

Soğuk İklim Bölgesinde Kentsel Mikro İklimin Değerlendirilmesi: Erzurum Kentsel Dönüşüm Alanı Örneği

Merve Yavaş¹, Sevgi Yılmaz²

Makale Geliş Tarihi (Submitted Date) : 21-05-2019 - Makale Kabul Tarihi (Accepted Date): 25-06-2019.

Öz

Kamusal açık alan tasarımında iklim koşullarına duyarlı bir kentsel tasarım yaklaşımı, her iklim tipi gibi soğuk iklimler için de bir zorunluluktur. Ancak ülkemizde iklime duyarlı ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmeye yönelik farkındalığın artmasına rağmen, kentsel gelişmeyi kararlı, esnek ve yerel ölçekte belirleyen çok az sayıda inisiyatif bulunmaktadır. Bu araştırmanın kapsamı disiplinler arası doğasına uygun olarak çalışma alanının fiziksel ve iklimsel analizi ile bir mikro klima analizini içeren karma bir yöntem yaklaşımını içermektedir. Çalışmada Türkiye'nin en soğuk iklimlerinden biri olan Erzurum'da, dönüşüm alanlarından biri olarak belirlenmiş Mahallebaşı semti biyoklimatik kriterlere göre değerlendirilmiştir. 2019 yılı kış ayında kaydedilen iklim verileri ile ENVI-met 4.4 modelinde termal konfor değeri sekiz farklı varyasyon için hesaplanmıştır. Oluşturulan varyasyonlar ile kış döneminde hava ve yüzey sıcaklıkları üzerindeki değişim incelenmiş ve ideal tasarım stratejileri ile kışın dış mekân konforunun 2°C'ye kadar arttırılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Soğuk İklim, Termal Konfor, Kent Mikro İklimi, Erzurum

Evaluation of Urban Micro-Climate in Cold Climate Cities: The Case of Urban Transformation Area in Erzurum

Abstract

The need to be sensitive against the climate conditions is urgent for public space design particularly in cold climate cities where people are living under severe conditions. Although there is an increasing awareness of climate-sensitive and sustainable development in our country, there are very few initiatives defining urban development on a stable, flexible and local scale with respect to climate condition. The scope of this research is based on a mixed method including physical and climatic analysis and a microclimate analysis of the study area consistent with the interdisciplinary nature of this type of climate studies. In this study, Mahallebaşı district as urban transformation area in Erzurum is evaluated according to bioclimatic criteria. Thermal comfort value has been calculated for eight different variations in the ENVI-met 4.4 model with the climate data recorded in winter of 2019. Changing air and surface temperature depending on these variations for winter were examined and it is confirmed that outdoor comfort could be increased up to 2 ° C in winter with the help of the ideal design strategies.

Keywords: Cold Climate, Thermal Comfort, Urban Micro Climate, Erzurum

¹ Arş. Gör., Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, merve.yavas@atauni.edu.tr

² Prof. Dr., Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, syilmaz_68@hotmail.com

1. Giriş

Yaşanabilir sağlıklı kentler, bugün tüm insanların hayallerini süslemektedir. Sanayi sonrası yaşanan hızlı kentleşme hamleleri, kent merkezlerinde konut talebini artırmış ve çarpık yapılaşmanın doğmasına neden olmuştur. Kentsel mekânlarda doğayla uyumlu tasarım yerini birim alana en fazla konut sığdırmak şeklinde değiştirmiştir. Ancak son yıllarda hız kazanan kentsel yenileme çalışmalarını mekânsal problemleri çözmek için bir fırsat olarak değerlendirmek gerekmektedir.

Kentsel caddelerde ve açık alanlarda gelişen mikro iklimler, büyük ölçüde yakın çevrelerinin özelliklerine bağlıdır ve yaya konforunu büyük ölçüde etkilemektedir (Oke, 1987). Birçok çalışma, açık alandaki mikro iklimlendirme ve termal konfor koşullarının iyileştirilmesinde, morfoloji, materyaller, bitki örtüsü ve su aracılığıyla kentsel tasarımın etkisini göstermektedir (Oke, 1989; Yannas, 2001; Akbari vd., 2001; Cadima, 2005; Nikolopoulou vd., 2005; Yılmaz vd., 2007; Canan vd., 2019). Yine rekreasyon alanlarında termal konforun etkili olduğu ve peyzaj tasarımını etkilediği sonucuna varılmıştır (Toy ve Yılmaz, 2010). Kış ve soğuk iklim koşulları özelinde yapılan çalışmalara baktığımızda ise yağışın kar şeklinde olduğu ve çok sık don olaylarının yaşandığı bölgelerde insanların gündelik hayatlarında özellikle kaldırımlarda (Yılmaz vd., 2016) çok kısıtlayıcı durumların ortaya çıktığı ve iyi tasarlanmamış çevrelerin de bu şartlara eklenmesiyle yaşam kalitesinin düştüğü görülmektedir (Pressman, 2004). Oysa doğru planlama ve doğru plan kararları ile bu olumsuzluklar azaltılabilmekte veya önlenabilmektedir (Karakounos vd., 2018). Dolayısıyla iklim şartlarını dikkate alan ve iklim duyarlı tasarım kriterlerini kullanarak bu açıkları kapatacak bir kentsel tasarım modeline ihtiyaç olduğu görülmektedir. Araştırmacılar, iklim ile başa çıkmak için tasarım rehberleri ile birlikte mevcut iklim bilgisinin yorumlanması gerektiğini vurgulamaktadırlar (Golany 1996; Pressman 1996; Mills 1999; Scherer vd., 1999).

Bruse ve Fler, 1998 tarafından geliştirilen ENVI-met modeli, iklim verilerinin planlamada kullanılmasına olanak sağlayarak iklim duyarlı alternatif tasarımlar ve senaryolar üretilmesini sağlamıştır. Bu simülasyon modeli, son beş yılda bu alanda yapılan çalışmaların %77' sinde kullanılmıştır (Tsoka vd., 2018). Termal konforlu tasarımlar için oldukça yaygın olarak kullanılan bu model, planlılar ve tasarımcılar için binaların konumlandırması, farklı kat yüksekliklerinin test edilmesi (Maggiotto vd., 2014; Taleghani vd., 2015), binaların farklı açılarda yerleştirilmesi

(Mutlu vd. 2018) veya farklı bitki türlerinin değişimi ile uygun mikro iklimik ortamların üretilmesi senaryolarına olanak sağlamaktadır (Lee vd., 2016; Tan vd. 2016; Yılmaz vd. 2018; Yılmaz vd. 2018a).

