

ARAŞTIRMA / ARTICLE

İklim Duyarlı Kentsel Tasarım İlkeleri: Erzurum Kenti Örneği

*Climate Sensitive Urban Design Principles: The Case of Erzurum City*Merve Yavaş,¹ Sevgi Yılmaz²¹Atatürk Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Erzurum²Atatürk Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Erzurum

ÖZ

Ülkemizde son yıllarda iklime duyarlı ve sürdürülebilir kentsel gelişmeye yönelik farkındalığın artmasına rağmen, bu süreci kararlı, esnek ve yerel ölçekte yöneten çok az sayıda strateji bulunmaktadır. İklim koşullarına duyarlı bir planlama yaklaşımı, diğer iklim tiplerinde olduğu gibi soğuk iklim bölgeleri için de tasarım sürecine iklim bilgisinin etkili bir şekilde dâhil edilmesini gerektirmektedir. Soğuk iklim bölgelerindeki kış koşulları, açık alan tasarımı ve dış mekân konforu açısından oldukça zorlayıcı durumlar yaratmaktadır. Bu zorlayıcı koşullar kış kentleri olarak adlandırabileceğimiz kentler için iklim duyarlı tasarım ilkelerini ve diğer uygulama araçlarını zorunlu kılmaktadır. Soğuk iklim koşulları altındaki kentsel alanlarda yaşam kalitesi, bu tür bir planlama yaklaşımının geliştirilip geliştirilmemesine bağlı olarak olumlu veya olumsuz etkilenebilmektedir. Bu bilgiler ışığında çalışmada Türkiye'nin en soğuk iklimlerinden birine sahip olan Erzurum kentinde, kentsel planlama pratiklerinin mikro iklimi nasıl etkilediği açıklanmaya çalışılmıştır. Bu doğrultuda seçilmiş bir kentsel doku üzerinden yürütülen çalışmada, 2018–2019 yıllarında kentte 2 metreden kaydedilen meteorolojik verilerle toplam 32 iklim simülasyonu yapılmış ve mikro ölçekte kentin termal konfor durumu değerlendirilmiştir. Simülasyonlar ve termal konfor hesaplamaları için son yıllarda tercih edilen ENVI-met mikro iklim modeli kullanılmıştır. Oluşturulan varyasyonlar ile kış döneminde hava ve yüzey sıcaklıkları üzerindeki değişim incelenmiştir. Bulgular kentin özellikle kış döneminde aşırı soğuk stres altında olduğunu göstermiştir. Simülasyonlara dayalı olarak oluşturulan yere özgü iklim duyarlı tasarım ilkeleri ve yazından elde edilen teorik bilgilerin bütüncül olarak kullanımıyla, dış mekân konforunu kış aylarında 2°C'ye kadar artırılabilceği tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar yerel yönetimlerin ve tasarımcıların gelecekte benzer mahallelerde simüle edilmiş önlemlerin etkisini tahmin etmelerini sağlayarak iklim duyarlı planlama alanındaki bilgi birikimlerine katkıda bulunacaktır.

Anahtar sözcükler: ENVI-met; Erzurum; kent mikro iklimi; soğuk iklim; termal konfor.

ABSTRACT

In the last decade, the awareness of climate sensitive and sustainable urban development is increased in Turkey. However, there are very few strategies managing this process at a stable, flexible and local scale. A climate-sensitive urban planning approach is the main strategy in this process requiring the effective integration of climate information into the design process especially for cold climate conditions as for all other climate zones. Since, the harsh winter conditions of cold climate cities create very challenging conditions in terms of outdoor design and outdoor comfort. It also directly affects the quality of life. These challenging conditions make cold climate-sensitive urban design principles and other application tools essential for winter cities. By this way, it is possible to positively change the effects of weather on the quality of life. In the light of this information, the effects of urban planning practices on microclimate of Erzurum as one of the coldest climate cities in Turkey are explained within the scope of this study. Accordingly, the analyses are conducted on four selected settlement patterns in the city within 2018–2019. The meteorological data of these settlements was obtained from the record taken from approximately 2 meters high from ground. Then, 32 climate simulations were made for these four different study areas. Additionally, thermal comfort level of the city was also evaluated at micro-scale, through these case areas. For the simulations and evaluations of thermal comfort, ENVI-met micro climatic model was used. Changes on air and surface temperatures during the winter period were investigated within the variations of design parameters. The findings show that the city is under extreme cold stress, especially in winter. It has been confirmed that urban design projects can increase outdoor comfort up to 2°C in winter. The design principles used in the projects are based on the principle of location-specific climate-sensitive urban design principles produced within the results of simulations and theoretical knowledge obtained from literature. The results of this study will contribute to the knowledge of local governments and designers. It enables them to predict the impacts of simulated design parameters in similar districts.

Keywords: ENVI-met; Erzurum; cold climate; thermal comfort; urban micro climate.

Geliş tarihi: 03.07.2019 Kabul tarihi: 14.01.2020
Online yayımlanma tarihi: 23.06.2020
İletişim: Merve Yavaş
e-posta: merveyavs@gmail.com

TMMOB
Şehir Plancıları Odası

1. Giriş

Açık alan tasarımında dış mekânların konforu, soğuk iklimler için önemli fakat zor bir hedefdir. Her iklim tipi gibi soğuk iklim koşullarına duyarlı bir kentsel tasarım yaklaşımı da gerekli olmakla birlikte, bu durum kentsel iklim bilgisinin kentsel tasarıma etkili bir şekilde dâhil edilmesini gerektirmektedir.

Yerel iklim koşullarının göz ardı edilmesi sonucu konforsuz ve düşük yaşam kalitesine sahip kentlerin oluştuğu bilim adamları tarafından da ifade edilmektedir. Geleneksel yerleşim tipolojilerinde iklim faktörünün büyük ölçüde dikkate alındığı görürken, bugün ki mekânsal uygulamalarda iklim konusu ihmal edilmektedir. Modern çağda, kentsel tasarım uygulamalarında çoğunlukla yerel özellikler gözmezden gelmektedir. Bu durum bir yandan kentsel yaşam konforunu olumsuz etkilerken bir yandan doğal kaynakların aşırı tüketimine ve iklim değişikliklerine yol açarak doğaya zarar vermektedir.

İklim ve planlama ilişkisi dendiğinde akla gelen durum dış mekânlar da termal konforun yani yaşam kalitesinin artırılması olmaktadır (Ebrahimabadi, 2012). Bu doğrultuda iklimle ilişkili yapılan çalışmalarda, kentsel mekânda konfor düzeyini belirleyen tanımlayıcı analizler yapılırken kentleşme problemlerinden bahsedilmemektedir. Kış ve soğuk iklim koşulları özelinde yapılan çalışmalara baktığımızda ise yağışın kar şeklinde olduğu ve çok sık don olaylarının yaşandığı bölgelerde insanların gündelik hayatlarında çok kısıtlayıcı durumların ortaya çıktığı ve iyi tasarlanmamış çevrelerin de bu şartlara eklenmesiyle yaşam kalitesinin düştüğü görülmektedir (Pressman, 2004).

Sonuç olarak, 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; Scherer, Fehrenbach, Beha, & Parlow, 1999; Pressman, 1995b; Mills, 1999). Tüm dünyada bütün yerleşimler tarafından uyarlanacak ve genel ölçütleri sağlayacak kurallar yerine bir kentsel alana ve iklim özelliklerine özgü ilkelerin oluşturulması gerekliliği açıktır.

Ülkemizde bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar artmaktadır. Ancak iklim duyarlılığı ile ilgili araştırma ve tasarım projeleri çoğunlukla bina ölçeği ile sınırlı kalmaktadır. Kentsel açık alana ve termal konfora odaklanan çalışmalar hem teorikte hem de pratikte sınırlı sayıdadır. Soğuk iklimde duyarlı kentsel tasarım araştırmaları ile ilgili olarak detaylı bilgilere ise özellikle Kuzey Amerika, Kanada ve İskandinav ülkelerindeki çalışmalarda rastlanmaktadır.

Kar ve kış, Erzurum kenti kimliğinin merkezindeki iki kavramdır ve kentin bugünkü gelişim çizgisinde düşünülme zorunda-

dır. Kentsel aktiviteleri sürdürebilmenin soğuk iklim koşulları nedeniyle çok zor olduğu Erzurum'da, kış güneşini alan kamusal alanları tasarlayabilmek, soğuk rüzgârlardan bu toplanma alanlarını koruyabilmek, kenti yaya-bisiklet ve araç için keyifli ve güvenli olarak ulaşılabilir kılmak en temel zorunluluklardır (Dursun & Yavaş, 2016). Ülkemizin en soğuk kentlerinden birisi olan yerleşimde, sıcaklık kış aylarında -30°C'nin altına düşebilmektedir. Kış ikliminin yaklaşık altı aya yakın sürdüğü kentte yapı çevrenin oluşumu ve kentleşme süreçleri bu durumdan bağımsız olarak gerçekleşmekte ve sonuçta kentsel yaşam kalitesi düşmektedir.

Bu süreçte uyumsuzlukların azaltılması, kış koşullarının yattığı stresi azaltıcı önlemler ve faydalanma yönünde yaratıcı çözümlerin üretilmesi gerektiği açıktır (Pressman, 2004). Bu doğrultuda iklim duyarlı tasarım ilkeleri ve diğer uygulama araçları; kentsel açık alanda konforu arttırmak, dünya kaynaklarının tüketimini azaltmak ve aynı zamanda kentsel proje maliyetlerini en aza indirmek için önemli bir araçtır.

