



# Farklı Yeşil Alan Oranlarının Dış Mekân Termal Konfora Etkisinin Envi-Met Analizi ile Belirlenmesi: Erzurum Örneği

**Başak ERTEM MUTLU<sup>1\*</sup>** , **Sevgi YILMAZ<sup>1</sup>** 

<sup>1</sup>Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Erzurum, TÜRKİYE

**Öz:** İklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin daha da arttığı günümüzde bir kış kenti olan Erzurum için farklı yeşil alan oranlarının mikro-iklime ve dış mekân termal konforuna etkisi incelenmiştir. Çalışma alanı olarak Erzurum kentinin yeni yerleşim yerlerinden Yıldızkent semti belirlenmiştir. Alanda mikro-iklim verileri Davis Vantage Pro-2 iklim cihazı ile bir yıl süre ile saatlik olarak ölçülmüştür. Yıldızkent imar planı içindeki bu alanda 5 farklı oranda yeşil alan miktarını artırma senaryoları oluşturulmuştur. Bunlar; %10, %20, %30, %40 ve %50 yeşil alan oranını içermektedir. Mevcut durum ile toplamda 6 farklı senaryonun simülasyonu 2021 yılının en sıcak (yaz ayı) ve en soğuk (kış ayı) zaman dilimi için ENVI-met BIO+Science programı ile dış mekân termal konforu modellenmiştir. Yeşil alan senaryolarından hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgâr hızı verileri tüm senaryolarda mevcut duruma göre farklılık göstermezken, ortalama radyan sıcaklık ( $T_{mrt}$ )'da %10 yeşil alan oranı senaryosu ve fizyolojik eşdeğer sıcaklık (FES)'da ise %30 yeşil alan oranı senaryosu hem kış hem de yaz aylarında olumlu sonuçlar vermiştir. %10 yeşil alan oranında  $T_{mrt}$  kış ayı için mevcut duruma göre 0.2 °C artmış, yaz ayı için de ortalama 0.2 °C düşmüştür. FES analizlerinde ise, kış ayı tüm senaryoları benzer sonuçlar verirken, yaz ayında %30 yeşil alan oranında FES mevcut duruma göre 0.3 °C azalmıştır. Çalışma sonucunda yeşil alan oranının artırılmasının mikro-iklim üzerinde pozitif katkı sağladığı ve dış mekân termal konforunda farklılıklar getirdiği belirlenmiştir. Ancak bu tip çalışmalarda sağlıklı sonuç elde edebilmek için mikro-iklim özelliği farklı olan her bir alan için ayrı ayrı simülasyon analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmanın sonuçları mahalle ölçeğinde yapılacak çalışmalara yön gösterecek olup, peyzaj tasarımlarında %30 oranında yeşil alan yapılması iklim açısından olumlu sonuçlar vermektedir.

**Anahtar kelimeler:** FES, dış mekân termal konfor, ENVI-met, yeşil alan oranları

**Determining the Effect of Different Green Area Ratios on Outdoor Thermal Comfort By Envi-Met Analysis: The Example of Erzurum**

**Abstract:** Climate change has been intensifying its adverse effects, especially in today's world, prompting an examination of the impact of varying green space ratios on microclimate and outdoor thermal comfort for Erzurum, a winter city. The study area was determined as the Yıldızkent district, one of the new settlements in the city of Erzurum. Microclimate data in the area were measured hourly for one year using the Davis Vantage Pro-2 weather station. Within the Yıldızkent zoning plan, five scenarios were created to increase the green space ratio, namely 10%, 20%, 30%, 40%, and 50%. Simulations for a total of six scenarios, including the existing situation, were modeled for the outdoor thermal comfort using the ENVI-met BIO+Science program for the hottest (summer) and coldest (winter) periods of 2021. While temperature, relative humidity, and wind speed did not differ across scenarios in the green space scenarios, the simulations indicated positive results for both winter and summer in terms of mean radiant temperature ( $T_{mrt}$ ) in the 10% green space ratio scenario and physiological equivalent temperature (PET) in the 30% green space ratio scenario. For the 10% green space ratio,  $T_{mrt}$  increased by 0.2 °C in winter and decreased by an average of 0.2 °C in summer compared to the existing situation. In PET analyses, while winter showed similar results for all scenarios, in summer, the 30% green space ratio resulted in a 0.3 °C decrease compared to the existing situation. The study concludes that increasing the green space ratio has a positive contribution to the microclimate and brings about differences in outdoor thermal comfort. However, for accurate results in such studies, simulation analyses for each area with different microclimate characteristics are necessary. The results of this study will guide neighborhood-scale research, and incorporating a 30% green space ratio in landscape designs yields positive climate-related outcomes.

**Keywords:** PET, outdoor thermal comfort, ENVI-met, green area ratios

## GİRİŞ

Küresel kentleşmenin hızlı artışı, aşırı sera gazı emisyonlarına neden olarak dünya ikliminde ciddi sorunlara yol açmış ve çevreye geri dönüşü olmayan zararlar vermiştir. İklim Değişikliği Hükümetlerarası Paneli tarafından yayımlanan Altıncı Değerlendirme Raporu "İklim Değişikliği 2022: İklim Değişikliğinin Azaltılması"nın üçüncü bölümüne göre (Babiker *et al.* 2022), küresel ısınmayı 1.5 °C ile sınırlama hedefine ulaşmak için kilit bir öneme sahip olan küresel sera gazı emisyonlarının en geç 2025'te zirve yapması gerektiğini vurgulamıştır. Friedlingstein *et al.* (2020) ayrıca, küresel

ısınmanın 1.5 °C ile 2 °C arasında tutulması için 2020-2030 döneminde küresel antropojenik karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarını yılda 1 ila 2 milyar ton azaltmanın kritik olduğunu öne sürmüştür. Doğal yüzeylerin, özellikle su yüzeyleri ve yeşil alanların hızla azalması, ekosistem karbon