Bu çalışmanın temel hipotezi, "Soğuk İklimlerde Kentsel Tasarım Kriterlerinin Kent Mikro İklimi ve Termal Konfor Üzerinde Etkisi Vardır" şeklindedir. Hipotezin doğrulanması amacıyla yöntem, çalışma alanında hava sıcaklığı, bağıl nem, ortalama yansıyan sıcaklık, yüzey sıcaklıkları, gökyüzü görüş faktörü, rüzgâr hızı ve yönü dâhil olmak üzere alınan ve hesaplanan veriler ile arazi kullanımı ve yerel mikro iklim saha araştırmasını içermektedir. Erzurum kent merkezinde yer alan ve kentsel dönüşüm kapsamında bulunan Mahallebaşı örneğinde analizler yapılmıştır. Bu alan için üretilen senaryolardan hangisinin termal konfor açısından daha avantajlı olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Kar ve kış, Erzurum kenti kimliğinin merkezindeki iki kavramdır ve kentin bugünkü gelişim çizgisinde düşünülme zorundadır. Kent merkezi, 1853 metre rakımda Palandöken Dağları'nın kuzey eteklerinde hafif eğimli yüzeyler üzerinde kurulmuştur. Kentsel alan yaklaşık 30 kilometrekaredir. Kent, bir taraftan güneyde Palandöken Dağları eteklerindeki tepelik alanlara doğru genişlerken, çoğunlukla kuzey-kuzeybatı ve batıda Erzurum Ovası düzlükleri üzerinde yayılmaktadır. Kış dönemi 6 aydan uzun bir süreyi kapsayan ilde, sıcaklık Ekim ayında düşmekte, Nisan ayında artmaya başlamaktadır. Ülkemizin en soğuk kentlerinden birisi olan yerleşimde sıcaklık kış aylarında -25°C'nin altına düşebilmektedir. Kar örtüsü periyodu ekim ayından mayıs ayına kadar uzanmaktadır. Ayrıca nemli karasal iklime sahip olan kentte (Kottek vd., 2006) sezona bağlı sıcaklık farklılıkları yüksektir. Yerel ölçekte ise Erzurum kent iklimi, rüzgâr ve güneşlenmeyi etkileyen yerleşme tipolojisi sebebiyle mikro ölçekte farklılaşmaktadır. Çalışma alanı (Şekil 1), kentin kuzeydoğusunda yer alan karma kullanımlı bir yerleşim bölgesidir. Organik bir yerleşim dokusuna sahip olan yerleşimde genellikle 2-3 katlı yapılaşma görülmektedir. Konut ve ticaret kullanımının birlikte olduğu alanda kentsel dönüşüm kararı verilmiştir (Veyisefendi Taş Mescit Kentsel Dönüşüm ve Gelişim Alanı). Ayrıca yapı çevrenin niteliğiz oluşu ve Erzurum kent genelinde olduğu gibi soğuk iklim özelinde bir kimliğinin olmayışı çalışma alanının olumsuz özelliklerindedir.

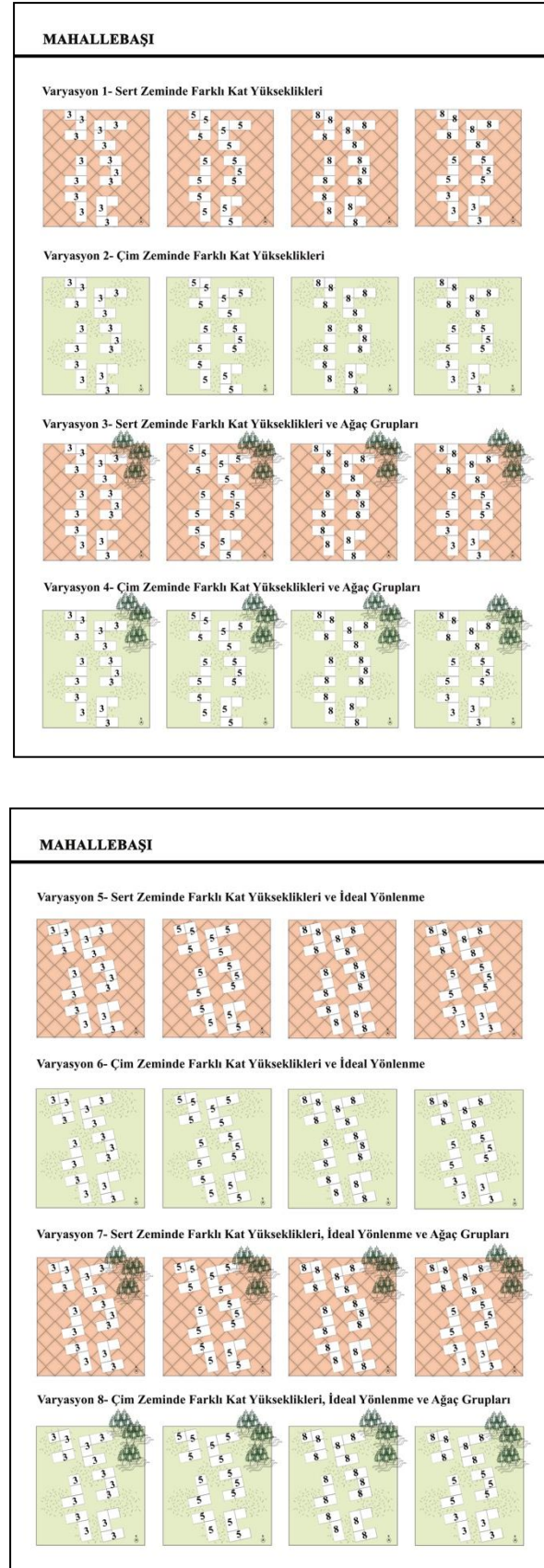
MİKRO-İKLİM ALANI		KONUM		FONKSİYON	
1_Mahallebaşı		Kent Merkezinin Kuzeydoğusu		Konut-Ticaret Alanı	
TOPLAM ALAN	YAPILASMIS ALAN	BINA SAYISI	TAKS	KAKS	YOĞUNLUK
4064 M ²	2910 M ²	28	0.7	1.4	100-150 Kişi/Ha
ORT. BINA YÜKSEKLİĞİ	YG ORANI	GÖKYÜZÜ GÖRÜNÜŞ ORANI (SVF)	GEÇİRLİLİK YÜZÜY	GEÇİRLİSİZ YÜZÜY	SOKAK YÖNLENMESİ
2	0.6	1	%10	%90	KB-GD

Şekil 1. Mahallebaşı semti fiziksel analizi

2.1 Değişkenlerin Tanımlanması ve Varyasyonların Oluşturulması

Kış iklimi özelinde yapılan çalışmada, seçilen tasarım parametreleri soğuk iklim bölgelerinde aranan konut alanı tasarım kriterleri ile ilişkilendirilmiştir. Bu kriterler temel olarak kompakt kent formu, en iyi güneş oryantasyonu için 12° güneydoğu yönlenmesi, soğuk rüzgârların etkisinden korunmak için kuzeydoğu tarafında yoğun iğne yapraklı bitki örtüsü varlığı, karma kullanımlar, rüzgârın etkisini azaltacak ve güneşten maksimum fayda sağlayacak küme tasarımlardır. Bu doğrultuda oluşturulan yöntem, ENVI-met simülasyon modeli ile soğuk iklim tasarım kriterlerinin kesişimi ile 5 başlık altında toplanmış ve bu başlıklar altında varyasyonlar oluşturulmuştur. Yerleşim dokusu, bina kat yüksekliği, yönlenme, zemin yüzeyi ve ağaç grupları şeklindeki 5 başlık çerçevesinde, çalışma alanındaki kentsel çevrenin mikro iklimsel gelişimi için 8 çeşit varyasyon önerilmiştir (Şekil 2).

Konut dokusu analizinde, yol genişliği ile kat yükseklikleri arasındaki ilişkiyi analiz eden gökyüzü görünürlük oranı (GGO) hesaplanmıştır. Fotoğraf makinasına takılan balık gözü lensle çekimler yapılmış ve RayMan pro 2.1 bilgisayar modelinde analizleri hazırlanmıştır. Alanın fiziksel niteliğini belirleyen kriterlerden biri olan gökyüzü görünürlük oranı 0 ile 1 arasında bir ölçüdür. Caddenin ortasında görünen gökyüzünün oranını göstermektedir (Miloseviceva, 2010). Yapılaşmamış alan olması durumunda bu faktör "1"e eşit (%100 görünürlük), birbirine yakın ve çok yüksek binalarla çevrili bir nokta için veya çok dar bir sokak için ise yaklaşık "0.1" olabilmektedir. Mahallebaşı'nda ortalama bina yüksekliğinin 2 kat olması sebebiyle Gökyüzü Görünüş Faktörü "1" olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Mahallebaşı semtinde oluşturulmuş 8 varyasyon

Çalışma alanında nemli karasal iklim ve soğuk karlı günler hâkim olduğundan, bu makalede sadece kış dönemi verileri dikkate alınmıştır. Çalışma alanı içinde Şubat 2019 tarihinde saatlik sıcaklık ölçümleri dijital ısı ve nemölçer FINEST-345 model cihazı ile kaydedilmiştir. Ayrıca Erzurum Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden aynı günün rüzgâr hızı, rüzgâr yönü ve bağıl nem verileri saatlik olarak alınmıştır. Çalışma alanının mikro iklim özelliğini daha iyi anlamak için sıcaklık verilerini kaydeden mobil ölçüm cihazları, ortalama 1,5-2 m yükseklikte konumlandırılmıştır.