Çalışmanın amacı, soğuk iklimlerde açık hava konforuna odaklanarak mikro iklim duyarlı kentsel tasarım bilgisine katkıda bulunmak, soğuk ve uzun kış ikliminin hâkim olduğu Erzurum'da mikro iklim ve kentsel tasarım ilişkisinin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktır. Çalışma basamakları, soğuk iklimlerde çevresel konforu arttırmak için özellikle şu konular üzerinden yürütülmüştür;

- Rüzgârdan korunmak
- Güneşe erişimi arttırmak
- Açık alanda karı yönetmek

Bu araştırma, tasarım ilkeleri ve mikro iklim konularına yönelik analitik yöntemlerin daha dengeli bir şekilde uygulanmasının gerekli olduğunu vurgulamaktadır. Açık hedef tanımlama, teori oluşturma ve araştırma ile uygulama arasındaki ilişkiyi iyileştirme de dâhil olmak üzere açık hava konforunun uygulanma biçiminde bir değişiklik yaratma önerileri sunulmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmanın ana materyalini Erzurum kenti oluştururken, soğuk iklim koşulları kentin çalışma alanı olarak seçilmesinde önemli rol oynamıştır. Bu çalışmanın verileri Yavaş (2019)'ün doktora tezi kapsamında yapılmıştır (Şekil 1).

Bu çalışma, Erzurum'da yaygın olarak kullanılan belirli bir kentsel tipolojinin mikro iklim üzerindeki etkilerinin bir bölümünü bildirmektedir. Yıldızkent, daha önce yapılan çalışmalarda yer seçimi ve tasarım çözümleri bağlamında iklim açısından en uygun yerleşim olarak tespit edilmiştir (Dursun ve Yavaş 2015, 2018). Bu doğrultuda çalışmada Yıldızkent semti üzerinden oluşturulan varyasyonlarla iklim simülasyonları oluşturulmuştur. Çalışmanın yapıldığı alanın gelişimi 2000'li yılların başına



Şekil 1. Kışın Erzurum kent merkezi ve konut alanları, 2019.

dayanmaktadır. Çoğunlukla 5 katlı yapıların hakim olduğu bölgenin konut tipolojisi daha çok küme tasarımı şeklindedir (Şekil 2). Yerleşimde kamusal alan tasarımı, mekân organizasyonları ve açık-yeşil alan dengesinin sağlandığı görülmektedir.

Soğuk iklim özelinde çalışma alanı değerlendirildiğinde, sokak yönlenmesi ve kent geometrisi kriterlerinin uygun olduğu görülmektedir. Binaların genel olarak, diğer binaları gölgede bırakmayacak yükseklikte ve aralıkta konumlandırılması, güneşe erişimde önemli avantajlar sağlamıştır. Tüm çalışma alanlarında olduğu gibi kar depolama alanlarının olmayışı, kışın araba park yeri ve yaya ulaşımında önemli sorunları beraberinde getirmektedir.

Çalışma alanının fiziksel özellikleri ile birlikte kentin meteorolojik verileri de araştırmanın ana materyalini oluşturmaktadır. Kullanılacak iklim verilerinin ve temsili bir simülasyon tarihinin seçilmesi getirilecek tasarım önerilerinde büyük öneme sahiptir.






Çalışma alanı içinde kış dönemi için Şubat 2018 ve Şubat 2019 tarihlerinde saatlik sıcaklık ölçümleri dijital ısı ve nem ölçer FINEST-345 model cihazı ile kaydedilmiştir. Ayrıca Erzurum Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden aynı günlerin 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 2 metre yükseklikte konumlandırılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan araştırma yöntemleri, oluşturulan varyasyonlar ve bunlar arasındaki ilişkiler bu bölümde açıklanmış ve Şekil 3'te şematik olarak sunulmuştur.

Yöntem, araştırma alanında hava sıcaklığı (°C), bağıl nem (g/m^3), ortalama yansıyan sıcaklık (°C), yüzey sıcaklıkları, gökyüzü görüş faktörü (GGO), rüzgâr hızı (m/s), bulutluluk (%) ve yönü dâhil olmak üzere alınan ve hesaplanan veriler ile oluşturulan 8 çeşit varyasyon sonucunda simülasyon haritaları ve yerel mikro iklim saha araştırmalarını içermektedir. Çalışmada, kentsel alanların genel mikro iklim simülasyonu ENVI-met programı ile elde edilmiştir. Ayrıca program ile birlikte termal konfor indekslerinden biri olan PMV (Predicted Mean Vote) değeri hesaplanmıştır (Tablo 1).

2.1. ENVI-met Modelinin Tanıtımı

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 & Mukherjee, 2016). Bu doğrultuda son yıllarda mikro iklimlendirme analizi için en yaygın kullanılan dinamik simülasyon araçlarından biri, Ruhr Bochum Üniversitesi'nde

MİKRO-İKLİM ALANI		KONUM		FONKSİYON	
3_Yıldızkent		Kent Merkezinin Güneyi		Konut Alanı	
					
					
TOPLAM ALAN	YAPILAŞMIŞ ALAN	BİNA SAYISI	TAKS	KAKS	YOĞUNLUK
15760 M ²	10366 M ²	8	0.6	3	100-200 Kişi/Ha
ORT. BİNA YÜKSEKLİĞİ	Y/G ORANI	GÖKYÜZÜ GÖRÜNÜŞ ORANI (SVF)	GEÇİRİMLİ YÜZEY	GEÇİRİMSİZ YÜZEY	SOKAK YÖNLENMESİ
5	1	0.7	%40	%60	KKB-GGD

Şekil 2. Yıldızkent semti fiziksel analizi.

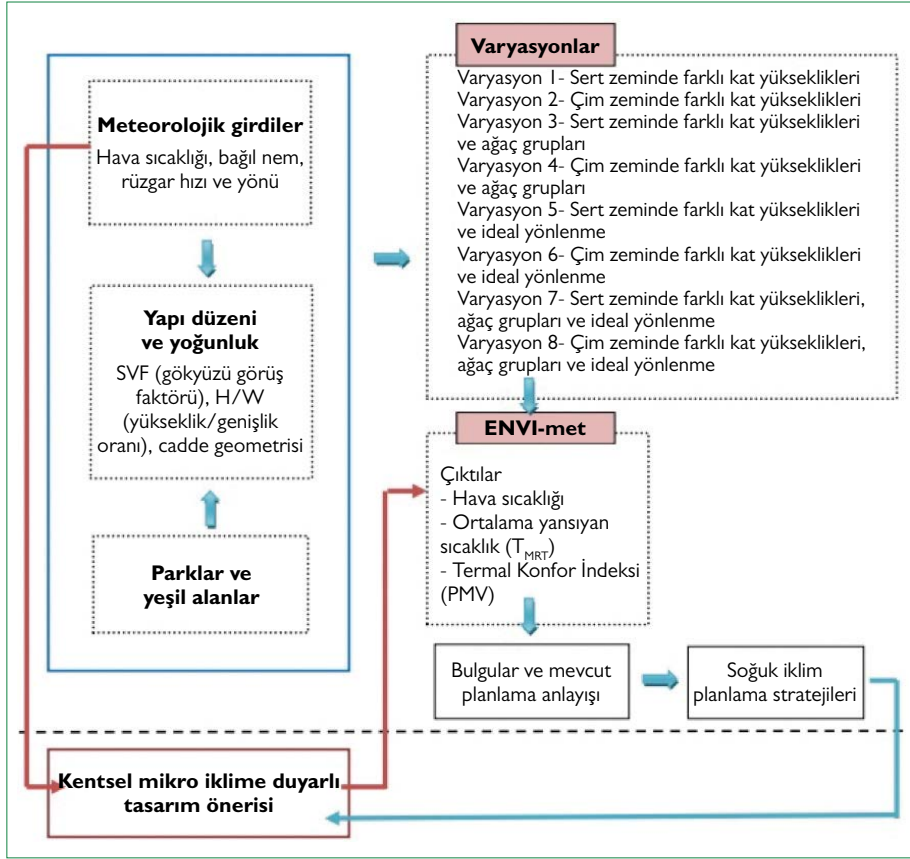
Michael Bruse tarafından geliştirilen ENVI-met modelidir (Bruse & Fleer, 1998; Bruse 2018). Modelin ilk resmi sürümü 1998 yılında ortaya çıkmış ve 2017 yılına kadar dünya genelinde 1900'den fazla kayıtlı kullanıcı mikro iklimlendirme araştırması için kullanmıştır. Ayrıca, ENVI-met çalışmalarının toplam sayısının %77'si son beş yılda yayınlanmıştır. Mevcut çalışmaların çoğunda, model yalnızca araştırma için kullanılmamış, aynı zamanda uygulanmıştır (Tsoka et al., 2018).

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 & Fleer, 1998).

Bugüne kadar geliştirilen birçok sayısal model arasında ENVI-met, kullanımı kolay olması ve güvenilirlik sebebiyle bu çalışma-

da tercih edilmiştir. Ayrıca bu model, kentsel mikro iklimsel değişiklikleri termal konfor (PMV) ve ortalama radyasyon sıcaklığı (T_{MRT}) ile 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 (Ali-Toudert & Mayer, 2007; Chow, Pope, Martin, & Brazel, 2011; Krüger, Minella, & Rasia, 2011; Ng, Chen, Wang, & Yuan, 2012; Maggionto, Buccolieri, Santo, Leo, & Di Sabatino, 2014; Taleghani et al., 2015; Tsoka, Tsikaloudaki, & Theodosiou, 2018; Yılmaz et al., 2018). Kentsel mikro iklim koşullarını hesaplamak için diğer model ve yöntemlerle karşılaştırıldığında, ENVI-met modeli, sokak seviyesinde insan termal konforunun hesaplanması için en uygun olanıdır. Model üzerinde çalışmalar halen devam etmektedir.

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. Simülasyonu çalıştırmak için kullanıcı tarafından oluşturulan iki dosya gerekmektedir. Birincisi, *.INX formatında olan ve simüle edilecek alanın gerekli tüm fiziksel bilgilerini tutan bir alan giriş dosyasıdır. Dosya, simülasyonun



Şekil 3. Çalışmanın metodolojik çerçevesi.