\* **Sorumlu yazar:** [basakertem\\_14@hotmail.com](mailto:basakertem_14@hotmail.com)

Bu çalışma doktora tezinden üretilmiştir

**Geliş tarihi:** 16 Haziran 2023

**Kabul tarihi:** 26 Şubat 2024

döngüsü üzerinde önemli bir etki yaratmaktadır (van Vliet, 2019). Uluslararası uzlaşmaya göre, küresel ısınmayı etkili bir şekilde azaltmanın anahtarı, karbon kaynaklarını azaltmak ve karbon tutulumunu artırmaktır (Liu *et al.* 2018). Bu bağlamda, yeşil alanların, su yüzeylerinin, geçirgen ve toprak yüzeylerin karbon emilimi ile karbon tutulumunda temel unsur oldukları göz ardı edilmemelidir (Jiang *et al.* 2023). Kentsel dış mekânlar günümüzde iki önemli tehditle karşı karşıyadır. Bunlardan birisi küresel ısınma, diğeri ise kentsel ısı adası oluşumudur (IPCC, 2018). Hava sıcaklığının artışı da kentsel alanlarda, kırsal alanlara göre daha fazla olmaktadır. Buna da kentsel ısı adası etkisi denilmektedir (Lai *et al.* 2019). Kentsel dış mekânlar, vatandaşlara fiziksel, çevresel, ekonomik ve sosyal faydalar gibi çeşitli faydalar sağlayarak şehirlerin yaşanabilirliğine ve canlılığına katkıda bulunmaktadır. Kentlerde bulunan parklar kentleşmenin olumsuz etkilerinden kurtulmak için çözüm yollarından birisi olmuştur. Parklardaki yeşil alanlar hem ziyaretçiler açısından termal konfor sağlarken hem de kentsel ısı adası etkisini azaltmaktadır (Grimmond, 2007; Park *et al.* 2012; Oke *et al.* 2017). Kent parklarının serinletici etkisi, parkların boyutlarıyla doğrudan ilişkilidir. Daha büyük boyutlu parkların daha küçük boyutlu parklara göre ortamı 2°C'ye kadar daha serinlettiği yapılan çalışmalarda görülmüştür (Zhang *et al.* 2020; Geng *et al.* 2022). Yapılan bazı çalışmalarda yeşil alanların termal konfor üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar büyük gölge veren ağaçların veya uzun boylu ağaçların termal konforu daha çok iyileştirdiği görülmüştür (Soudoudi *et al.* 2018; Yılmaz *et al.* 2022). Ayrıca yoğun ağaçlı caddelerin yaz aylarında diğer caddelere göre hava sıcaklığını 1 °C serinlettiği, kış aylarında ise 2 °C daha ısıtarak termal konfora olumlu etki ettiği yapılan çalışmalarda görülmüştür (Yılmaz *et al.* 2021). Bitki örtüsünün kentlerde ısı stresini azalttığı (Alchapar *et al.* 2017; Çilek 2021), sıcak bölgelerde şehir merkezindeki serinletici etkisi (Lin and Lin 2016; Lu *et al.* 2017), peyzaj alanlarında rastgele yeşil alan yapılmasının etkili olmadığı, bunun belirli bir oranda yeşil alan olması gerektiği (Aboelata and Soudoudi 2019; Wu *et al.* 2019; Morakinyo *et al.* 2019) yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur. Türkiye'nin en yüksek rakımında kurulmuş olan Erzurum; Köppen Geiger iklim sınıflamasında Dsb (Öztürk *et al.* 2017; Beck *et al.* 2018) grubuna girmektedir. Bu da kışları sert ve soğuk, yazları kurak ve sıcak olduğunu göstermektedir. Buna göre insanların kış aylarında dış mekânda daha konforlu vakit geçirebilmeleri için dış mekân termal konfor açısından daha elverişli, yaz aylarında da kurak sıcak havaları serinletici mekânlar olması gerekmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmada; farklı yeşil alan oranlarının (%10, %20, %30, %40, %50) dış mekân termal konforuna ve mikro-iklime etkisinin hem yaz hem de kış aylarında kaç derece etkilediği, diğer

parametrelerin ( $T_{mrt}$  ve FES) bundan ne şekilde etkilendiği sorularına cevap aranmıştır.

## MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışma alanı konumu 39°54'19.77"K ve 41°15'57.29"D koordinatlarındadır. Çalışma alanı için meteorolojik verilerin ölçüldüğü istasyon Yıldızkent Zabita Amirliği bahçesine kurulmuştur (Şekil 1). Analiz yapılacak alanın belirlenmesinde İTÜ ve Atatürk Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama akademisyenlerinin görüşleri alınmıştır. Zabita istasyonunun bulunduğu alanda 514m x 480m'lik bir alan, konut sitelerinin de bulunduğu bir bölgede çalışma alanı olarak seçilmiştir. Zabita istasyonu, Palandöken Belediyesi Yıldızkent bölgesinde bulunmaktadır. Meteorolojik verilerin toplanması amacıyla Davis Vantage Pro 2 sabit ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz 120 x120 korumalı bir kafes içine alınmıştır. Cihazın üzerinde ve birde zabita binası içinde veri kayıt cihazı kullanılmıştır. Zabita istasyonu bu alanın tam ortasında kalacak şekilde belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil1. Çalışma alanı konumu ve alandan görseller ile ölçüm istasyonu ve istasyonun kurulu olduğu Zabita Amirliği

Çalışma alanı için dış mekân termal konforun iyileştirilmesine yönelik 5 farklı yeşil alan oran senaryosu oluşturulmuştur. Analizlerde kış analizleri için 2021 yılının en soğuk günü, yaz analizleri için ise 2021 yılının en sıcak günü kullanılmıştır. Mevcut durum ve senaryolar ENVI-met iklim programında analiz edilmiştir. 5 farklı yeşil alan oran senaryolarının ve mevcut durumun hava sıcaklığı ( $T_a$ -°C), bağıl nem (RH-%), rüzgâr hızı (V-m/s),  $T_{mrt}$  ve FES açısından ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu senaryolar; %10 yeşil alan miktarı, %20 yeşil alan miktarı, %30 yeşil alan miktarı, %40 yeşil alan miktarı ve %50 yeşil alan miktarı olarak belirlenmiştir.