Literatürde, öğle saatlerinin kentsel alanda daha fazla ısı birikimine neden olduğu vurgulanmaktadır. Özellikle termal konfor değer aralıkları öğle saatlerinde artış göstermektedir. Dolayısıyla geniş aralık daha fazla ayrıntı göstereceğinden ve değişkenler arasında daha kesin bir karşılaştırma sağlayacağından sonuçlar genellikle saat 13.00 'teki değerlere göre kıyaslanmıştır. Bu nedenle çalışmada ölçüm noktalarından alınan sıcaklık sonuçları 11:00-15:00 saatleri arasında kendi içinde değerlendirilmiş ve simülasyon çıktıları bu saatte alınmıştır.

2.2 ENVI-Met Model Tanımı

Araştırmacılar arasında kentsel iklimi tahmin etmek için üç metodoloji oldukça popülerdir. Birincisi, geçmişte toplanan iklim verilerinin istatistiksel olarak analizine dayanmaktadır. İkincisi, uydu görüntülerinden elde edilen verilerin CBS ile analiz edilmesidir. Üçüncüsü ise kentsel yerleşimin yazılımda modellenmesi ve kent unsurlarının çeşitli parametrelerini değiştirerek etkilerinin sayısal simülasyon modeli ile değerlendirilmesidir (De et al. 2016). ENVI-met, kentsel alanlardaki iklim değişkenlerini hesaplamak ve simüle etmek için geliştirilmiş, üç boyutlu ve 0,5-10 metrelik grid çözünürlüğü olan, non-hidrostatik bir mikro iklim modelidir. Model, toplam radyasyonu (yani doğrudan, yansıyan ve dağınık güneş radyasyonu ve uzun dalga radyasyonu) göz önüne almaktadır. Akışkanlar dinamiği ve termodinamiğin yasalarını kullanarak, gün içinde iklim değişkenlerinin evrimini modellemektedir. ENVI-met modeli, binaların, bitki örtüsünün, yüzey özelliklerinin, toprakların ve iklimsel koşullarının etkisini birleştirerek atmosferin durumunu hesaplamaktadır (Bruse et al. 1998). Bugüne kadar geliştirilen birçok sayısal model arasında ENVI-met, kullanımı kolay olması ve güvenilirlik sebebiyle bu çalışmada tercih edilmiştir. Ayrıca bu model, kentsel mikro iklimsel değişiklikleri termal konfor ve ortalama radyasyon sıcaklığı (T_{MRT}) ölçebilmektedir. Bu da dış mekân termal konforunu

değerlendirmektedir. ENVI-met, özellikle farklı kentsel tasarım seçeneklerinin dış mekân termal çevreye olan etkileri olmak üzere farklı amaçlar için yoğun bir şekilde kullanılmış ve test edilmiştir (Ng et al. 2012; Toudert et al. 2007; Krüger et al. 2011). Kentsel mikro iklim koşullarını hesaplamak için diğer model ve yöntemlerle karşılaştırıldığında, ENVI-met modeli, sokak seviyesinde insan konforunun hesaplanması için en uygun olanıdır.

2.2.1 Simülasyon Veri Girişi

ENVI-met için temel girdi parametrelerini, meteorolojik veriler, başlangıçtaki toprak yapısı ve sıcaklık profilleri, zemin yüzeylerinin yapısı ve özellikleri, bitki örtüsü unsurları ve binalar oluşturmaktadır. Çalışma alanı için yapılan simülasyonlar ile her bir ızgara 1 metre x 1 metre alanı temsil etmektedir. Z yönünde model 20 ızgaradan oluşmakta, modelin yüksekliği 40 metre ile sonlanmaktadır. Alan giriş dosyası (.INX), 100x100x20 (x * y * z) ızgara hücrelerine sahip olup, 1x1x2 metre (x * y * z) ızgara boyutuna ve sonuç olarak 100*100*40 metre alan boyutuna sahiptir. Varyasyon gruplarında sert zemin için ENVI-met yazılımının veri tabanında mevcut olan granit kaplama kullanılmıştır. Geçirgen yüzeyler için ise ortalama yoğunlukta çim zemin seçilmiştir. Kuzeydoğu yönünde kullanılmış ağaç gruplarında her mevsim yeşil ve rüzgârdan koruyucu özellikte olan iğne yapraklı bitkiler tercih edilmiştir. Ortalama 15m yüksekliğinde olan bu ağaçlar, 7m aralıklarla konumlandırılmıştır. Ayrıca rüzgârdan koruyuculuğu arttırmak için 1-1,5m yüksekliğinde ve genişliğinde yoğun çalı grubu da ağaç aralarına yerleştirilmiştir. Modelin doğru bir başlatma zamanına ihtiyacı olması ve ilk 6 saatlik çıktılar modelin dönüş süresi olarak düşünüldüğünden, model toplam 30 saat çalıştırılmıştır. ENVI-met simülasyonlarında meteorolojik giriş verilerinin doğrudan belirli bir tarihe karşılık gelmediği unutulmamalıdır. Önemli nokta ekstrem sıcaklıkların sapma yaratmasını önlemek ve simülasyon sonucunun belirlenen saatler arasında ortalama sıcaklığı yansıtmalarını sağlamaktır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Mahallebaşı simülasyon başlangıç verileri

Yer	Mahallebaşı
Ölçüm Dönemi	Kış Dönemi
Simülasyon Başlangıç Öz.	
Simülasyon Başlangıç Günü	12.02.2018
Simülasyon Başlangıç Saati	00:00
Toplam Simülasyon Saati	30
Izgara Hücresi (x, y, z)	100x100x20
Izgara Boyutu (metre) (x, y, z)	1 x 1 x 2
Model Rotasyon	0
Meteorolojik Koşullar	
Rüzgar Hızı (m/s)	5.1
Rüzgar Yönü (0:N,90:E,180:S,270:W)	220°
Referans Noktasındaki Pürüzlülük (m)	0.1
Başlangıç Sıcaklığı (°C)	1,8
Özgül Nem (2500 m) (g su/kg hava)	7.0
Bağıl Nem (2 m) (%)	53

3. Araştırma Bulguları

3.1 ENVI-Met Model Güvenirliği ve Sonuçların Doğrulanması

Hesaplamaların doğruluğu, büyük ölçüde ızgara boyutuna, modeldeki detaylara ve giriş parametrelerine bağlıdır. Çalışmada, modelleme sonuçları ile ölçülen değerler arasındaki kalibrasyonu değerlendirmek için iki farklı gösterge kullanılmıştır. İlk gösterge olan anlaşma dizini (d), 0-1 arasında değer almakta ve bu değer 1'e ne kadar yakın olursa doğruluk o kadar sağlanmış olmaktadır. Diğer bir gösterge olan RMSE ise bir veri kümesindeki farklı tahmin hatalarını karşılaştıran ve doğruluğu gösteren bir ölçüdür. Daha küçük değerler tahminde daha az hata olduğunu göstermektedir (Şekil 3).

$$d = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{N_D} [(p_j - \bar{o}) - (o_j - \bar{o})]^2}{\sum_{j=1}^{N_D} (|p_j - \bar{o}| + |o_j - \bar{o}|)^2} \quad \text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N_D} (p_j - o_j)^2}{N_D}}$$

Şekil 3. Simülasyonun doğrulanmasında kullanılan istatistiksel indeksler (Battista vd., 2016)

Çalışma alanı olan Mahallebaşı semti için kış döneminde simüle edilen ve ölçülen hava sıcaklığı arasındaki uyuma endeksi 24 saatlik bir

periyot için 0,93 iken RMSE değeri 1,29 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Mahallebaşı için doğrulanmış simülasyon sonuçları