Tablo 1. PMV indeksine ait termal his ve stres seviyeleri (Matzarakis et al. 1999)

PMV (C°)	İnsan termal hissi	Termal stres seviyesi
>-3.5	Çok soğuk	Aşırı soğuk stresi
(-3.4)-(-2.5)	Soğuk	Güçlü soğuk stresi
(-2.4)-(-1.5)	Serin	Orta soğuk stresi
(-1.4)-(-0.5)	Hafif serin	Hafif soğuk stresi
(-0.4)-0.5	Konforlu	Termal stres yok
0.6-1.5	Hafif ılıman	Hafif sıcaklık stresi
1.6-2.5	İlman	Orta sıcaklık stresi
2.6-3.5	Sıcak	Güçlü sıcaklık stresi
3.5 +	Çok sıcak	Aşırı sıcaklık stresi

boyutları, binaların büyüklüğü ve yerleşimi, çeşitli yüzeylerin malzemeleri, yol, bitki örtüsü vb. hakkında bilgi içermektedir. İkinci, *.SIM dosyası simülasyonun başlangıç noktasında iklim verilerini içeren ve zaman çizelgesinde sonuçları gösteren çıktı dosyasıdır. Mobil olarak ölçülen veya sabit bir meteoroloji istasyonundan alınan iklim verileri (sıcaklık, nem, rüzgar hızı ve yönü), ENVI-met programında bir simülasyon başlatmak için gerekmektedir ve bir *.SIM dosyasında saklanmaktadır.

Bu dosya aynı zamanda simülasyon çalıştırmasında alan giriş dosyası (*.INX), toprak veri tabanı ve bitki veri tabanı ile ilişkilendirilmektedir. Ayrıca, modelde simülasyonun başlama tarihi ve zamanı, toplam simülasyon çalışma zamanı, sonuçların çıktı aralığı, çıktı klasörünün konumu ve yolu, simülasyonun zaman aşımı aralığı, simülasyon başlangıç noktası meteorolojik parametreleri, radyasyon düzeltme ve model zamanlaması da belirtilmektedir.

Meteorolojik veriler mobil ölçüm cihazı ile 30 saat boyunca çalışma alanında kaydedilmiştir. Kış dönemi için 2 yıl içerisinde aynı tarihlerde ölçüm yapılmış ve bu tarihlerdeki ortalama sıcaklık simülasyonun başlangıç sıcaklığını oluşturmuştur. Bağıl nem, bulutluluk, rüzgar yönü ve rüzgar hızı verileri için ise Erzurum 12. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden saatlik veriler alınmıştır (Tablo 2).

2.2. Kentle İlgili Varyasyonların Oluşturulması

Bu çalışmada kentsel tasarım ve meteoroloji parametrelerinin seçimi temel olarak ENVI-met simülasyon programının kapasitesine ve kentsel gelişim için sahip oldukları uygulanabilir değerlere dayanmaktadır. Bir dizi değişken, hava sıcaklığı ve termal konfordaki karşılıklı farklılıklara göre analiz edilmiştir. Bu çalışma için seçilen simülasyon varyasyonlarının sayısı zaman

Tablo 2. Yıldızkent semti simülasyon başlangıç verileri

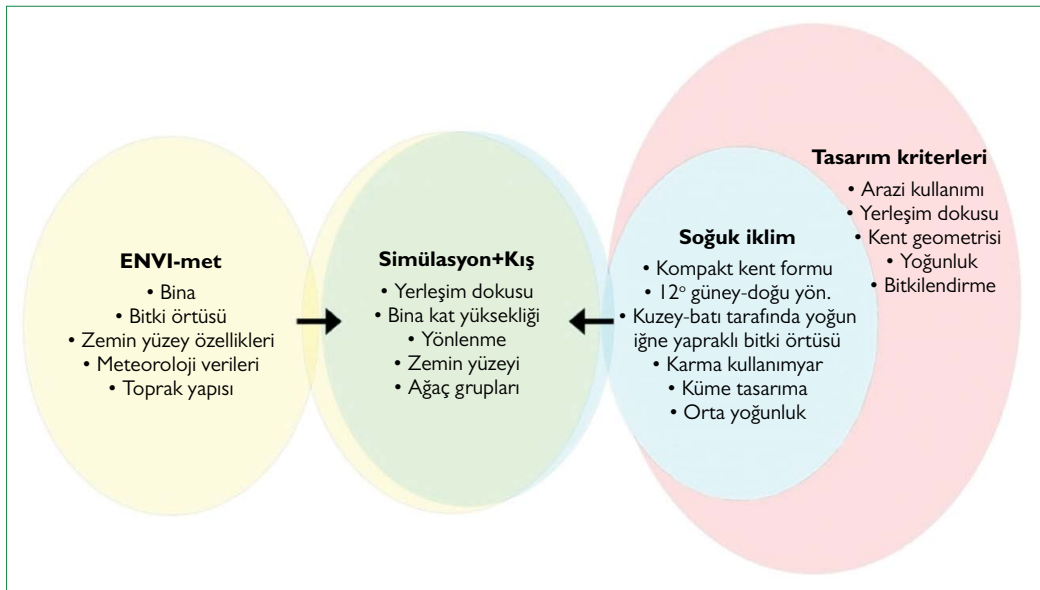
Yer	Yıldızkent	
	Yaz dönemi	Kış dönemi
Ölçüm dönemi		
Simülasyon başlangıcı ve özellikleri		
Simülasyon başlangıç günü	23 temmuz	15 şubat
Simülasyon başlangıç saati	00:00	00:00
Toplam simülasyon saati	30	30
Izgara hücresi (x, y, z)	100x100x20	100x100x20
Izgara boyutu (metre) (x, y, z)	1x1x2	1x1x2
Model rotasyon	0	0
Meteorolojik koşullar		
Rüzgar hızı (m/s)	0.5	2.6
Rüzgar yönü (0: N, 90: E, 180: S, 270: W)	150°	280°
Referans noktasındaki pürüzlülük (m)	0.1	0.1
Başlangıç Sıcaklığı (°C)	23.5	-0.7
Özgül Nem (2500 m) (g su/kg hava)	7.0	7.0
Bağıl Nem (2 m) (%)	62	94

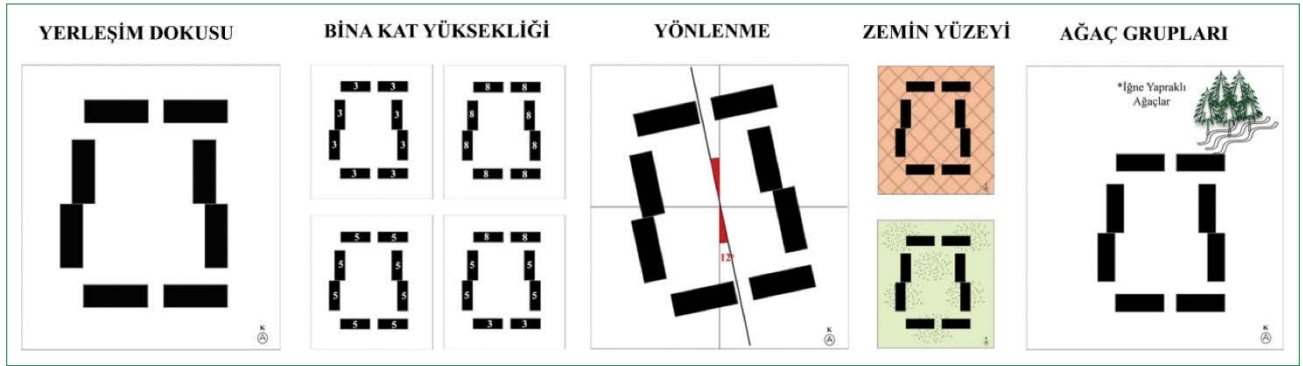
nedeniyle ve analizi yönetilebilir hale getirmek için sınırlı tutulmuştur. Ayrıca kış iklimi özelinde yapılan çalışmada, seçilen tasarım parametreleri soğuk iklim bölgelerinde aranan konut alanı tasarım kriterleri ile ilişkilendirilmiştir. Bu kriterler temel olarak; kompakt kent formu, en iyi güneş oryantasyonu için 12° güneydoğu yönlenmesi (Victor, 1963), soğuk rüzgârların

etkisinden korunmak için kuzeybatı tarafında yoğun iğne yapraklı bitki örtüsü varlığı, karma kullanımlar, rüzgârın etkisini azaltacak ve güneşten maksimum fayda sağlayacak küme tasarımlardır. Bu doğrultuda oluşturan yöntem, ENVI-met simülasyon modeli ile soğuk iklim tasarım kriterlerinin kesişimi ile 5 başlık altında toplanmış ve bu başlıklar altında 8 varyasyon oluşturulmuştur (Şekil 4). Mikro iklimi etkileyen çok fazla sayıda etken faktör olmasına rağmen, simülasyonların uzun zaman alması nedeni ile alanın özellikleri doğrultusunda sınırlandırılmıştır. Literatür analizlerinde en yüksek etki gösteren faktörler kriter olarak alınmıştır. Bu çalışmada, kat yükseklikleri, bitkilendirme, zemin yüzeyi, aç/yönlenme ve yerleşim dokusu modeli dikkate alınarak hazırlanan 8 varyasyonun özellikleri şu şekilde belirlenmiştir (Şekil 5):

- Varyasyon 1- Sert zeminde farklı kat yükseklikleri
- Varyasyon 2- Çim zeminde farklı kat yükseklikleri
- Varyasyon 3- Sert zeminde farklı kat yükseklikleri ve ağaç grupları
- Varyasyon 4- Çim zeminde farklı kat yükseklikleri ve ağaç grupları
- Varyasyon 5- Sert zeminde farklı kat yükseklikleri ve ideal yönlenme
- Varyasyon 6- Çim zeminde farklı kat yükseklikleri ve ideal yönlenme
- Varyasyon 7- Sert zeminde farklı kat yükseklikleri, ideal yönlenme ve ağaç grupları
- Varyasyon 8- Çim zeminde farklı kat yükseklikleri, ideal yönlenme ve ağaç grupları (Şekil 4)

Ayrıca çalışma alanında oluşturulan her varyasyonun kendi içinde 4 karşılaştırması yapılmıştır. Yıldızkent semtinde kış dönemi için toplam 32 simülasyon gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 4.** Değişkenlerin tanımlanması.



Şekil 5. Varyasyon kriterleri.