## ENVI-met Senaryoları ve Özellikleri

Çalışma alanı mevcut durum arazi çalışması yapılarak ve Google Earth 2022 görüntüleri ile de kontrol edilerek ENVI-met BIO+ Science versiyon programında çizilmiştir. Öneri getirilen senaryolar bu mevcut durum korunarak üzerine eklenmiştir. Alanın mevcut durum analizi için mevcut ağaçlar işaretlenmiştir. Alanda toplam 868 adet odunsu bitki kullanıldığı tespit edilmiştir. Çalışma alanının kuzeyinde bulunan boş alanda yeşil alan oranları değiştirilerek analizler yapılmıştır. Boş arazi 6273 m<sup>2</sup> 'lik bir alandır. Alanın %10'u yani 627 m<sup>2</sup> si yeşil alan yapılmış ve bu şekilde analiz edilmiştir. Boş alanın %20'si yani 1254 m<sup>2</sup> si, %30'u yani 1881 m<sup>2</sup> si, %40'ı yani 2509 m<sup>2</sup> si, %50'si yani 3136 m<sup>2</sup> si yeşil alan yapılmış ve bu şekilde analiz edilmiştir.

### ENVI-met BIO+ Science Modeli

ENVI-met iklim yazılımı, tasarım ve planlama karar desteği sağlamaya yardımcı olan bir kentsel tasarım simülasyon modeli olarak kullanılmaktadır. 1993 yılında Micheal Bruse tarafından, tek bir yapıdan maksimum 250 ızgara sağlanan mahalleye kadar tipik bir 0.5 ila 10 m çözünürlükle kentsel ortamda yüzey havasını yeniden yaratabilen küçük ölçekli bir atmosfer için uyarlanmıştır (Bruse 2000; Bruse and Fler 1998). ENVI-met, akışkanlar dinamiğinin ve termodinamiğin temel yasalarına dayanan hidrostatik olmayan bir tahmin modeli olup, en geliştirilmiş paketidir (Golden 2004; de Quadros and Mizgier 2023).

ENVI-met, toprak, bitki örtüsü, atmosfer ve binalar arasındaki enerji akışını hesaplarken malzeme özelliklerinin yüksek düzeyde detaylandırılmasına ihtiyaç duyarak kullanıcılarına hem binaların hem de bitki örtüsünün nispeten karmaşık geometrilerini modelleme olanağı sağlayan bir yazılımdır (Crank *et al.* 2018; Acero *et al.* 2018). Bu yazılımın hesaplama temeli olan Sayısal Akışkanlar Dinamiği (CFD), kentsel mikroiklimleri simüle etmek için rüzgar, sıcaklık ve bağıl nem modellerini atmosferik türbülans ve çevredeki yeşil bitki örtüsüyle birleştirmektedir (Zhang *et al.* 2022). Elde edilen veriler Davis Vantage Pro 2 iklim cihazının ölçümleri doğrultusunda ENVI-met yazılımı kullanılarak biomet haritaları üretilmiştir.

Bu yazılım, herhangi bir yerde mikro iklimi yerel iklim ölçeğine göre değerlendirmek için en yaygın kullanılan modelleme programlarından biri olarak kabul edilmektedir (Potchter *et al.* 2018). ENVI-met'in biomet çıktılarının kombinasyonu, kentsel gölgelik katmanındaki iklim hakkında derin bir bilgi sağlamaktadır. Program, yüzey hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve bağıl nem gibi durumların gelecekteki halini tahmin etmektedir (Faragallah and Ragheb 2022). Ancak bu modelinde bazı kısıtlamaları bulunmaktadır. Her ağacın yaprak yoğunluğu, yaprak alan indeksi bir birinden farklılık göstermektedir. Oysa modelde belli bazı ağaç formları kullanılmaktadır (Zhang *et al.* 2018). Bununla birlikte yazılım sürekli güncellenerek yeni yeni özellikler eklenmekte ve geliştirilmektedir.

Çalışma kapsamında ENVI-met programına girilen 24 saatlik yaz ve kış iklim verileri Çizelge 1'de verilmiştir. Erzurum Yıldızkent semtinde bulunan çalışma alanı ölçümleri 2021 yılının en soğuk kış günü (22.01.2021) ve en sıcak yaz günü (21.07.2021) için 24 saatlik olarak alınmıştır. Çalışma alanı boyutları 257m X, 240m Y eksenlerinde ve yükseklik olarak Z değeri 36m olarak alınmıştır. ENVI-met programına işlenen 24 saatlik verilerin en düşük ve en yüksek hava sıcaklığı ve nem verileri ile rüzgâr hızı ve yönü değerleri ve saatleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1: 2021 yılı kış ve yaz için ENVI-met modeli giriş verileri