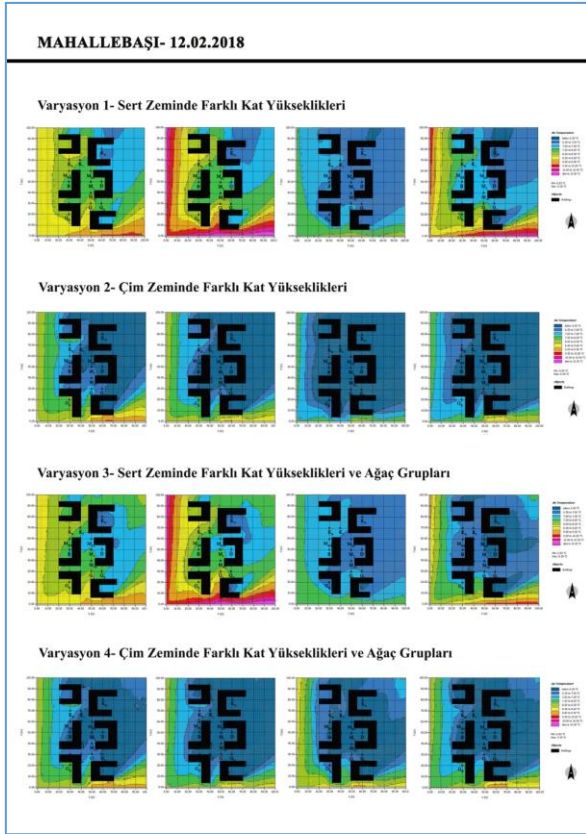
Yer	Mahallebaşı
Ölçüm Dönemi	Kış Dönemi
d	0,93
RMSE (°C)	1,29

3.2 Varyasyonların ENVI-Met ile Simülasyon Sonuçları

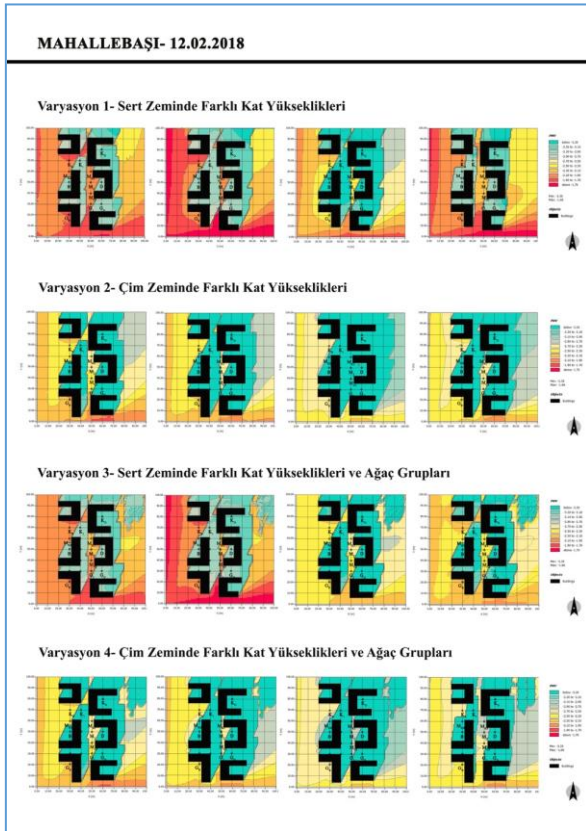
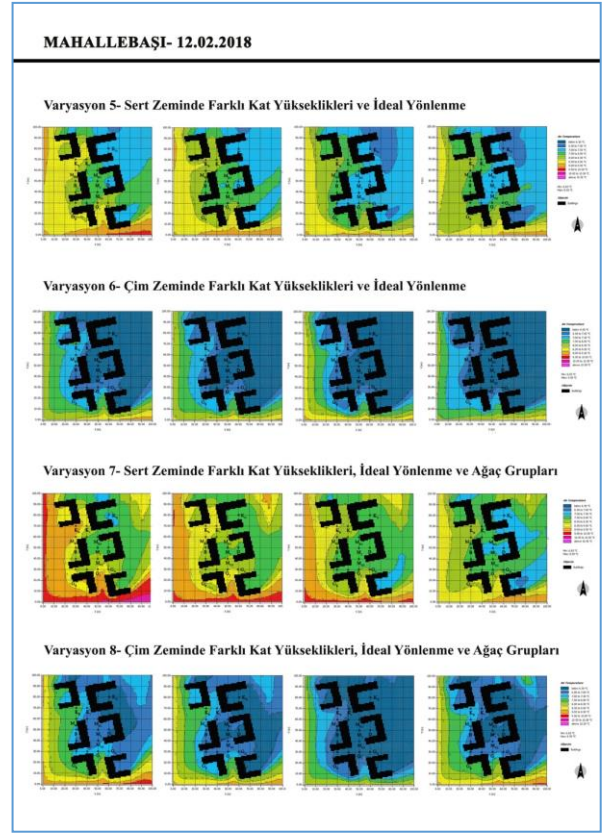
Kış dönemi için varyasyonlarda 3 kat, 5 kat, 8 kat ve farklı kat yüksekliklerinin bir arada olduğu 4 farklı parametre için hava sıcaklığı, hissedilir termal konfor (PMV) ve ortalama sıcaklık (T_{MRT}) değişimi incelenmiştir (Şekil 4-5-6).

3.2.1 Varyasyon-1 (V1) Sert Zeminde Farklı Kat Yüksekliklerinin Mikro İklim Etkisi

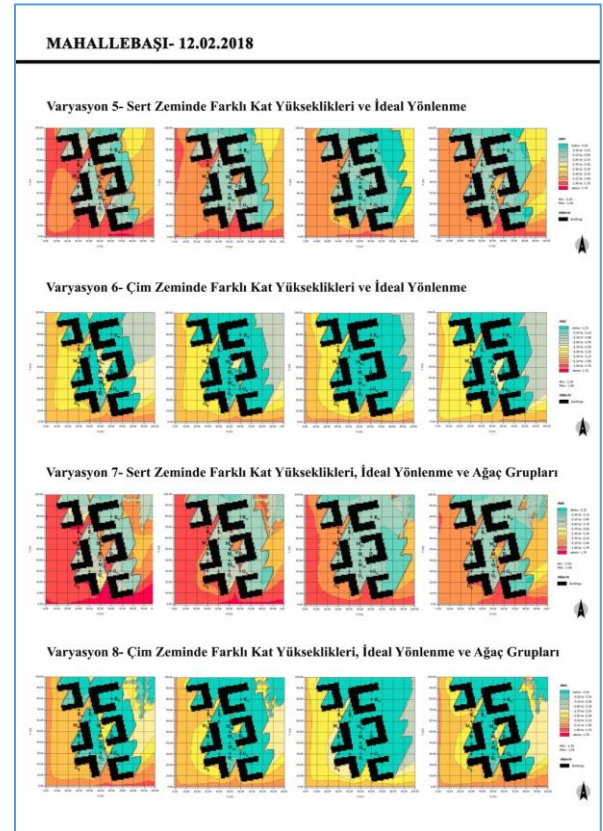
Varyasyon 1'de sert zemin için granit kaplama kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, kat yüksekliği arttıkça gölge artışı ve rüzgâr yönüne de bağlı olarak hava sıcaklığının ortalama 1 °C düştüğünü göstermektedir. Bu değişim özellikle bina yüksekliğinin 5 kattan fazla olduğu alt varyasyonlarda görülmüştür. PMV değeri bu varyasyonlarda -3,5°C ile -1,9°C arasında değişim göstermiştir. PMV değeri -1,5°C ve aşağısını gösteren bu alanın "Orta ve Güçlü Soğuk Stresi" nin etkisinde olduğu tespit edilmiştir. Simülasyonlar, kat yüksekliği arttıkça gölge oluşumunun arttığını ve PMV değerinin düştüğünü göstermektedir. Ayrıca rüzgar, lodos yönünde olduğu için alanın batı tarafında binaların rüzgar yönünü dik keserek soğumayı engellediği ve dolayısıyla PMV değerinin daha yüksek kaldığı görülmüştür. T_{MRT} değerlerinin, bina cephelerinde ve zeminde kullanılan malzemelerin tüm parametrelerde aynı olduğu göz önünde bulundurularak, kat artışı ile birlikte gölge oluşumuna bağlı olarak düştüğü görülmüştür. 5 kat ve 8 kat olan alt varyasyonlarda (1_2 ve 1_3), bina çevresindeki ortalama yansıyan sıcaklık değerinin en düşük değerde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. Mahallebaşı Kış Dönemi Hava Sıcaklığı Simülasyon Sonuçları