Tablo 3. Şubat 2018–2019 dönemi kaydedilen saatlik sıcaklık ölçümleri (°C)

Zaman	Şubat–2018	Şubat–2019
11:00	10.6	-1.7
12:00	9.8	-1.5
13:00	10.4	-1.4
14:00	10.9	-0.2
15:00	10.3	-1.8

3. Araştırma Alanına Ait Bulgular

Varyasyon çalışmasında değiştirilen parametrelere bağlı olarak hava sıcaklığı, ortalama radyan sıcaklık ve termal konfor indeksi olan PMV değeri analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçları literatürde bulunan sonuçlarla karşılaştırılmış, ayrıca alan ölçümleri ile ENVI-met sonuçları doğrulanmıştır. Haritalar, kış döneminde oluşturulmuş ve sonuçlar belirlenen referans noktaları üzerindeki değişimlerle grafikler üzerinden karşılaştırılabilir olarak aktarılmıştır.

3.1. Araştırma Alanı Mikro Klimatik Veri Analizleri

Araştırma alanına ait olan ve saatlik olarak kaydedilen meteorolojik veriler analiz edilmiştir. Literatüre göre, 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 kıyaslanmaktadır. Ayrıca insanların öğle arası hareketliliği nedeni ile dış mekanları yoğun olarak kullandığı saat olarak 13:00 kabul edilmiştir (Tablo 3).

3.2 Araştırmada Kurgulanan Varyasyonların Simülasyon Sonuçları

Bu çalışma kapsamında 8 farklı varyasyon kurgusu yapılmıştır. Varyasyonların analizi ENVI-met modeline göre simüle edil-

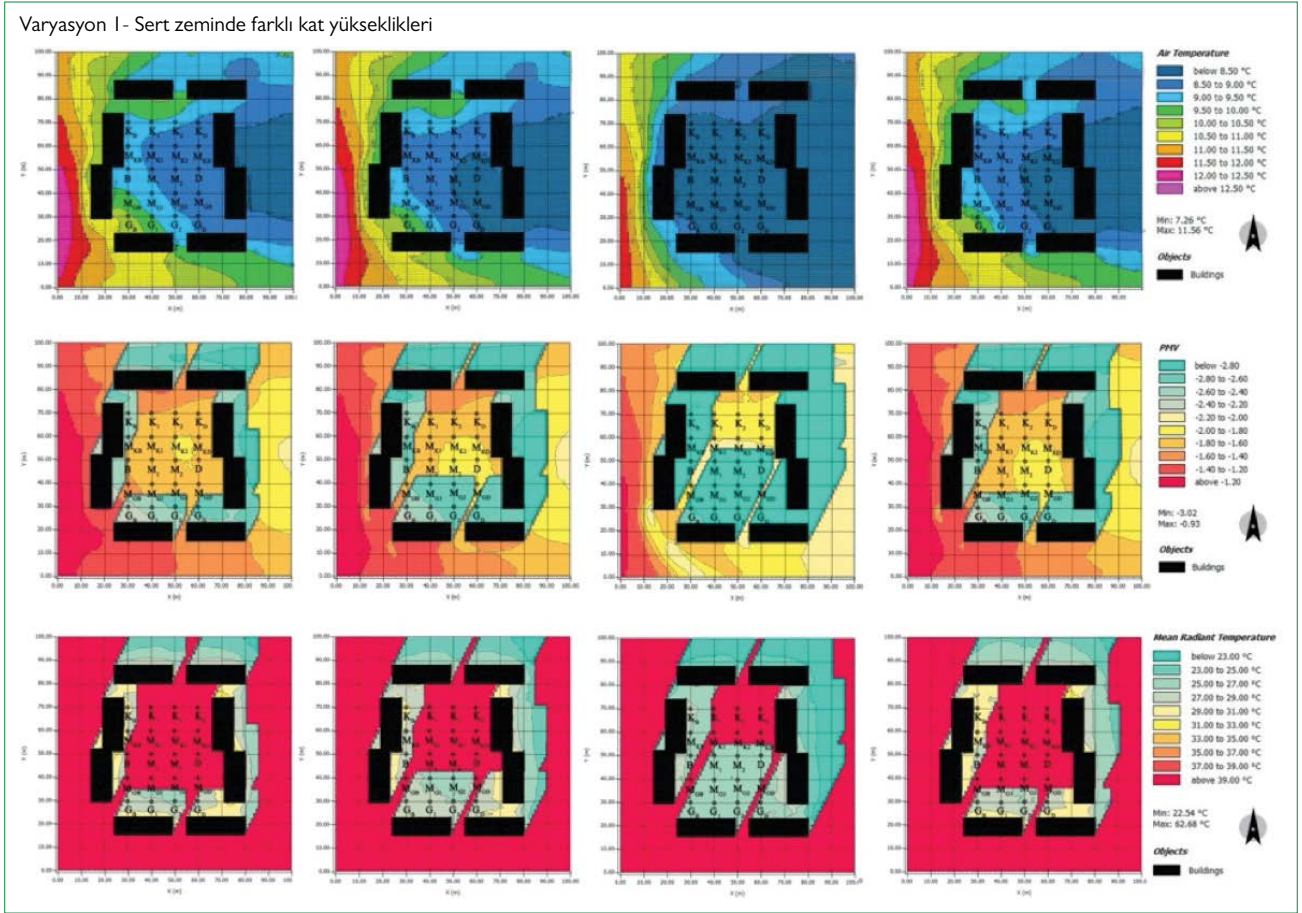
miştir. Varyasyonlarda 3 kat, 5 kat, 8 kat ve farklı kat yüksekliklerinin bir arada olduğu 4 farklı alt parametre oluşturulmuştur. Örneğin varyasyon 1 için binaların 3 kat olduğu alt varyasyon 1-1, 5 kat olduğu alt varyasyon 1-2, 8 kat olduğu alt varyasyon 1-3 ve farklı kat yüksekliklerinin bir arada olduğu alt varyasyon 1-4 olarak isimlendirilmiştir. Sert zeminin sabit tutulduğu 1-3-5-7 varyasyonlarında granit kaplama kullanılırken, varyasyon 2-4-6-8'de sabit tutulan çim zemin, ENVI-met model yazılımında bulunan orta yoğunlukta ve 15 cm yükseklikte seçilmiştir. Ayrıca varyasyon 3-4 ve 7-8'de kuzeydoğu yönünde her mevsim yeşil ve rüzgârdan koruyucu özellikte olan iğne yapraklı ağaç grupları ve yoğun çalı grubu konumlandırılmıştır. Ağaç grupları ENVI-met model yazılımında bulunan 15 m yükseklikte konik ibrelili ağaçlardan seçilmiştir. Ek olarak, varyasyon 5-6-7 ve 8'de binaların konumu ayarlanırken 12°'lik bir açıyla güneydoğu yönlendirmesinin etkisi test edilmiştir.

3.2.1. Varyasyon-1 Sert Zeminde Farklı Kat Yüksekliklerinin Mikro İklim Etkisi

Simülasyon sonuçları referans noktaları bazında değerlendirildiğinde, kat yüksekliği ve simülasyon günü batıdan esen rüzgar yönüne bağlı olarak hava sıcaklığında değişimler görülmüştür (Şekil 6). Özellikle bina kat yüksekliğinin 8 kat olduğu alt varyasyonda (1-3) 8.5°C ile en düşük hava sıcaklığı saptanmıştır. Kış döneminde varyasyon 1'de PMV değeri -3.0°C ile -1.6°C arasında değişim göstermiştir. Alt varyasyonlarda bina kat yüksekliğine bağlı değişime bakıldığında kış döneminde bina gölge boylarının uzunluğu dikkat çekmektedir. Özellikle alt varyasyon 1-3'te 8 kat bina yüksekliğine bağlı olarak orta avluda PMV değerinin -2.8°C'ye kadar düştüğü tespit edilmiştir. Alan termal stres seviyesinde "orta ve güçlü soğuk stres seviyesi" nin etkisindedir. Ortalama yansıyan sıcaklık (T_{MRT}) değeri, alan genelinde aynı olmakla birlikte alt varyasyonlarda kat yüksekliği artışına bağlı olarak bu değer 23.0°C'ye kadar düştüğü görülmüştür. Gölgede kalan referans noktalarında ise T_{MRT} değerinin 23.0°C'nin altında kaldığı tespit edilmiştir.

3.2.2. Varyasyon-2 Çim Zeminde Farklı Kat Yüksekliklerinin Mikro İklim Etkisi

Varyasyon 2'de çim zemin sabit tutularak bina kat yükseklikle-



Şekil 6. Varyasyon-I hava sıcaklığı, PMV, T_{MRT} değeri simülasyon sonuçları.

rinin değiştirilmesi sonucu oluşan sıcaklık farklılıkları incelenmiştir (Şekil 7). Kış döneminde baskın bir etki oluşturan çim zemin kullanımı, tüm referans noktalarında sıcaklığın 8.5°C 'nin altında kalmasına neden olmuştur. Varyasyon 2'de PMV değeri -3.0°C ile -2.2°C arasında değişim göstermiştir. Alt varyasyonlarda bina kat yüksekliğine bağlı değişimin yanında çim zemin kullanımının PMV değerini ortalama 0.2°C düşürdüğünü göstermektedir. Alan termal stres seviyesi "güçlü soğuk stres seviyesi" nin etkisindedir. Ortalama yansıyan sıcaklık (T_{MRT}) değeri, alan genelinde aynı olmakla birlikte 39.0°C ve üzerindedir. Gölgede kalan referans noktalarında ise sert zeminden farklı olarak tamamında T_{MRT} değerinin 23.0°C 'nin altında kaldığı tespit edilmiştir.