Konum	Yıldızkent	
İklim Türü	Dağ Ekosistemi	
Simülasyon Zamanı	Ocak ve Temmuz	
Toplam Simülasyon Süresi	1 alternatif için 24 saat	
Uzamsal Çözünürlük	2m x 2m x 2m	
Alan Boyutu	257 m x 240 m x 36 m	
	22.01.2021	21.07.2021
Temel Meteorolojik	Unshaded	Unshaded
Girdi		
Rüzgâr Hızı (m/s)	0.18	0.6
Rüzgâr Yönü (o)	(234.37o)	(225o)
24 saatlik Hava Sıcaklığı	+	+
24 Saatlik Bağıl Nem	+	+
En Düşük Hava Sıcaklığı (oC) / h	-19,7 °C / 07.00	17.1 °C / 05.00
En Yüksek Hava Sıcaklığı (°C) / h	-10,4 °C / 14.00	32,6 °C / 16.00
En Düşük Nem	%68 / 14.00	%13 / 16.00
En Yüksek Nem	%84 / 07.00	%58 / 23.00

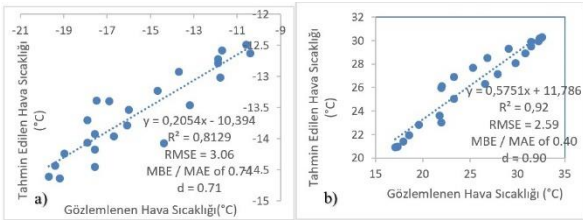
### ENVI-met doğruluk analizi

ENVI-met programında simülasyonlar için kullanılan verilerin doğruluğu kontrol edilmiştir. Alınan ölçüm günlerinin 22 Ocak 2021 ve 21 Temmuz 2021 tarihlerinin doğruluk analizleri yapılmıştır. Modelin performansını değerlendirmek için çalışma alanında öngörülen (P) ve gözlemlenen (O) verilerini kalibre etmek için yedi istatistiksel ölçüm kullanılmıştır. Kullanılan istatistiksel ölçümler belirleme katsayısı (R<sup>2</sup>), etkinlik katsayısı (E), ortalama yanlılık hatası (MBE), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama karesel hatanın kökü (RMSE), uyum indeksi (d), verimlilik katsayısı (E)'dir (Çizelge 2). Simülasyon doğruluğu Willmott'un (1982) anlaşma indeksini (d) içerir. d değeri 1'e yakınsa, simülasyon sonuçları güvenilir kabul edilmektedir. Bu çalışmada yapılan simülasyonlar ve alınan ölçümlerin doğruluğu analiz edilmiştir. Willmott (1982) tarafından geliştirilen bu doğrulama yöntemi ile analizler belirli bir formüle göre yapılmıştır. Uyum indeksi (d), simüle edilen değerlerin hangi düzeyde hatasız olduğunu gösteren tanımlayıcı bir ölçüdür. 0 ile 1 arasında bir değere sahiptir. Burada 1 değeri, simüle edilen değerlerin (s) gözlemlenen değerlere (o) eşit olduğunu göstermektedir. Ortalama yanlılık hatası (MBE); modelden elde edilen değerlerin gözlemlenen verilerden yüksek veya düşük olup olmadığını göstermektedir. Ortalama mutlak hata (MAE); MBE göstergesi ile aynı olup, tahmin edilen ve gözlemlenen değerler arasındaki mutlak farkı göstermektedir (Battista *et al.* 2016). MBE/MAE değeri 0 ile 1 arasında olmalıdır. Bu değer 1 veya 1'e yakın olması modelin doğruluğunu göstermektedir. Yapılan analizlerde uyum indeksi (d) ve belirleme katsayısı (R<sup>2</sup>) değerlerinin yüksek olması verilerin uyum değerlerini temsil etmektedir (Qaid *et al.* 2015; Yilmaz *et al.* 2021). ENVI-met programında tahmin edilen ile gözlemlenen verilerin doğruluğunu anlamak için bir doğruluk analizi yapılmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2: ENVI-met doğruluk analizi formülü (Battista et al. 2016)

Formül kısaltmaları	Anlamları	Formül
d	uyum indeksi [-]	$d$
MAE	Ortalama mutlak hata [-]	$\frac{1}{N_D} \sum_{j=1}^{N_D} [(P_j - \bar{O}) - (O_j - \bar{O})]^2$
MBE	Ortalama yanlılık hatası [-]	$\frac{1}{N_D} \sum_{j=1}^{N_D} (P_j - O_j)$
$N_D$	Analiz edilen veri sayısı [-]	$N_D$
$\bar{O}$	Gözlenen değişkenin ortalaması	$\frac{\sum_{j=1}^{N_D} O_j}{N_D}$
$O_j$	Her j anı için gözlenen değişkenler	
$P_j$	Her j anı için model tahminli değişkenler	

Doğruluk analizinde  $R^2$  (ölçümler belirleme katsayısı), RMSE (kök ortalama karesel hata), MBE/MAE değeri ile d (uyum indeksi) sonuçlarına bakılmıştır. Mevcut durumun ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklığı verileri kış ayı için değerlendirildiğinde,  $R^2$  değeri 0,8129 bulunmuştur.  $R^2$  değerinin yüksek olması ve 1'e yakın olması verilerin uyum değerinin yüksek olduğunu göstermiştir. d değeri ise 0,71 hesaplanmıştır. Bu da 1'e yakın olması simülasyon güvenilirliğini göstermektedir (Şekil 2 a,b).



Şekil 2. Tahmin edilen ve gözlemlenen hava sıcaklığı dağılım grafiği yaz ve kış doğruluk analizi

Mevcut durumun yaz ayı doğruluk analizi yapıldığında,  $R^2$  değeri 0,92 tespit edilmiştir.  $R^2$  değeri verilerin uyum değerinin yüksek olduğunu göstermektedir. d değeri ise 0,90 hesaplanmıştır. Bu değerde simülasyon güvenilirliğini göstermektedir (Şekil 2). Bu sonuçlara dayanarak, ENVI-met yazılımı doğrulanmış ve çalışma bu yazılım çıktısı ile çalıştırılmıştır.