Şekil 5. Mahallebaşı Kış Dönemi PMV Değeri Simülasyon Sonuçları





Şekil 6. Mahallebaşı Kış Dönemi T_{MRT} Değeri Simülasyon Sonuçları

3.2.2 Varyasyon-2 (V2) Çim Zeminde Farklı Kat Yüksekliklerinin Mikro İklim Etkisi

Varyasyon 2’de çim zemin, ENVI-met model yazılımında bulunan orta yoğunlukta ve 15 cm yükseklikte seçilmiştir. Terleme ve buharlaşma sebebiyle çim zemin kullanımında sert zemine kıyasla ortamdaki hava sıcaklığının maksimum 2°C ’ye kadar düştüğü görülmüştür. Alt varyasyonların tümünde gölge etkisi ve rüzgâr ile birlikte simülasyonun doğu tarafında hava sıcaklığı $6,5^{\circ}\text{C}$ ’nin üzerine çıkamamıştır. PMV değeri için simülasyon sonuçları, $-3,5^{\circ}\text{C}$ ile $-2,5^{\circ}\text{C}$ arasında değişim göstermiştir. Çim zemin kullanımı sert zemine kıyasla termal konfor değerinde ortalama $0,6^{\circ}\text{C}$ düşüğe neden olmuştur. Özellikle 5 kat ve 8 kat olan alt varyasyonlar, “Güçlü ve Aşırı Soğuk Stresi” oluşumuna neden olmuşlardır. Ayrıca çim zemin kullanımının sert zemine kıyasla ortalama yansıyan sıcaklık değerini 2°C ile 5°C arasında düşürdüğü görülmüştür. Alt varyasyonlarda kat yüksekliğine bağlı kademeli bir sıcaklık değişimi görülmemiş, kat artışı ile birlikte T_{MRT} değerinde alansal büyüme ya da küçülme tespit edilmiştir. Gölge olan alanlar 23°C ’nin altında kalmıştır.

3.2.3 Varyasyon-3 (V3) Sert Zeminde Farklı Kat Yükseklikleri ve Ağaç Gruplarının Mikro İklim Etkisi

Varyasyon 3’te sert zemin ve yine 3 kat, 5 kat, 8 kat ve farklı kat yüksekliklerinin bir arada olduğu 4 farklı parametre sabit tutulmuş, ek olarak kuzeydoğu yönünde her mevsim yeşil ve rüzgârdan koruyucu özellikte olan iğne yapraklı ağaç grupları ve yoğun çalı grubu konumlandırılarak bunların etkisi test edilmiştir. Kış dönemi için simülasyon sonuçlarında özellikle dikkat çeken nokta, sert zeminde ağaç gruplarının konumlandırıldığı kuzeydoğu bölgesinde hava sıcaklığında ortalama $0,5^{\circ}\text{C}$ ’lik bir artışın tespit edilmesidir. İğne yapraklı olan bu ağaç grubu hem rüzgârın etkisini azaltıcı görevde bulunmuş hem de kışın güneş ışığı erişimini tamamen engellemeyerek, ağaçlık alanda sıcaklık artışını sağlamıştır. Bu değişim 3 ve 5 katlı binaların kullanıldığı alt varyasyonlarda (3_1 ve 3_2) daha net görülmüştür. PMV değeri için simülasyon sonuçları bu varyasyonda, $-3,1^{\circ}\text{C}$ ile $-2,3^{\circ}\text{C}$ arasında değişim göstermiştir. Sert zeminde ağaç kullanımı alanın termal konfor değerinde ortalama $0,4^{\circ}\text{C}$ ’lik bir artış sağlarken, ağaçların etrafında ise ortalama $0,2^{\circ}\text{C}$ ’lik bir artış göstermiştir. Ancak alan yine “Güçlü Soğuk Stresi” etkisinde kalmıştır. Kış dönemi için

Varyasyon 3'te T_{MRT} değeri karşılaştırıldığında ağaç gruplarının alan genelinde bir fark oluşturmadığı görülmüştür. Ancak ağaç gruplarının olduğu alanda gölge etkisiyle ortalama yansıyan sıcaklık değerinin $15^{\circ}C$ - $20^{\circ}C$ arasında düştüğü tespit edilmiştir.

3.2.4 Varyasyon-4 (V4) Çim Zeminde Farklı Kat Yükseklikleri ve Ağaç Gruplarının Mikro İklim Etkisi

Varyasyon 4'te çim zemin ile birlikte 3 kat, 5 kat, 8 kat ve farklı kat yüksekliklerinin bir arada olduğu 4 farklı parametre sabit tutularak ve kuzeydoğu yönünde her mevsim yeşil ve rüzgârdan koruyucu özellikte olan iğne yapraklı ağaç grupları ve yoğun çalı grubu konumlandırılarak bunların etkisi test edilmiştir. Bu varyasyonda çim zemin kullanımına ek olarak kuzeydoğu yönündeki ağaç gruplarının varlığı ortamdaki hava sıcaklığında önemli bir değişiklik oluşturmamıştır. Ancak ağaç gruplarının konumlandırıldığı alanda rüzgârı keserek sıcaklık düşüşünü engelledikleri göz önünde bulundurulduğunda, kendi alanları etrafında $0,5^{\circ}C$ 'lik farklar yarattıkları görülmüştür. Simülasyon sonuçları bu varyasyonda alan geneli için hava sıcaklığını $6^{\circ}C$ - $6,5^{\circ}C$ aralığında göstermiştir. PMV değeri, $-3,5^{\circ}C$ ile $-2,5^{\circ}C$ aralığındadır. Çim zeminde ağaç kullanımı varyasyon 2 ile karşılaştırıldığında termal konfor değerinde önemli bir değişiklik oluşturmamıştır. PMV değerindeki en alt değer, bina yüksekliğinin 8 kat olduğu ve gölge etkisinin en fazla görüldüğü alt varyasyon olan 4_3' te tespit edilmiştir. Varyasyon 4 ve Varyasyon 2'deki T_{MRT} değeri karşılaştırıldığında, simülasyon genelinde önemli bir değişim gözlenmezken, ağaç gruplarının olduğu alanda gölge etkisiyle ortalama yansıyan sıcaklık değerinin $15^{\circ}C$ - $20^{\circ}C$ arasında düştüğü tespit edilmiştir.

3.2.5 Varyasyon-5 (V5) Sert Zeminde Farklı Kat Yükseklikleri ve İdeal Yönlenmenin Mikro İklim Etkisi

Varyasyon 5'te sert zemin ile birlikte 3 kat, 5 kat, 8 kat ve farklı kat yüksekliklerinin bir arada olduğu 4 farklı parametre sabit tutulmuş, ek olarak binaların konumu ayarlanırken 12° 'lik bir açıyla güneydoğu yönlendirmesinin etkisi test edilmiştir. Simülasyon sonuçlarında, kış dönemi için 12° 'lik bir açıyla güneydoğu yönünde yapılan sokak yönlendirmesinin özellikle yüksek katlı alt varyasyonlarda hava sıcaklığında ortalama $0,5^{\circ}C$ 'lik artış sağladığı tespit edilmiştir. PMV değeri için simülasyon sonuçları $-3,3^{\circ}C$ ile $-1,9^{\circ}C$ arasında değişim göstermiştir. Yönlenme özellikle simülasyonun batı tarafında rüzgâr geçişine izin vererek PMV değerinin bu alanda

düşmesine neden olmuştur. Bina cephelerinde aynı malzemeler kullanıldığı göz önünde bulundurularak, T_{MRT} değeri varyasyon 1 ile karşılaştırıldığında 12° güneydoğu yönlenmesinin bina katlarına bağlı olarak değer sınırlarının değiştiği tespit edilmiştir.