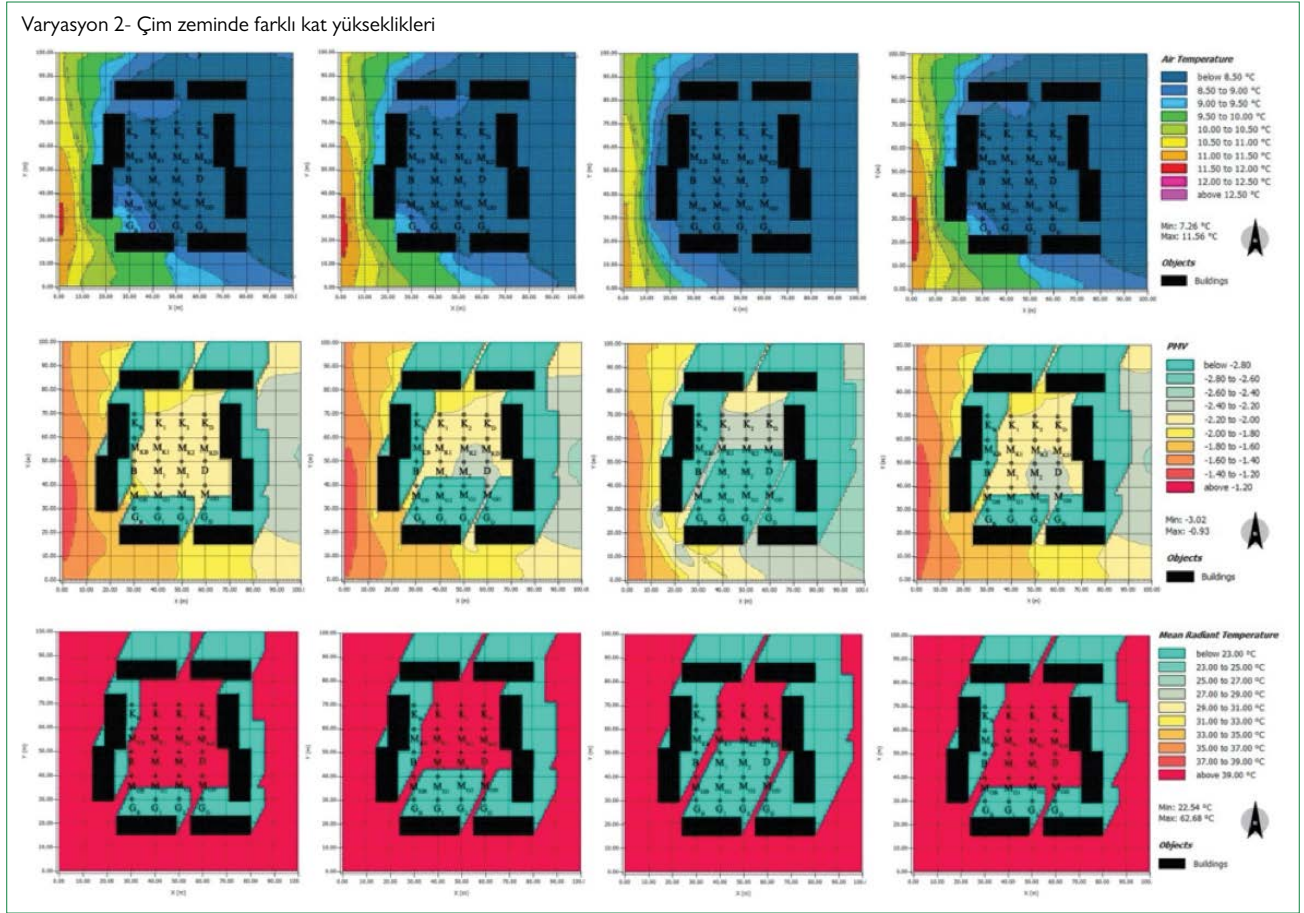
3.2.3. Varyasyon-3 Sert Zeminde Farklı Kat Yükseklikleri ve Ağaç Gruplarının Mikro İklim Etkisi

Varyasyon 3'te özellikle bina kat yüksekliğinin 8 kat olduğu alt varyasyonda (1-3) 8.5°C ile en düşük hava sıcaklığı saptanırken, ağaç gruplarının bu alt varyasyon hariç buldukları alanda hava sıcaklığını arttırdıkları tespit edilmiştir (Şekil 8). Ağaç gruplarının rüzgârı kesmeleri ve yerden yansıyan uzun dalga radyasyonunu hapsedmelerinin çevrelerindeki sıcaklığı arttırdığı tahmin edilmektedir. PMV değeri ise -3.0°C ile -1.8°C ara-

sında değişim göstermiştir. Varyasyon I ile karşılaştırıldığında ortam genelinde PMV değerinin çok değişmediği görülürken, sadece ağaç gruplarının etrafında 0.2°C 'lik bir artış tespit edilmiştir. Alan termal stres seviyesi "orta ve güçlü soğuk stres seviyesi" nin etkisindedir. T_{MRT} değeri, alan genelinde aynı olmakla birlikte 39.0°C ve üzerindedir. Ağaç gruplarının ve binaların gölgesinde kalan alanlarda T_{MRT} değeri 23.0°C - 29.0°C aralığında değişim göstermiştir.

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

Varyasyon 4'te çim zemin sabit tutularak ve ağaç grupları eklenerek oluşan sıcaklık farklılıkları incelenmiştir (Şekil 9). Ancak kış döneminde baskın bir etki oluşturan çim zemin kullanımı bina kat yüksekliği değişikliğinden ve ağaçların eklenmesinden etkilenmemiş, tüm referans noktalarında sıcaklığın 8.5°C 'nin altında kalmasına neden olmuştur. Varyasyon 4'te PMV değeri -3.0°C ile -2.2°C arasında değişim göstererek varyasyon 2 ile aynı değer aralığında tespit edilmiştir. Çim zemine ağaç gruplarının eklenmesi ortamdaki PMV değerinde herhangi bir değişikliğe yol açmazken, sadece ağaç gruplarının etrafında değer artışına neden olmuşlardır. T_{MRT} değeri, alan genelinde 39.0°C ve üzerindedir.



Şekil 7. Varyasyon-2 hava sıcaklığı, PMV, T_{MRT} değeri simülasyon sonuçları.

3.2.5. Varyasyon-5 Sert Zeminde Farklı Kat Yükseklikleri ve İdeal Yönlenmenin Mikro İklim Etkisi

Özellikle yönlenmenin ve bina kat yüksekliğinin etkisinin test edildiği varyasyon 5'te, kat yüksekliğinin 8 kat olduğu alt varyasyonda (1-3) 8.5°C ile en düşük hava sıcaklığı saptanmıştır. Yönlenme sonucu alt varyasyon 1-3 hariç, diğer varyasyonların referans noktalarında sıcaklık artışı tespit edilmiştir (Şekil 10). Kış dönemi için varyasyon 5'te PMV değeri -3.0°C ile -1.8°C arasında değişim göstermiştir. Alt varyasyonlarda bina kat yüksekliğine bağlı değişime bakıldığında kış döneminde bina gölge boylarının uzunluğu dikkat çekerken, yönlenmenin gölge düşen referans noktaları üzerinden olumlu etkisi olduğu görülmüştür. Alan termal stres seviyesinde "orta ve güçlü soğuk stres seviyesi"nin etkisindedir. Ortalama yansıyan sıcaklık (T_{MRT}) değeri, alan genelinde aynı olmakla birlikte alt varyasyonlarda kat yüksekliği artışına bağlı olarak bu değer 23.0°C'ye kadar düştüğü görülmüştür. Gölgede kalan referans noktalarında ise T_{MRT} değerinin 23.0°C'nin altında kaldığı tespit edilmiştir.

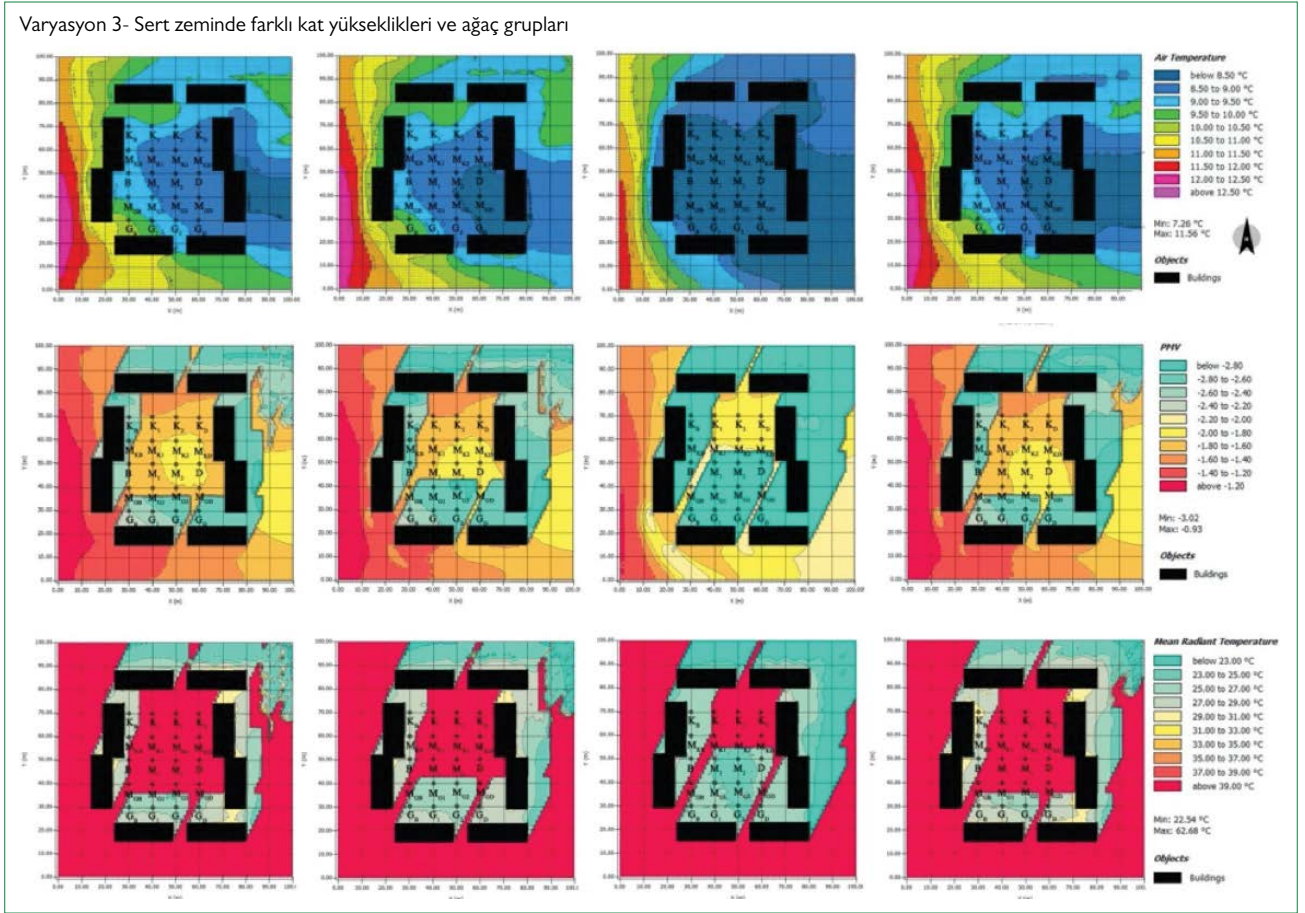
3.2.6. Varyasyon-6 Çim Zeminde Farklı Kat Yükseklikleri ve İdeal Yönlenmenin Mikro İklim Etkisi

