşte yaygın olarak kullanılan GWP değerleri:

Karbon Monoksit (CO): GWP değeri genellikle 1 olarak kabul edilir.

Azot Oksitler (NO ve NO_2): GWP değeri genellikle 298'dir.

Kükürt Dioksit (SO_2): GWP değeri genellikle 0 olarak kabul edilir çünkü doğrudan bir ısınma etkisi yoktur.

Hesaplama: Her emisyon türü için CO_2 eşdeğerini hesaplamak için emisyon miktarını GWP değeri ile çarpın.

Karbon Monoksit (CO): 2,3 ton/yıl × 1 = 2,3 ton CO_2e

Azot Oksitler (NO): 9,3 ton/yıl × 298 = 2.773,4 ton CO_2e

Azot Dioksit (NO_2): 15,8 ton/yıl × 298 = 4.710,4 ton CO_2e

Kükürt Dioksit (SO_2): 0,0016 ton/yıl × 0 = 0 ton CO_2e

Toplam CO_2 eşdeğeri:2,3+2.773,4+4.710,4+0=7.486,1 ton CO_2e/yıl 2,3 + 2.773,4 + 4.710,4 + 0 = 7.486,1 ton CO_2e/yıl} 2,3+2.773,4+4.710,4+0=7.486,1 ton CO_2e/yıl

Kaynaklar

World Meteorological Organization (WMO). (2002). Introduction to Climate Change: Lecture Notes for Meteorologists.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Global Warming of 1.5°C: IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty. Cambridge: Cambridge University Press.

UNFCCC. (2021). Nationally Determined Contributions Under the Paris Agreement. IEA. (2020). World Energy Outlook 2020.

Met Office Hadley Centre (2024) – processed by Our World in Data. "Lower" [dataset]. Met Office Hadley Centre, "HadCRUT5 HadCRUT.5.0.2.0" [original data]. CO_2 and Greenhouse Gas Emissions - Our World in Data

Global Carbon Budget (2023); Population based on various sources (2023) – with major processing by Our World in Data. "Annual CO_2 emissions (per capita) – GCB" [dataset]. Global Carbon Project, "Global Carbon Budget"; Various sources, "Population" [original data]. CO_2 and Greenhouse Gas Emissions - Our World in Data

Destekleri için teşekkür ederiz,
Doç Dr. Serhat Cengiz

TEMSA

temsa.com