3.2.6 Varyasyon-6 (V6) Çim Zeminde Farklı Kat Yükseklikleri ve İdeal Yönlenmenin Mikro İklim Etkisi

Varyasyon 6' da yaz döneminde yapılan simülasyonlarda olduğu gibi kış dönemi için de çim zemin ile birlikte 3 kat, 5 kat, 8 kat ve farklı kat yüksekliklerinin bir arada olduğu 4 farklı parametre sabit tutulmuş, ek olarak binaların konumu ayarlanırken 12° 'lik bir açıyla güneydoğu yönlendirmesinin etkisi test edilmiştir. Simülasyon sonuçları, çim zeminde 12° 'lik yönlendirme ile birlikte ortam sıcaklığında önemli bir değişiklik göstermemiştir. Çim zemin üzerinde bina konumlarının 12° 'lik güneydoğu yönlendirilmesi kış dönemi için PMV değerinde önemli bir fark oluşturmamıştır. Termal konfor değer aralığı $-3,1^{\circ}C$ ile $-2,5^{\circ}C$ arasında tespit edilmiştir. T_{MRT} değeri ise, Varyasyon 2'deki değer ile karşılaştırıldığında yönlendirmenin önemli bir fark yaratmadığı tespit edilmiştir. Sadece binaların gölge yönlerinin değişiminden kaynaklı farklar görülmüştür.

3.2.7 Varyasyon-7 (V7) Sert Zeminde Farklı Kat Yükseklikleri, İdeal Yönlenme ve Ağaç Gruplarının Mikro İklim Etkisi

Varyasyon 7' de kış dönemi için sert zeminde 3 kat, 5 kat, 8 kat ve farklı kat yüksekliklerinin bir arada olduğu 4 farklı parametre sabit tutulmuş, ek olarak binaların konumu ayarlanırken 12° 'lik bir açıyla güneydoğu yönlendirmesinin ve kuzeydoğu yönünde her mevsim yeşil ve rüzgârdan koruyucu özellikte olan iğne yapraklı ağaç grupları ve yoğun çalı grubu konumlandırıldığı varyasyonun etkisi test edilmiştir. Simülasyon sonuçları, sert zeminde yönlenmeye ek olarak ağaç gruplarının eklenmesiyle kış dönemi için önemli sıcaklık artışının sağlandığını tespit etmiştir. Bu varyasyon sonuçları, varyasyon 5 ile karşılaştırıldığında, özellikle kuzeydoğu bölgesindeki $6,5^{\circ}C$ - $7^{\circ}C$ arasındaki sıcaklıkların maksimum $8,5^{\circ}C$ ' ye kadar çıktığını göstermiştir. Sert zemin üzerinde yönlenme etkisi ve ağaç gruplarının konumlandırılması PMV değerinde ortalama $0,2^{\circ}C$ 'lik artış sağlamıştır. Bina gölgesinin düştüğü soğuk stres alanlarında ağaç gruplarının ısıtma etkisi yaratması, termal konfor değerindeki bu pozitif etkinin sebebi olarak görülmüştür. T_{MRT} değerinde ise ağaç gruplarının kullanılması simülasyon genelinde önemli bir fark yaratmadığı görülmüştür.

3.2.8 Varyasyon-8 (V8) Çim Zeminde Farklı Kat Yükseklikleri, İdeal Yönlenme ve Ağaç Gruplarının Mikro İklim Etkisi

Varyasyon 8' de çim zeminde binaların konumu ayarlanırken 12°'lik bir açıyla güneydoğu yönlendirmesinin ve kuzeydoğu yönünde her mevsim yeşil ve rüzgârdan koruyucu özellikte olan iğne yapraklı ağaç grupları ve yoğun çalı grubu konumlandırıldığı varyasyonun etkisi test edilmiştir. Simülasyon sonuçları, varyasyon 6 ve kendi içindeki alt varyasyonlarla karşılaştırıldığında simülasyon genelinde önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Ancak çim zeminde kuzeydoğu yönünde konumlandırılan ağaç gruplarının buldukları alanda hava sıcaklığında 0,5°C'lik artış sağladıkları tespit edilmiştir. Ortamdaki PMV değerinde ağaç gruplarının eklenmesiyle önemli bir değişiklik görülmezken, ağaç gruplarının yakın çevresinde 0,4°C'ye yakın bir artış saptanmıştır. Ortalama Radyan Sıcaklık (T_{MRT}) değerinde ise önemli bir değişim tespit edilmemiştir.

4. Sonuç ve Tartışma

Çalışmada, çeşitli kentsel form ve peyzaj elemanlarının soğuk ortamlardaki mikro iklimsel dinamikleri ve kentsel ısıtma ve soğutmayı nasıl etkilediğini daha iyi anlamak için bu varyasyonlar sistematik olarak analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, bitki örtüsünün önemli miktarda hava sıcaklığını soğuttuğunu gösteren önceki çalışmaları doğrulamaktadır (Guhathakurta ve Gober, 2010; Middel, Brazel, Gober, vd., 2012; Middel, Brazel, Kaplan, vd., 2012). Sonuçlar ayrıca soğutmanın sadece bitki örtüsünün ve yüzey malzemelerinin bir fonksiyonu olmadığını, aynı zamanda kentsel özelliklerin biçim ve mekânsal düzenlemesine de bağlı olduğunu göstermektedir.

İncelenen tüm çalışmalarda görülen, yeşil alanların hem güneş hem de gölgede daha serin olduğudur. Bitki örtüsü olan ve olmayan alanlar arasındaki sıcaklık ve termal konfordaki büyük farklılıkların temel nedenleri çoğunlukla (Johansson, Spangenberg, Gouvêa ve Freitas, 2013; Müller ve diğerleri, 2013): açık nemli toprak ve yüzeyindeki net radyasyonun bir kısmının zeminde gizli ısıya dönüşmesi, yaprakların ve orta büyüklükteki yeşilliklerin gölgeleme ve her çeşit bitki örtüsünün evapotranspirasyon etkisi olarak açıklanmaktadır (O'Malley, Piroozfar, Farr ve Pomponi, 2015). Vejetasyon tipinin karşılaştırılması ile ilgili çalışmalar ise ağaç örtüsünün hem ortalama radyan sıcaklık (T_{MRT}) hem de hava sıcaklıklarında çim örtüsünden daha iyi olduğu konusunda hemfikirdir (Cohen vd., 2012; Yahia ve Johansson, 2014; Yang vd., 2011). Bununla birlikte, ölçümler, çim alanı ile

ağaç alanı arasındaki daha büyük farklılıkların, çim sıcaklık düzeninin asfalt karelere benzer şekilde ölçüldüğü gündüz öğle saatlerinde meydana geldiğini göstermiştir. Çimlerin en büyük avantajı, yaz aylarında ve geceleri olmaktadır (Andreou & Axarli, 2012; Johansson vd., 2013).

Kentsel dokuda yüksekliğin artmasının ise her yönelimde daha fazla gölgelenmeye neden olduğu ve hava sıcaklığını 3°C'ye kadar düşürdüğü bilinmektedir (Cohen, Potchter ve Matzarakis, 2012; Johansson ve Emmanuel, 2006). Yapılan çalışmalarda kuzey-güney kanyonlarının bölgesel maksimum hava sıcaklıkları ile hemen hemen aynı değerlere sahipken, doğu-batı kanyonlarında ise sıcaklığın Yükseklik/Genişlik oranına göre 0,5°C -1,0°C arasında değiştiği görülmüştür. Sonuçlar, bina kat yüksekliklerinin çoğunlukla gölgelemenin önemli olduğu doğu-batı yönündeki kanyonları etkilediğini göstermektedir (Tsitoura vd., 2016).