Varyasyon 6'da çim zemin sabit tutularak ve 12° güneydoğu

yönlendirmesinin etkisi test edilerek bina kat yükseklikleri arasında değişen sıcaklık farklılıkları incelenmiştir (Şekil 11). Kış döneminde baskın bir soğutma etkisi oluşturan çim zeminin etkisi, yönlenme sonucu da değişmemiş ve ortamdaki sıcaklık 8.5°C'nin altında kalmıştır. Varyasyon 6'da PMV değeri -3.0°C ile -2.2°C arasında değişim göstermiştir. Alan termal stres seviyesi "güçlü soğuk stres seviyesi"nin etkisindedir. Ortalama yansıyan sıcaklık (T_{MRT}) değeri, alan genelinde aynı olmakla birlikte 39.0°C ve üzerindedir. Gölgede kalan referans noktalarında ise sert zeminden farklı olarak tamamında T_{MRT} değerinin 23.0°C'nin altında kaldığı tespit edilmiştir.

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

Varyasyon 7'de sert zeminde yönlenmenin ve ağaç gruplarının etkisi test edilmiştir (Şekil 12). Simülasyonlarda en dikkat çekici nokta, ağaç gruplarının buldukları alanda 0.5°C hava sıcaklığını arttırmış olmalarıdır. PMV değeri -2.8°C ile -1.6°C arasında değişim göstermiştir. Alt varyasyon 1-3 hariç, diğer varyasyonlarda ağaç gruplarının gölgedeki PMV değerini 0.2°C yükselttiği tespit edilmiştir. T_{MRT} değeri, alan genelinde aynı olmakla birlikte alt varyasyonlarda kat yüksekliği artışına bağlı olarak bina gölgeleri sebebiyle bu değer 23.0°C'ye kadar



Şekil 8. Varyasyon-3 hava sıcaklığı, PMV, T_{MRT} değeri simülasyon sonuçları.

düşüğü görülmüştür. Ağaç gruplarının buldukları alanda da gölge oluşumu T_{MRT} değerinin düşmesine neden olmuştur.

3.2.8. Varyasyon-8 Çim Zeminde Farklı Kat Yükseklikleri, İdeal Yönlenme ve Ağaç Gruplarının Mikro İklima Etkisi

Varyasyon 8'de çim zeminde 12° güneydoğu yönlendirmesinin ve ağaç gruplarının etkisi test edilerek bina kat yükseklikleri arasında değişen sıcaklık farklılıkları incelenmiştir (Şekil 13). Kış döneminde baskın bir soğutma etkisi oluşturan çim zeminin etkisi, yönlenme ve ağaç grupları sonucu da değişmemiş ve ortamdaki sıcaklık 8.5°C 'nin altında kalmıştır. Varyasyon 8'de PMV değeri -3.0°C ile -2.2°C arasında değişim göstermiştir. Alan termal stres seviyesi "güçlü soğuk stres seviyesi" nin etkisindedir. T_{MRT} değeri, alan genelinde aynı olmakla birlikte 39.0°C ve üzerindedir. Bina ve ağaç gölgesinde alanlarda ise T_{MRT} değerinin 23.0°C 'nin altında kaldığı tespit edilmiştir.

3.3. Varyasyonların Termal Konfor Değerlendirmesi

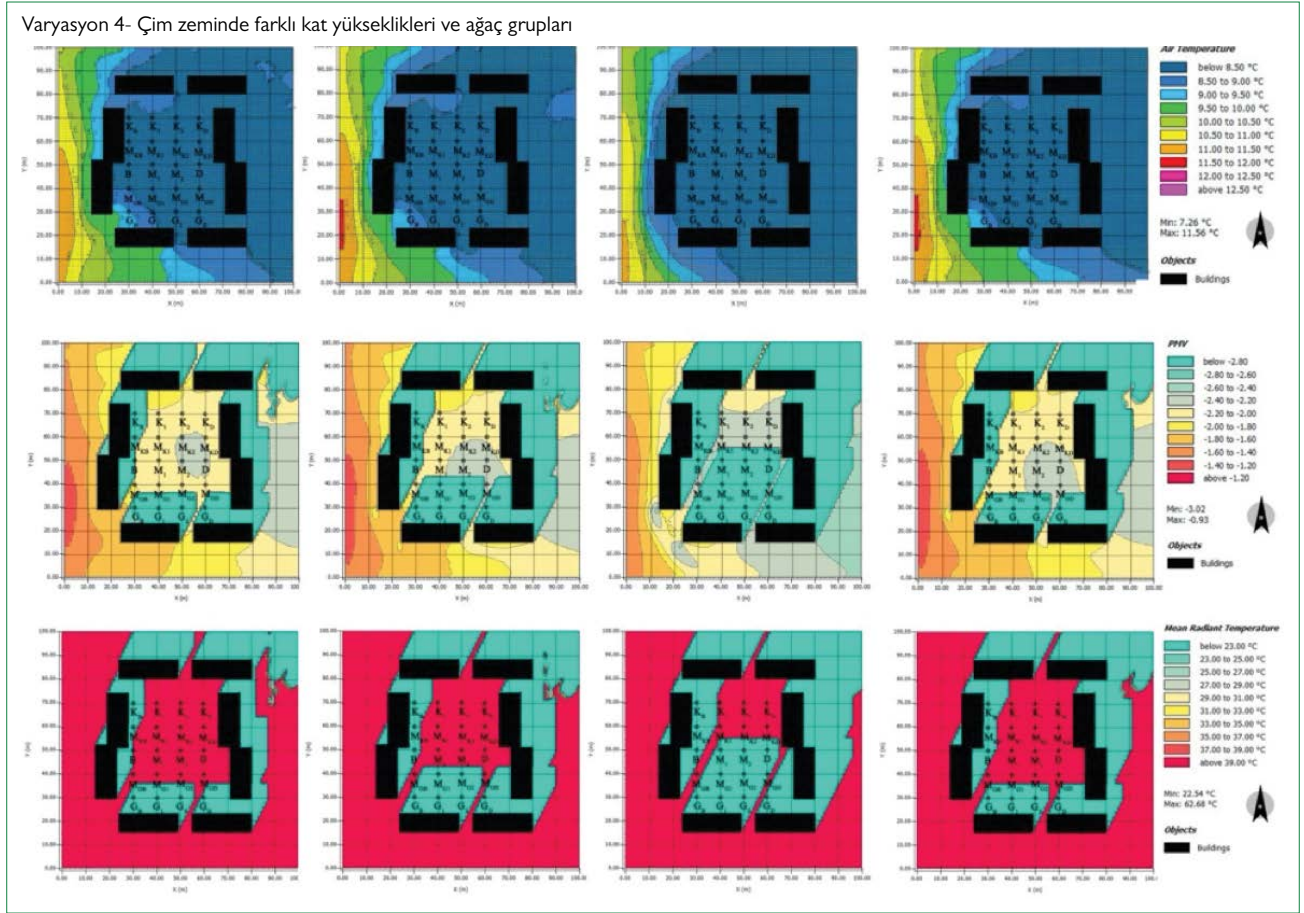
Yıldızkent semtinde yapılan simülasyonlar sonucu referans noktaları için ortalama Hava Sıcaklığı, PMV ve T_{MRT} değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Yaz dönemi için yapılan simülasyon analizleri makalede belirtilmese de sonuçların karşılaştı-

rılmasında kullanılmıştır. En yüksek değere sahip varyasyonlar turuncu ile en düşük değere sahip varyasyonlar ise mavi ile gösterilmiştir (Tablo 4-6).

Ortalama hava sıcaklığı değerleri, yaz dönemi için alt varyasyonlarla birlikte en yüksek varyasyon 5'te ölçülmüştür. Kış döneminde ise tüm sert ve çim zemin varyasyonları benzer sonuçlar verdiğinden 1-3-5-7 varyasyonlarında en yüksek, 2-4-6-8 varyasyonlarında en düşük değerler ölçülmüştür. Ancak alt varyasyon 1-3'te yüksek kat kullanımının sert zeminde sıcaklık düşüşü yarattığı da görülmüştür. Yaz dönemi için en düşük değerler ise varyasyon 3 ve 4'te ölçülmüştür (Şekil 14).

Ortalama PMV değerleri karşılaştırıldığında yaz dönemi için en yüksek değerler, varyasyon 1 ve 5'te ölçülürken, en düşük değerler varyasyon 2 ve 4'te ölçülmüştür. Kış döneminde ortalama PMV değerleri ise hava sıcaklığı değerleri ile doğru orantılı olarak yaz döneminde 1-3-5-7 varyasyonları en yüksek (alt varyasyon 1-3 hariç), 2-4-6-8 varyasyonları en düşük değerleri almıştır (Şekil 15).

Ortalama T_{MRT} değerleri, yaz dönemi için en yüksek varyasyon 1 ve 3'te, en düşük ise varyasyon 8'de ölçülmüştür. Kış dönemi-



Şekil 9. Varyasyon-4 hava sıcaklığı, PMV, T_{MRT} değeri simülasyon sonuçları.

minde varyasyon 1 en yüksek T_{MRT} değerini gösterirken (gölge etkisi sebebiyle alt varyasyon 1-3 hariç), varyasyon 6 ve 8 ise en düşük değerleri göstermiştir (Şekil 16).