## BULGULAR

Çalışma alanı mevcut durumu ve 5 farklı yeşil alan senaryosu için ENVI-met programında hem yaz hem de kış ayı için analizler yapılmış ve hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı,  $T_{mrt}$  ve FES verileri değerlendirilmiştir.

### ENVI-met senaryoları kış mevsimi analizleri

**Mevcut durum** için 22.01.2021 kış analizlerinde; hava sıcaklığı minimum -12.5 °C, maksimum 16.2 °C, ortalama hava sıcaklığı ise 1.85 °C tespit edilmiştir. Mevcut durum nem verileri ise kış ayı için minimum 9.7, maksimum 144, ortalama 76.85 saptanmıştır. Rüzgâr hızı verileri kış ayı için minimum 0, maksimum 0.15, ortalama 0.075 bulunmuştur.

$T_{mrt}$  değeri, kış ayı için minimum -13.9 °C, maksimum 20.5 °C, ortalama ise 3.3 °C hesaplanmıştır. FES verileri de, kış ayı minimum sıcaklık 2.6 °C, maksimum sıcaklık 13.9 °C, ortalama ise 8.3 °C tespit edilmiştir (Şekil 3). **%10 yeşil alan olan senaryonun** sonuçlarına göre hava sıcaklığı analizleri kış ayı için tüm senaryolarda aynı değer bulunmuştur. Bağıl nem, kış analizi için minimum 9.7, maksimum 154.3, ortalama ise 82 hesaplanmıştır. Rüzgâr hızı tüm senaryolarda kış ayları için aynı değer elde edilmiştir.  $T_{mrt}$ , kış ayı için minimum -13.6 °C, maksimum 20.7 °C, ortalama ise 3.5 °C saptanmıştır. Mevcut duruma göre kış ayı analizinde ortalama 0.2 °C'lik bir sıcaklık artışı görülmüştür. **%10 yeşil alan olan senaryoda** FES, kış ayı için minimum sıcaklık 2.6 °C, maksimum sıcaklık 13.9 °C, ortalama ise 8.3 °C bulunmuştur. Mevcut duruma göre kış ayı sıcaklıklarında hissedilir herhangi bir değişiklik görülmemiştir. **%20 yeşil alan olan senaryonun** sonuçlarına göre kış hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve yaz ayı bağıl nem diğer senaryolarla aynı değer elde edilmiştir. Kış ayı bağıl nem, minimumda 9.7, maksimumda 142.7, ortalama ise 76.2 hesaplanmıştır.  $T_{mrt}$ , kış ayı için minimum -14.0 °C, maksimum 20.4 °C, ortalama ise 3.2 °C elde edilmiştir. Mevcut duruma göre kış ayı analizinde minimum ve maksimumda 0.1 °C sıcaklık azalışı görülmüştür. FES, kış ayı için minimum sıcaklık 2.6 °C, maksimum sıcaklık 13.9 °C, ortalama ise 8.3 °C bulunmuştur. Mevcut duruma göre kış ayı sıcaklık verilerinde değişiklik görülmemiştir. **%30 yeşil alan senaryosunun** sonuçlarına göre  $T_{mrt}$ , kış ayı için minimum -14.0 °C, maksimum 20.4 °C, ortalama ise 3.2 °C saptanmıştır. Mevcut duruma göre kış ayı analizinde ortalama 0.1 °C sıcaklık azalışı görülmüştür. **%30 yeşil alan olan senaryoda** FES, kış ayı için minimum sıcaklık 2.6 °C, maksimum sıcaklık 13.9 °C, ortalama ise 8.3 °C tespit edilmiştir. Mevcut duruma göre kış ayı sıcaklık verilerinde değişiklik görülmemiştir. **%40 yeşil alan olan senaryonun** sonuçlarına göre  $T_{mrt}$  verileri %30 yeşil alan olan senaryo ile aynı değer elde edilmiştir. FES verilerinde de kış ayı analizleri de aynı bulunmuştur. **%50 yeşil alan olan senaryonun** sonuçlarına göre  $T_{mrt}$ , kış ayı için minimum -14.0 °C, maksimum 20.4 °C, ortalama ise 3.2 °C hesaplanmıştır. Mevcut duruma göre kış ayı analizinde ortalama 0.1 °C sıcaklık azalışı görülmüştür. FES, kış ayı için minimum sıcaklık 2.6 °C, maksimum sıcaklık 13.9 °C, ortalama ise 8.3 °C elde edilmiştir. Mevcut duruma göre kış ayı sıcaklık verilerinde değişiklik görülmemiştir.

### ENVI-met senaryoları yaz mevsimi analizleri

**Mevcut durum** yaz analizlerinde; hava sıcaklığı minimum 20.7 °C, maksimum 33.1 °C, ortalama hava sıcaklığı ise 26.9 °C bulunmuştur. Yaz mevsimi için nem verileri, minimum %14.4, maksimum %38.8, ortalama %26.6 olarak belirlenmiştir. Yaz ayı rüzgâr hızı için ise minimum 0 m/s, maksimum 1.16 m/s, ortalama 0.58 m/s ölçülmüştür. Yaz ayı verilerinde  $T_{mrt}$  değeri minimum 38.3 °C, maksimum 64.8 °C,