Kış döneminde Mahallebaşı semtinde yapılan simülasyonlar sonucu 12 referans noktası için ortalama Hava Sıcaklığı, PMV ve T_{MRT} değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır (Çizelge 6-7-8). En yüksek sonuca sahip varyasyonlar turuncu ile en düşük değere sahip varyasyonlar ise mavi ile gösterilmiştir.

Çizelge 3. Hava sıcaklığı değeri için varyasyon sonuçlarının karşılaştırması

	Sıcaklık			
	3 Kat (1_1)	5 Kat (1_2)	8 Kat (1_3)	Karma (1_4)
V 1	7,6	7,5	6,6	7,0
V 2	6,5	6,2	6,0	6,1
V 3	7,4	7,5	6,7	6,4
V 4	6,3	6,1	6,1	6,1
V 5	7,8	7,5	7,2	7,3
V 6	6,5	6,4	6,4	6,1
V 7	8,0	8,0	7,8	7,5
V 8	6,8	6,5	6,1	6,5

Karşılaştırmalara bakıldığında ortamdaki hava sıcaklığının literatürde olduğu gibi çim zemin olan ve bina yüksekliğinin 8 kat olduğu alt varyasyonda en düşük seviyede olduğu görülmüştür. Ancak ağaç gruplarının kış döneminde rüzgârı kestiği için çim zemin kadar sıcaklığı düşürücü bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4. PMV değeri için varyasyon sonuçlarının karşılaştırması

	PMV			
	3 Kat (1_1)	5 Kat (1_2)	8 Kat (1_3)	Karma (1_4)
V 1	-2,5	-2,6	-2,9	-2,7
V 2	-2,8	-3	-3,2	-3
V 3	-2,7	-3	-3	-3
V 4	-2,9	-3,3	-3,4	-3,2
V 5	-2,5	-2,9	-2,8	-2,9
V 6	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9
V 7	-2,6	-2,7	-2,8	-2,8
V 8	-3	-3,2	-3,2	-3,2

Termal konfor endeksi olan PMV değerinde de yine en düşük değerler, çim zeminin olduğu varyasyonlarda görülmüştür (varyasyon 4 ve 8). T_{MRT} değerinde en düşük değer ise gölge oluşumu sebebiyle yüksek katın olduğu ve çim zeminin birlikte kullanıldığı varyasyonlarda ölçülmüştür (25,5 °C).

Çizelge 4. T_{MRT} değeri için varyasyon sonuçlarının karşılaştırması

	T_{MRT}			
	3 Kat (1_1)	5 Kat (1_2)	8 Kat (1_3)	Karma (1_4)
V 1	32	31	30	31
V 2	32	28	26	30
V 3	33	32	30	33
V 4	33	28,5	28,5	28,5
V 5	32,5	29	28	30
V 6	31,5	27	25,5	25,5
V 7	30	28	28	28,5
V 8	28,5	28,5	25,5	25,5

Özelleştirilmiş mikro iklimlendirme simülasyon yazılımı ile önerilen varyasyonların ön değerlendirmesi, hava ve yüzey sıcaklıklarındaki ve konfor endekslerindeki potansiyel değişim gösterilmiştir. Ağaç ve bitki örtüsünün gölgelendirme kanopisi olarak eklenmesi, tüm beton ve asfalt kaplamaların çim

zemin ile değiştirilmesi ve aynı zamanda güneydoğu yönlenmesinin eklenmesiyle kış dönemi için önemli bulgular elde edilmiştir. Simülasyonlarda özellikle çim zeminin kış döneminde önemli soğutma etkisi yarattığı görülürken, yönlenmenin olumlu etki bıraktığı tespit edilmiştir.

Analizlerde en iyi sonuç varyasyon 7'de tespit edilmiştir. Simülasyon sonuçları, sert zeminde yönlenmeye ek olarak ağaç gruplarının eklenmesiyle kış dönemi için önemli sıcaklık artışının sağlandığını göstermiştir. Sıcaklık değerlerinde diğer varyasyonlara göre 0,5°C - 2°C arasında, termal konfor endeksi olan PMV değerlerinde ise minimum 0,1°C artış saptanmıştır. En kötü analiz sonucu ise varyasyon 4'te görülmüştür. Simülasyon sonuçlarında alan geneli için hava sıcaklığının 6°C- 6,5°C' den yukarı çıkılmadığı tespit edilmiştir. PMV değeri, -3,5°C ile -2,5°C aralığında kalarak en düşük termal konfor değerlerinden biri olmuştur.

Sonuç olarak, Erzurum'da konut tasarımlarında binaların ve açık alanların tek tek güneşe erişmesi ve diğer binalara ve açık alanlara gölge düşmemesi, ilk tasarım hedeflerinden biri olmalıdır. Sonuçlarda özellikle kış döneminde kat yüksekliği arttıkça uzayan gölge boyları nedeniyle kamusal alanların ve diğer binaların gölgede kaldığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla Erzurum özelinde yükseklik/genişlik oranının mümkün olduğunca düşük tutulması ve kat yüksekliğinin 5 katı geçmemesi gerekmektedir. Cadde ve sokak yönlenmesine bağlı olarak da değişen güneş radyasyonu, simülasyonlarda 12° güneydoğu yönlenmesi ile test edilmiş ve özellikle yüksek katlı doğu-batı formundaki binaların kuzey cephelerinde yönlenme sonucu sıcaklık artışı sağlandığı görülmüştür. Kış döneminde yönlenmenin ortam sıcaklığını ortalama 0,5°C arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca Erzurum'da doğu-batı yönelimi, kışın kuzey cephelerin önemli bir kısmının gölgede kalması sebebiyle kesinlikle tercih edilmemelidir.

Çalışma, kentsel dönüşüm alanında daha sonra yapılacak planlama ve tasarım projelerinin kentteki ve çevresindeki mikro iklimlendirme ve konfor üzerindeki gerçek ölçek etkilerini detaylı olarak ortaya konması amacıyla yol gösterici olmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, doktora tezi kapsamında hazırlanmış olup, 2016/2388 numaralı projeyi destekleyen Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (BAP) ve Erzurum 12. Met. Böl. Müdürlüğü'ne veri paylaşımından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynakça

- 1) Au Andreou, E., & Axarli, K. (2012). Investigation of urban canyon microclimate in traditional and contemporary environment. Experimental investigation and parametric analysis. *Renewable Energy*, 43, 354-363.
- 2) Battista, G., Carnielo E., Vollaro, R. (2016). Thermal Impact of a Redeveloped Area on Localized Urban Microclimate: A Case Study in Rome
- 3) Bruse, M., Fleer, H., 1998. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model, *Environ. Model Softw.* 13 373-384.
- 4) Canan F., Golasi I, Ciancio V., Coppi M., Salata F., 2019. Outdoor thermal comfort conditions during summer in a cold semi-arid climate. A transversal field survey in Central Anatolia (Turkey). *Building and Environment*, 148 (1) 212-224.
- 5) Cohen, P., Potchter, O., & Matzarakis, A. (2012). Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort. *Building and Environment*, 51, 285-295.
- 6) De, B., Mukherjee, M., 2016. Impact Of Canyon Design On Thermal Comfort In Warm Humid Cities: A Case Of Rajarhat-Newtown, Kolkata, India. 4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, 30-31 May and 1 June 2016.
- 7) Dursun, D., Yavaş, M., 2016. Urbanization and the Use of Climate Knowledge in Erzurum, Turkey. 4 th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, 30-31 May and 1 June 2016. *Procedia Engineering*, 169: 324-331
- 8) Dursun, D., Yavaş, M., Güller, C., 2016. Kış Kenti Erzurum'da İklim, Planlama ve Yerel Yönetim Politikalarının Etkileşim Düzeyi. *Planlama Dergisi* 2016;26(2):147-159 doi: 10.14744/planlama.2016.73644
- 9) Dursun, D., Yavaş, M., Okudan, Y., 2016. Kış Kenti Erzurum için Kentsel Tasarım Rehberi. *International Winter Cities Symposium, Proceedings Book (Electronic Book)*, ISBN No: 978-975-442-811-7, p. 935-972. 10-12 February, Erzurum.
- 10) Ebrahimabadi, S., Johansson, C., Nilsson, K.L., 2012. The challenges of incorporating climate considerations into urban planning of the subarctic regions, Paper I. Submitted for publication in *European Planning Studies* in May 2012.
- 11) E. Ng, L. Chen, Y. Wang, C. Yuan, A study on the cooling effects of greening in a high-density city: an experience from Hong Kong, *Build. Environ.* 47 (2012) 256-271.
- 12) E.L. Krüger, F.O. Minella, F. Rasia, Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil, *Build. Environ.* 46 (2011) 621-634.
- 13) F. Ali-Toudert, H. Mayer, 2007. Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons, *Sol. Energy* 81. 742-754.
- 14) Golany, G. 1996. Urban design morphology and thermal performance. *Atmospheric Environment* 30(3): 455-465.
- 15) Guhathakurta, S., & Gober, P. (2010). Residential land use, the urban heat island, and water use in Phoenix: A path analysis. *Journal of Planning Education and Research*, 30(1), 40-51.
- 16) Johansson, E., & Emmanuel, R. (2006). The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Biometeorology*, 51(2), 119-133.
- 17) Johansson, E., Spangenberg, J., Gouvêa, M. L., & Freitas, E. D. (2013). Scale-integrated atmospheric simulations to assess thermal comfort in different urban tissues in the warm humid summer of São Paulo, Brazil. *Urban Climate*, 6, 24-43.
- 18) Karakounos I., Dimoudi A., Zoras S., 2018. The influence of bioclimatic urban redevelopment on outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings* 158: 1266-1274.
- 19) Ketterer C., Matzarakis A. (2014). Human-biometeorological assessment of heat stress reduction by replanning measures in Stuttgart, Germany. *Landscape and Urban Planning*, 122: 78-88.
- 20) Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel, (2006): World Map of the Köppen-Geiger climate classification, updated. *Meteorol. Z.*, 15, 259-263.
- 21) Krüger EL, Rossi F., 2011. Effect of personal and microclimatic variables on observed thermal sensation from a field study in southern Brazil. *Build Environ* 46: 690-697.
- 22) Lee H., Mayer, H., Chen L. (2016). Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. *Landscape and Urban Planning*, 148; 37-50.
- 23) Maggiotto G., Buccolieri R., Santo M. A., Leo L. S., Di Sabatino S. (2014). Validation of temperature-perturbation and CFD-based modelling for the prediction of the thermal urban environment: the Lecce (IT) case study. *Environmental modelling & software*, 60: 69-83.
- 24) Mills, G., 1999. Urban climatology and urban design, 15th International Congress of Biometeorology and International Conference on Urban Climatology 1999.
- 25) Middel, A., Brazel, A. J., Gober, P., Myint, S. W., Chang, H., & Duh, J.-D. (2012). Land cover, climate, and the summer surface energy balance in Phoenix, AZ and Portland, OR. *International Journal of Climatology*, 32(13), 2020-2032.
- 26) Middel, A., Brazel, A. J., Kaplan, S., & Myint, S. W. (2012). Daytime cooling efficiency and diurnal energy balance in Phoenix, AZ. *Climate Research*, 54(1), 21-34.
- 27) Mutlu E., Yilmaz S., Yilmaz H., Mutlu B.E., (2018). Analysis of urban settlement unit by ENVI-met according to different aspects in cold regions. 6th annual international Conference on Architecture and Civil Engineering (ACE 2018), oral presentation, 14-15 May 2018, Singapore
- 28) Müller, N., Kuttler, W., & Barlag, A.-B. (2013). Counteracting urban climate change: adaptation measures and their effect on thermal comfort. *Theoretical and Applied Climatology*, 115(1-2), 243-257.
- 29) Ng, E., Chen, L., Wang, Y., Yuan, C., 2012. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: an experience from Hong Kong. *Build. Environ.* 47, 256-271.
- 30) O'Malley, C., Piroozfar, P., Farr, E. R. P., & Pomponi, F. (2015). Urban heat island (UHI) mitigating strategies: a case-based comparative analysis. *Sustainable Cities and Society*, 19, 222-235.
- 31) Pressman, N., 1996. Sustainable winter cities: Future directions for planning, policy and design. Waterloo: Urban & Regional Planning, Faculty of Environmental Studies, University of Waterloo.
- 32) Pressman, N., 2004. Shaping cities for winter: Climatic comfort and sustainable design. Prince George, B.C.: Winter Cities Association.
- 33) Tan Z., Lau K. K. L., Ng E. (2016). Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment. *Energy and Buildings*, 114: 265-274.
- 34) Taleghani M., Kleerekoper L., Tenpierik M., van den Dobbelen A. (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*, 83: 65-78.
- 35) Toy S., Yilmaz S., 2010. Thermal sensation of people performing recreational activities in shadowy environment: a case study from Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 101 (3-4):329-343

- 36) Tsitoura, M., Michailidou, M., Tsoutsos, T., (2016). Achieving sustainability through the management of microclimate parameters in Mediterranean urban environments during summer. *Sustainable Cities and Society* 26 (2016) 48-64.
- 37) Tsoka, S., Tsikaloudaki, A., Theodosiou, T. (2018). Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications-a review. *Sustainable Cities and Society*. 43:55-76.
- 38) Yahia, M. W., & Johansson, E. (2014). Landscape interventions in improving thermal comfort in the hot dry city of Damascus, Syria—the example of residential spaces with detached buildings. *Landscape and Urban Planning*, 125, 1-16.
- 39) Yang, F., Lau, S. S. Y., & Qian, F. (2011). Thermal comfort effects of urban design strategies in high-rise urban environments in a sub-tropical climate. *Architectural Science Review*, 54(4), 285-304.
- 40) Yilmaz S., Toy S., Irmak M. A., Yilmaz, H., 2007. Determination of climatic differences in three different land uses in the city of Erzurum, Turkey. *Building and Environment*, 42(4):1604-1612
- 41) Yilmaz H., Yilmaz S., Yavaş M., Mutlu E., Koç A., 2016. Climate-sensitive Pavement Modelling for Pedestrian Ways. 4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island (UHI) 2016. *Procedia Engineering*, 169: 408-415
- 42) Yilmaz, S., Yilmaz, H., Irmak, M.A., Kuzulugil, A.C., Koç, A. 2018a. Effects of urban *Pinus sylvestris* (L.) plantation sites on thermal comfort. *Acta Hort.* 1215, 39-44, DOI:10.17660/ActaHortic.2018.1215.6, Eds G. Pennisi, L. Cremonini, T. Georgiadis, F. Orsini, G.P. Gianquinto, ISBN : 978-94-62612-12-9
- 43) Yilmaz S., Mutlu E., Yılmaz H., 2018. Alternative Scenarios For Ecological Urbanizations Using Envi-Met Model. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (26): 26307-26321
- 44) W.T.L. Chow, R.L. Pope, C.A. Martin, A.J. Brazel, Observing and modeling the nocturnal park cool island of an arid city: horizontal and vertical impacts, *Theor. Appl. Climatol.* 103 (2011) 197-211.
- 45) Willmott, C. J., 1981. On the validation of models. *Physical Geography*, 2, 184-194.
- 46) Willmott, C. J., 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63(11), 1309-1313.
- 47) Zhou T., Koomen E., van Leeuwen E. S. (2018). Residents' preferences for cultural services of the landscape along the urban-rural gradient. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29: 131-141.