Sonuç olarak, Yıldızkent semtinde referans noktalarından alınan sonuçlar değerlendirildiğinde, diğer çalışma alanlarında olduğu gibi çim zemin kullanımının olduğu varyasyonlarda en düşük değerler ölçülmüştür. Kış döneminde zemin kullanımı baskın bir etki oluşturarak sert zemin için varyasyon 1, 3, 5, 7 ve çim zemin için 2, 4, 6 ve 8'de benzer sonuçların görülmesine neden olmuştur.

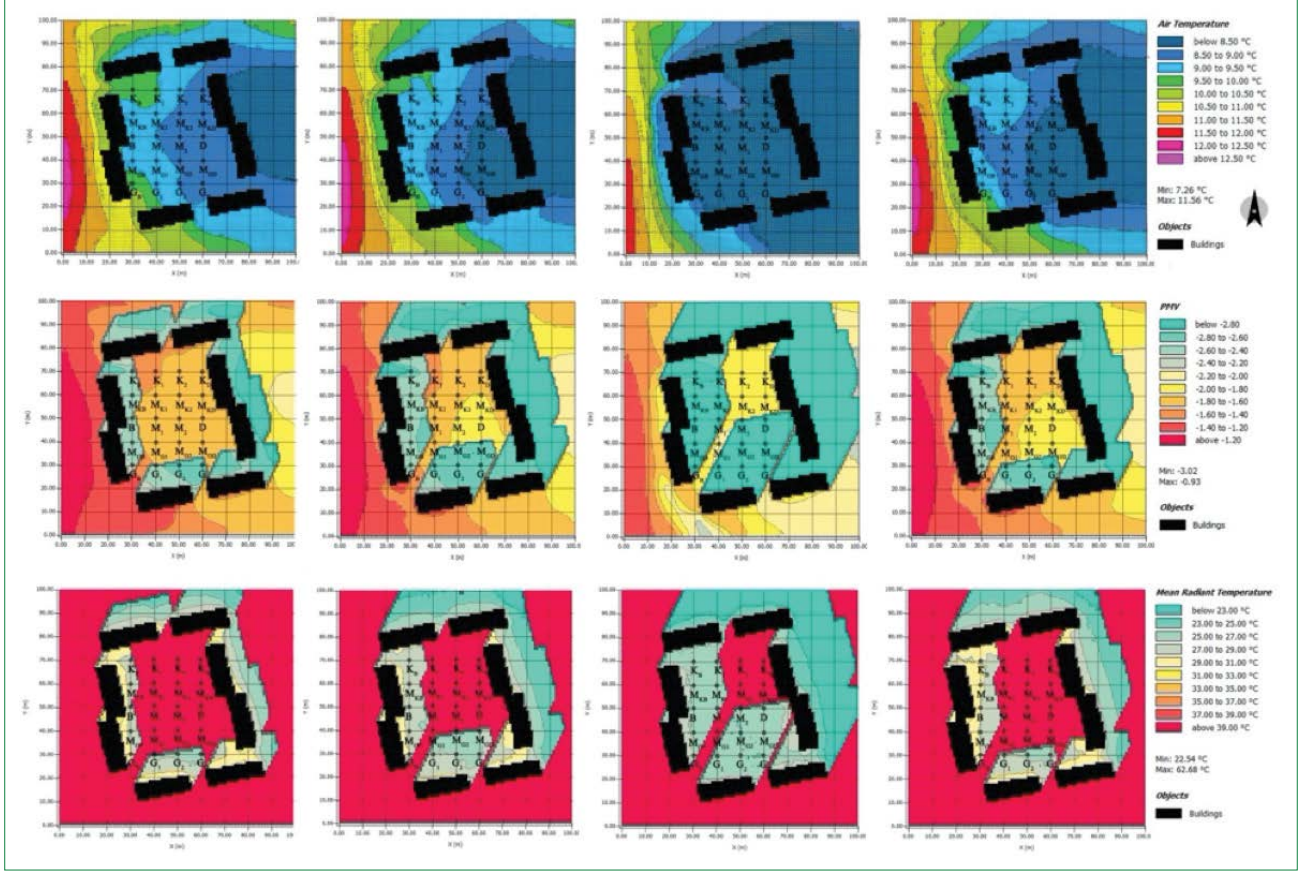
4. Tartışma ve Sonuç

Çalışma öncesinde soğuk iklimde kent planlaması ile ilgili literatürün ve araştırmacı çeşitliliğinin sınırlı olduğu görülmüştür. Teoride, soğuk iklimde kentsel tasarıma yön verecek ve daha termal konforlu bir mikro iklimlendirme sağlayacak bazı kılavuzlara ulaşılmıştır. Yapılan bu çalışma sonuçları ile bu kılavuzlar kıyaslanmıştır. Tüm araştırmalarda güneş enerjisine erişim, soğuk ve hakim rüzgardan kaçınmak gibi ortak ve genel ilkelerin paylaşıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada da kentsel mekanlarda termal konforu etkileyen önemli faktör olarak

sıcaklık ve rüzgar olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan araştırmacılar arasında ortak bir mikro iklim tanımının olmadığı görülmüştür. Örneğin, Pressman and Zepic (1986) çalışmalarında mikro ölçeği binalar ve binalarda kullanılan malzemeler olarak tanımlarken, Borve (1987) yaptığı çalışmada açık kamusal alan tanımını mikro ölçek ile birlikte kullanmıştır. Ancak, hepsinin planlamada iklim faktörlerinin dikkate alınması gerektiği konusunda hemfikir olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada da mobil ölçüm aleti ile kentsel mekan içinden 1.5-2 m'den veriler alınmış ve kaydedilmiştir. Diğer yandan Pressman'ın soğuk iklimde şehir planlaması konusunda yazdığı ilkelerin, kuzey kutbuna yakın iklim bölgeleri (subarctic) için daha uygun olduğu bilinmektedir. Erzurum'da meteorolojik veriler ve simülasyon sonuçları ise subarctic iklim bölgelerinin tersine rüzgar hızının az, güneşlenme süresinin daha fazla olduğunu göstermiştir. Bu araştırmanın sonucu olarak, Pressman'ın bahsettiği stratejilerin genel anlamda soğuk iklim bölgeleri için uygulanabilir olmakla birlikte, yerele özgü verilerle birleştirilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

Yapılan simülasyon sonuçlarına göre soğutma ve ısıtmanın sadece bitki örtüsünün ve yüzey malzemelerinin bir fonksiyonu olmadığı, aynı zamanda kentsel özelliklerin biçim ve mekânsal

Varyasyon 5- Sert zeminde farklı kat yükseklikleri ve ideal yönelme

Şekil 10. Varyasyon-5 hava sıcaklığı, PMV, T_{MRT} değeri simülasyon sonuçları.

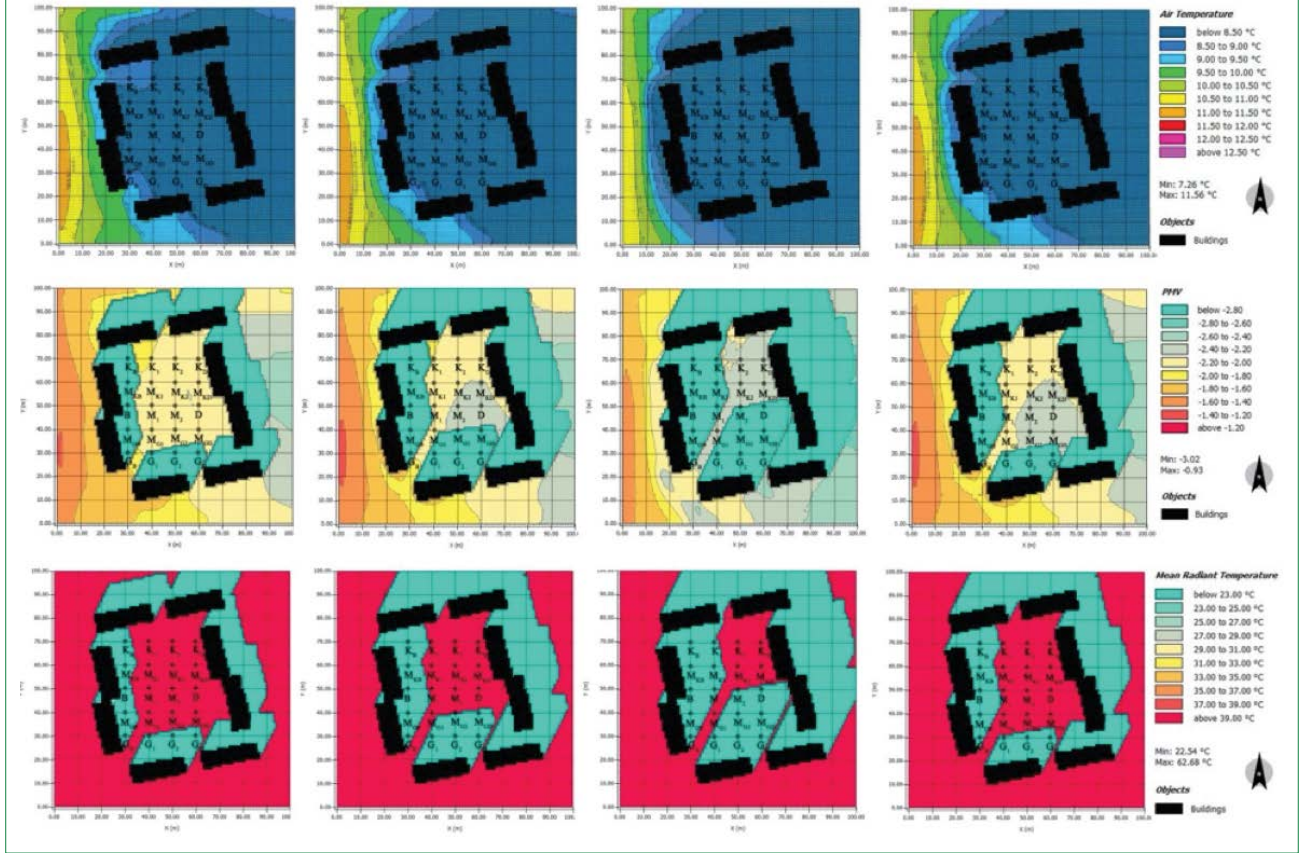
düzenlemesine de bağlı olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada yapılan simülasyonlar, Erzurum'da yapılan çalışmanın literatür verisine göre 450 açı ile yerleştirilmiştir. Simülasyonların analizinde güneydoğu-kuzeybatı aksındaki yerleşimlerin daha ideal olduğu görülmüştür. Literatür verisi olarak kullanılan, Mutlu et al. (2018) tarafından yapılan çalışmada da, 45o açıda, güneydoğu-kuzeybatı aksındaki bulunan yapı bloklarının soğuk bölgeler için en iyi sonuçları verdiği tespit edilmiş. Ayrıca; Yılmaz et. al (2018a) tarafından Erzurum'un belirli caddelerinde yapılan çalışmada ise ideal sokak yönü kuzeydoğu-güneybatı olarak saptanmıştır. Burada her çalışma alanının kendi kriterleri ile değerlendirilmesi gerektiği görülmüştür.