ortalama ise 51.5 °C tespit edilmiştir. Yaz ayı için FES verilerinde ise minimum sıcaklık 36.5 °C, maksimum sıcaklık 57.4 °C, ortalama sıcaklık ise, 46.9°C saptanmıştır (Şekil 3). **%10 yeşil alan senaryosunun** sonuçlarına göre yaz mevsimi hava sıcaklığı ve bağıl nem tüm senaryolarda aynı değer elde edilmiştir. Rüzgâr hızı da tüm senaryolarda yaz ayları için değerler aynı değer bulunmuştur.  $T_{mrt}$ , yaz mevsimi için minimum sıcaklık 38.1 °C, maksimum sıcaklık 64.6 °C, ortalama ise 51.3 °C saptanmıştır. Yaz için ortalama 0.2 °C'lik sıcaklık azalışı görülmüştür. FES değerlerinde, minimum sıcaklık 36.5 °C, maksimum 57.4 °C, ortalama ise 46.9 °C hesaplanmıştır. Mevcut duruma göre yaz sıcaklıklarında hissedilir herhangi bir değişiklik görülmemiştir. **%20 yeşil alan olan senaryonun** sonuçlarına göre yaz mevsimi hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve bağıl nem diğer senaryolarla aynı değer elde edilmiştir.  $T_{mrt}$ , minimum sıcaklık 38.2 °C, maksimum sıcaklık 64.7 °C, ortalama ise 51.4 °C bulunmuştur. Yaz mevsimi verilerinde minimumda ve maksimumda 0.1 °C sıcaklık azalışı görülmüştür. FES de, minimum sıcaklık 36.4 °C, maksimum 57.4 °C, ortalama ise 46.9 °C tespit edilmiştir. Mevcut duruma göre yaz mevsiminde minimum sıcaklık 0.1 °C azalmış, maksimumda ise değişiklik görülmemiştir. **%30 yeşil alan olan senaryonun** sonuçlarına göre  $T_{mrt}$  de, minimum sıcaklık 38.2 °C, maksimum sıcaklık 64.6 °C, ortalama ise 51.4 °C saptanmıştır. Mevcut duruma göre ortalama 0.2 °C sıcaklık azalışı görülmüştür. FES, minimum sıcaklık 36.4 °C, maksimum 56.9 °C, ortalama ise 46.6 °C bulunmuştur. Mevcut duruma göre sıcaklık yaz mevsiminde ortalama 0.3 °C sıcaklık azalmıştır. **%40 yeşil alan olan senaryonun** sonuçlarına göre  $T_{mrt}$  verileri %30 yeşil alan olan senaryo ile aynı değer görülmüştür. FES de, yaz ayında maksimum sıcaklık değişiklik göstermiştir. Maksimum sıcaklık 57.4 °C, ortalama ise 46.9 °C elde edilmiştir. **%50 yeşil alan olan senaryonun** sonuçlarına göre  $T_{mrt}$ , yaz ayı için minimum sıcaklık 38.4 °C, maksimum sıcaklık 64.9 °C, ortalama ise 51.7 °C tespit edilmiştir. Mevcut duruma göre yaz mevsimi verilerine bakıldığında ortalama 0.1 °C sıcaklık artışı görülmüştür. FES verilerine bakıldığında, yaz mevsimi için minimum sıcaklık 36.4 °C, maksimum 57.4 °C, ortalama ise 46.9 °C belirlenmiştir. Mevcut duruma göre yaz mevsiminde ortalama sıcaklık 0.1 °C azalmıştır (Şekil 3).



Şekil3. ENVI-met senaryoları kış ve yaz mevsimi analizleri

## TARTIŞMA

Mevcut duruma göre diğer senaryolarda ortalama sıcaklık 0.1 °C daha düşmüş, %10 olan senaryo ise 0.2 °C düşürmüştür. %50 yeşil alan olan senaryoda ise sıcaklık 0.1 °C artmıştır. Yaz verilerinde yeşil alan oranlarında, mevcut duruma göre iyi sonucu veren senaryolar %50 yeşil alan olan senaryo dışındaki tüm senaryolar olmuştur. Bunun nedeni olarak, yeşil alan oranının en fazla olduğu senaryoda rüzgâr hızının kesilmesi ve rüzgârın alan içinde bloke olması gösterilmiştir (Yılmaz *et al.* 2017; Chan and Chau, 2022). Nitekim, Çilek (2021)'de yaptığı çalışmada Adana ilinde bulunan yeşil alanların ağaç kanopilerine göre, kapalılık oranlarını FES durumu ile kıyasladığında %60-80 arasında kanopi oranının FES'e olumlu katkısı olduğunu ancak %80'i geçerse rüzgâr akışını azaltacağından olumsuz etkilediği sonucuna varmıştır. Bununla beraber, Aboelata and Sodoudi (2019) Kahire'de yaptıkları bir çalışmada yeşil alan oranlarının termal konfora etkisini araştırmışlar ve en iyi sonucu %50 yeşil alan oranının olduğu senaryonun verdiğini tespit etmişlerdir. Kahire sıcak iklim bölgesinde olduğu için termal konforu iyileştirmek için daha fazla bitkiye gereksinim duyulmuştur. Bu da termal konfor çalışmalarında alanın mikro-iklim özelliklerine göre değişiklik gösterdiğini ifade etmektedir. Yaz mevsimi sonuçlarında en iyi sonucu %30 yeşil alan olan senaryo vermiştir. Ortalama sıcaklığı mevcut duruma göre 0.3 °C daha düşürmüştür. Diğer tüm senaryolarda da sıcaklık mevcut duruma göre 0.1 °C daha düşmüştür. Nitekim bir kent parkında ENVI-met ile yapılan analizde ağaç ve yeşil alan senaryosunun mevcut duruma göre sıcaklığı 0.5 °C daha düşürdüğü saptanmıştır (Teshnehdel *et al.* 2022). Tüm yeşil alan oran senaryolarında bağıl nem, mevcut duruma göre kış aylarında sadece %10 yeşil alan olan senaryoda nem 5.2 birim artmış diğer senaryolarda ortalama 0.6 birim düşmüştür. Yaz mevsiminde ise mevcut durum ve tüm senaryolarda bağıl nem aynı bulunmuştur. Nitekim yapılan çalışmalarda da nem oranının azalmasıyla hava sıcaklığını arttığı bunun da kış mevsimi için olumlu sonuç verdiği görülmüştür (Irmak *et al.* 2018; Wang *et al.* 2019). Yaz mevsimi rüzgâr hızı verilerinde mevcut duruma göre diğer senaryolarda hiçbir değişiklik görülmemiştir. Aynı durum kış mevsimi analizleri içinde tespit edilmiştir. Nitekim bazı ENVI-met çalışmalarında bu yazılımın rüzgâr hızı 2.0 m/s'den daha az ise, rüzgâr analizinde istenilen sonucu vermediği ifade edilmiştir (Song *et al.* 2014; Acero and Arrizabalaga 2018). FES verilerinde ise, kış analizlerinde tüm senaryolar için mevcut durum ile aynı değere yakın değerler tespit edilmiştir.  $T_{mrt}$  sonuçlarında, kış için mevcut duruma göre daha olumlu sonuç veren senaryo %10 yeşil alan oranı olan senaryo olmuştur. Diğer senaryolarda ortalama 0.1 °C sıcaklık düşerken, %10 yeşil alan olan senaryoda 0.2 °C sıcaklık artmıştır. Benzer akademik çalışmalarda da kışın yeşil

alanların termal konfora etkisi, yaza göre daha yetersiz bulunmuştur (Zhang *et al.* 2018; Gatto *et al.* 2020).

## SONUÇ

Sonuç olarak, dış mekân termal konfor açısından, hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgâr hızı değişkenleri farklı yeşil alan oranlarına ait senaryolarda analiz edilmiş ve farklılıklar bulunmuştur. Bu farklılıkların yaz senaryoları için daha etkili olduğu görülür iken kış senaryoları için daha az etkili olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber  $T_{mrt}$  değerinin kış ayında %10 yeşil alan senaryoda 0.2 °C artırdığı belirlenmiştir. FES ve  $T_{mrt}$  açısından yaz mevsiminde en ideal sonuç  $T_{mrt}$ 'yi 0.2 °C azaltan %10 yeşil alan, FES'de ise 0.3 °C azaltan %30 yeşil alan oranına sahip senaryolar olduğu tespit edilmiştir. FES açısından yazın termal konfora etkisi en uygun çıkan senaryo %30 yeşil alan olan senaryodur. Yeşil alan oranının %10 ve %30 olarak en ideal çıkması hem hava akışını sağlamada hem de ortamı serinletmede en uygun oran olduğunu göstermektedir. Yerleşime açılacak yeni alanlar için Erzurum gibi soğuk kış kentlerinde yeşil alan oranının %10 ile %30 aralığında yapılması termal konfor açısından hem yaz hem de kış mevsimi için olumlu sonuç vermesi açısından önemlidir. Sonuç olarak elde edilen veriler, önerilecek yeni mekânsal planlamalara ışık tutup iklim duyarlı, termal konforlu mekanların oluşturulması için altlık oluşturacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Başak ERTEM MUTLU'nun 794478 tez numaralı doktora tezinden üretilmiştir. Yazarlar, verilerini ücretsiz olarak paylaşan "Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 'na, 1190479 Proje No'lu TÜBİTAK 1001-TOVAG'a ve Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne (MGM) özel teşekkürlerini sunarlar.

## KAYNAKLAR

Abelata A, Sodoudi S (2019) Evaluating urban vegetation scenarios to mitigate urban heat island and reduce buildings' energy in dense built-up areas in Cairo. *Building and Environment*, 166: 106407.

Acero JA, Arrizabalaga J (2018) Evaluating the performance of ENVI-met model in diurnal cycles for different meteorological conditions. *Theoretical and applied climatology*, 131: 455-469.

Alchapar NL, Pezzuto CC, Correa EN, Labaki LC (2017) The impact of different cooling strategies on urban air temperatures: the cases of Campinas, Brazil and Mendoza, Argentina. *Theoretical and Applied Climatology*, 130(1-2): 35-50.

Babiker M, Berndes G, Blok K, Cohen B, Cowie A, Geden O, Yamba F (2022) Cross-sectoral perspectives (chapter 12).

Battista G, Carnielo E, Vollaro RDL (2016) Thermal impact of a redeveloped area on localized urban microclimate: A

case study in Rome. *Energy and Buildings*, 133: 446-454.

Beck HE, Zimmermann NE, McVicar TR, Vergopolan N, Berg A, Wood EF (2018) Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific data*, 5(1): 1-12.

Bruse M (2000) Assessing thermal comfort in urban environments using an integrated dynamic micro-scale bio-meteorological model system. 3rd Symp. on the Urban Environ., Davis, CA, Am. Meteorol. Soc. 159-160.

Bruse M, Fleer H (1998) Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental modelling & software*, 13(3-4): 373-384.

Chan SY, Chau CK (2022) On the study of the effects of microclimate and park and surrounding building configuration on thermal comfort in urban parks. *Sustainable Cities and Society*, 64: 102512.

Crank PJ, Sailor DJ, Ban-Weiss G, Taleghani M (2018) Evaluating the ENVI-met microscale model for suitability in analysis of targeted urban heat mitigation strategies. *Urban climate*, 26: 188-197.

de Quadros BM, Mizgier MGO (2023) Urban green infrastructures to improve pedestrian thermal comfort: A systematic review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 128091.

Faragallah RN, Ragheb RA (2022) Evaluation of thermal comfort and urban heat island through cool paving materials using ENVI-Met. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(3): 101609.

Friedlingstein P, O'sullivan M, Jones MW, Andrew RM, Hauck J, Olsen A, Zaehle S (2020) Global carbon budget 2020. *Earth System Science Data Discussions*, 2020: 1-3.

Geng X, Yu Z, Zhang D, Li C, Yuan Y, Wang X (2022) The influence of local background climate on the dominant factors and threshold-size of the cooling effect of urban parks. *Science of The Total Environment*, 823: 153806.

Golden JS (2004) The built environment induced urban heat island effect in rapidly urbanizing arid regions—a sustainable urban engineering complexity. *Environmental Sciences*, 1(4): 321-349.

Gatto E, Buccolieri R, Aarveaara E, Ippolito F, Emmanuel R, Perronace L, Santiago JL (2020) Impact of urban vegetation on outdoor thermal comfort: Comparison between a mediterranean city (Lecce, Italy) and a northern European city (Lahti, Finland). *Forests*, 11(2): 228.

Grimmond SU (2007) Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *Geographical Journal*, 173(1): 83-88.

- IPCC (2018) Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C, UK and New York, NY, USA, pp. 3-24, doi:10.1017/9781009157940.001.
- Irmak MA, Yilmaz S, Mutlu E, Yilmaz H, (2018) Assessment of the effects of different tree species on urban microclimate, *Environmental Sci.and Pollution Research*, 1-21.
- Jiang Y, Sun Y, Liu Y, Li X (2023) Exploring the correlation between waterbodies, green space morphology, and carbon dioxide concentration distributions in an urban waterfront green space: A simulation study based on the carbon cycle. *Sustainable Cities and Society*, 98: 104831.
- Lai D, Liu W, Gan T, Liu K, Chen Q (2019) A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. *Science of the Total Environment*, 661: 337-353.
- Lin BS, Lin CT, (2016) Preliminary study of the influence of the spatial arrangement of urban parks on local temperature reduction. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20: 348-357.
- Liu Z, Wang L, Wang P (2018) Analysis on influencing factors of farmers' intention to manage forestry carbon sinks—An empirical study based on boosted regression tree, *South China Forestry Science*, 46 (06): 22-28.
- Lu J, Li Q, Zeng L, Chen J, Liu G, Li Y, Huang K (2017) A microclimatic study on cooling effect of an urban park in a hot and humid climate. *Sustainable Cities and Society*, 32: 513-522.
- Morakinyo TE, Lai A, Lau KKL, Ng E (2019) Thermal benefits of vertical greening in a high-density city: Case study of Hong. *Urban forestry & urban greeng*, 37: 42-55.
- Oke TR, Mills G, Christen A, Voogt JA (2017) *Urban climates*. Cambridge University.
- Öztürk MZ, Çetinkaya G, Aydın S (2017) Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye'nin iklim tipleri. *Coğrafya Dergisi*, 35:17–27
- Park M, Hagishima A, Tanimoto J, Narita KI (2012) Effect of urban vegetation on outdoor thermal environment: field measurement at a scale model site. *Building and Environment*, 56: 38-46.
- Potchter O, Cohen P, Lin TP, Matzarakis A (2018) Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification. *Science of the Total Environment*, 631, 390-406.
- Qaid A, Lamit HB, Ossen DR, Shahminan RNR (2016) Urban heat island and thermal comfort conditions at microclimate scale in a tropical planned city. *Energy and Buildings*, 133, 577-595.
- Song BG, Park KH, Jung SG (2014) Validation of ENVI-met model with in situ measurements considering spatial characteristics of land use types. *Journal of the Korean association of geographic information studies*, 17(2): 156-172.
- Sodoudi S, Zhang H, Chi X, Müller F, Li H (2018) The influence of spatial configuration of green areas on microclimate and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*, 34: 85-96.
- Teshnehdel S, Gatto E, Li D, Brown RD (2022) Improving Outdoor Thermal Comfort in a Steppe Climate: Effect of Water and Trees in an Urban Park. *Land*, 11(3), 431.
- Ünal Çilek, M (2021) Kamusal Yeşil Alanlar İle Isıl Konfor Arasındaki İlişkilerin Modellenmesi: Adana Kenti Örneği, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- van Vliet, J (2019) Direct and indirect loss of natural area from urban expansion. *Nature Sustainability*, 2(8): 755-763.
- Wang Y, Zhou D, Wang Y, Fang Y, Yuan Y, Lv L, (2019) Comparative study of urban residential design and microclimate characteristics based on ENVI-met simulation. *Indoor and Built Environment*, 28(9): 1200-1216.
- Wu Z, Dou P, Chen L, (2019) Comparative and combinative cooling effects of different spatial arrangements of buildings and trees on microclimate. *Sustainable Cities and Society*, 51: 101711.
- Yilmaz S, Yilmaz H, Irmak MA, Kuzulugil AC, Koç A (2017) Effects of urban *Pinus sylvestris* (L.) plantation sites on thermal comfort. In *International Symposium on Greener Cities for More Efficient Ecosystem Services in a Climate Changing World* 1215: 39-44.
- Yilmaz S, Irmak MA, Qaid A (2022) Assessing the effects of different urban landscapes and built environment patterns on thermal comfort and air pollution in Erzurum city, Turkey. *Building and Environment*, 219: 109210.
- Yilmaz S, Mutlu BE, Aksu A, Mutlu E, Qaid A (2021) Street design scenarios using vegetation for sustainable thermal comfort in Erzurum, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 3672-3693.
- Zhang L, Wei D, Hou Y, Du J, Liu ZA, Zhang G, Shi L (2020) Outdoor thermal comfort of urban park—a case study. *Sustainability*, 12(5):1961.
- Zhang Y, Lin Z, Fang Z, Zheng Z (2022) An improved algorithm of thermal index models based on ENVI-met. *Urban Climate*, 44, 101190.
- Zhang L, Zhan Q, Lan Y (2018) Effects of the tree distribution and species on outdoor environment conditions in a hot summer and cold winter zone: A case study in Wuhan residential quarters. *Building and Environment*, 130: 27-39.