Bu araştırmada yapılan simülasyon sonuçlarında bitki örtüsünün hava sıcaklığını 0.5°C – 1.0°C aralığında değiştirdiği belirlenmiştir. Nitekim benzer sonuçlar diğer çalışmalarda da elde edilmiştir (Guhathakurta and Gober 2010; Middel et al. 2012; Middel et al. 2014). Yılmaz et al. (2018b), tarafından Erzurum'da botanik bahçe, oto sanayi bölgesi, şehir merkezi ve kırsal açık alanda olası senaryolar oluşturmak için bitki örtüsü özellikleri ile birlikte meteorolojik parametreler analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçları ile doğru orantılı olarak, yaz aylarında botanik bahçesinin bitkisel simülasyonlarının orta-

laması, şehir merkezindeki mevcut durumun ortalamasından yaklaşık 2.2°C daha soğuk olduğu tespit edilmiştir. Tüm istasyonların ortalamasına bağlı olarak ise kışın her iki ormanlık alanın simülasyonun da sıcaklığın 1.4°C arttığı belirlenmiştir. Simülasyonlarla benzer şekilde olan ve incelenen tüm çalışmalarda, yazın kitle yeşil alanların güneşli alanlarda daha serin olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada yapılan simülasyon sonuçlarından kış kentleri için sert zemin ve çim zemin arasında dengeli bir dağılım yapılması gerektiği anlaşılmıştır. Literatürde incelenen çalışmaların büyük çoğunluğunun yaz döneminde yapılmış ve simülasyonlarda bu avantajın soğuk iklim bölgeleri için dezavantaja dönüşebileceği fark edilmiştir. Literatürde bitki örtüsü olan ve olmayan alanlar arasındaki sıcaklık ve termal konfor farklılıklarının temel nedenleri; (Johansson et al. 2013; Müller et al. 2014) açık nemli toprağın yüzeyindeki net radyasyonun bir kısmının gizli ısıya dönüşmesi, yaprakların ve orta büyüklükteki yeşil alanların gölge oluşturmaları ve her çeşit bitki örtüsünün evapotranspirasyon etkisi sebebiyle açıklanmaktadır (O'Malley et al. 2015). Vejetasyon tipinin karşılaştırılması ile ilgili yapılan çalışmalar ise hem ortalama radyan sıcaklık (T_{MRT}) hem de hava sıcaklığı değerleri için ağaç örtüsünün çim

Varyasyon 6- Çim zeminde farklı kat yükseklikleri ve ideal yönelme

Şekil 11. Varyasyon-6 hava Sıcaklığı, PMV, T_{MRT} değeri simülasyon sonuçları.

örtüsünden daha iyi olduğu konusunda hemfikiridir (Toy et al. 2007; Yang et al. 2011; Cohen et al. 2012; Yahia and Johansson 2013). Araştırmalar, çim alanı ile ağaç alanı arasındaki en büyük sıcaklık farklılıklarının, çim zeminin asfalt karelere benzer şekilde ölçüldüğü gündüz öğle saatlerinde meydana geldiğini göstermiştir. Çimlerin en büyük avantajı, yaz aylarında ve geceleri olarak tespit edilmiştir (Andreou and Axarli 2012; Johansson et al. 2013).

Simülasyon sonuçlarında bina kat yüksekliklerinin çoğunlukla gölgelemenin önemli olduğu doğu-batı yönündeki kanyonları etkilediği belirlenmiştir. Ayrıca yapılan simülasyonlarda kuzey-güney kanyonlarında bölgesel hava sıcaklıkları ile hemen hemen aynı değerler görülürken, doğu-batı kanyonlarında sıcaklığın yükseklik/genişlik oranına göre 0.5°C–1.0°C arasında değiştiği tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar da, kentsel dokuda yüksekliğin artmasının her yönelimde daha fazla gölgenmeye neden olarak hava sıcaklığını 3.0°C'ye kadar düşürdüğünü göstermektedir (Johansson and Emmanuel 2006; Cohen et al. 2012).

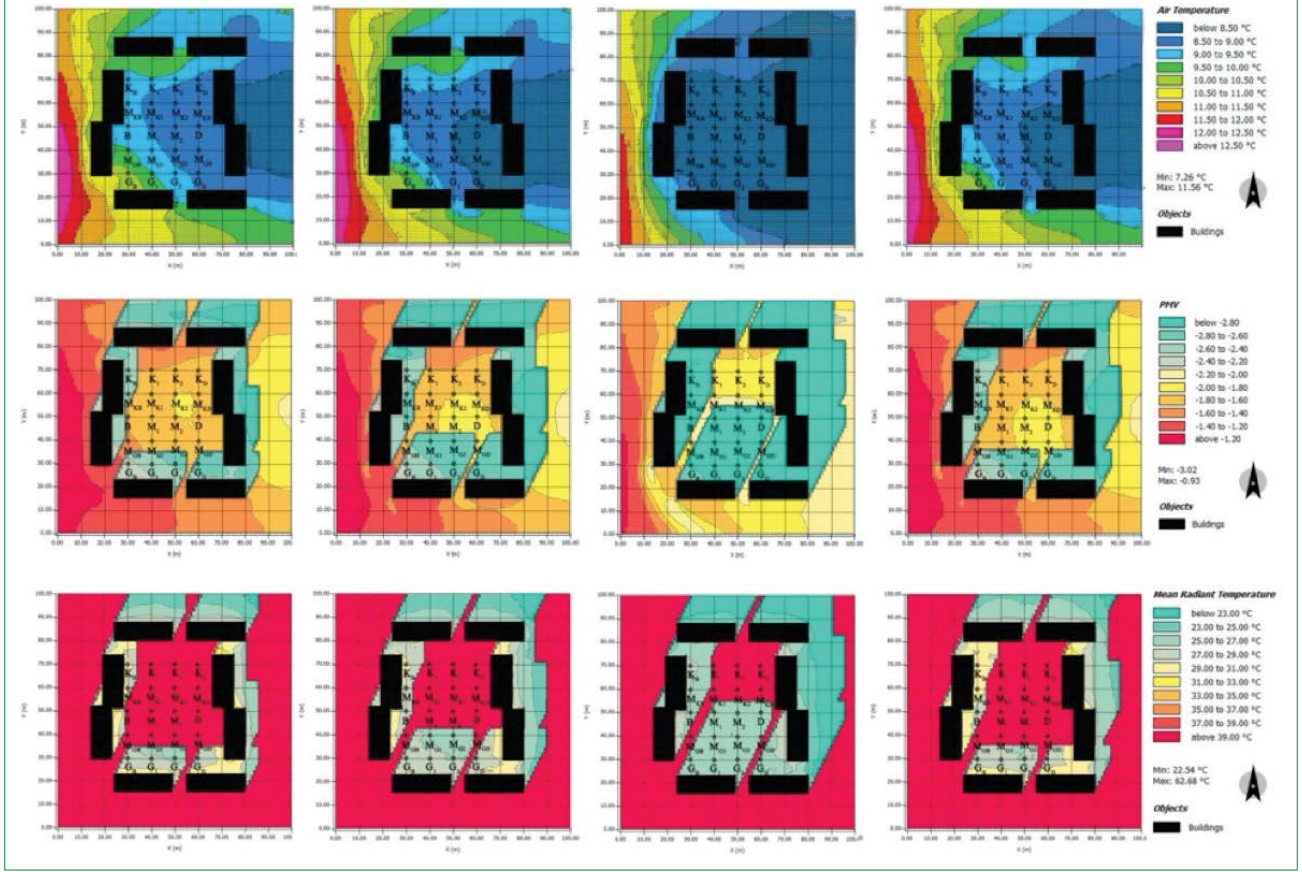
Simülasyon sonuçlarında kış aylarında, bir katlı binaların bile önemli gölge uzunluğu verdiği tespit edilmiş, bu nedenle rüz-

garı azaltmak ve ideal mikro iklime ulaşmak için alternatif çözümler bulunması gerektiği belirlenmiştir. Örneğin, fiziksel engellerin veya bitki örtüsünün rüzgar hızları üzerindeki etkisini hafife almamak gerektiği tespit edilmiştir. Pressman'a göre (1995; 2004), iç avluya sahip dört veya beş katlı bloklardan oluşan mahalleler, İskandinav koşullarında mikro iklimi iyileştirmek için idealdir. Erzurum için de simülasyonlar bu ifadeyi desteklemiştir.

Simülasyonlarda, yapı malzemesi olarak beton kullanılmıştır. Teoriye göre, farklı renkler ve malzemeler farklı özelliklere sahiptir. Bu, çalışma alanlarında mikro iklimlerde sıcaklık ve rüzgar ile ilgili değişikliklere neden olabilmektedir. Ayrıca simülasyonlarda bina yüksekliği/arsa oranı dikkate alınmamıştır. Bu çalışmanın amacı, farklı bina yüksekliklerinin çalışma alanlarında mikro iklimi nasıl etkilediğinin anlaşılmasını sağlamak olmuş ve farklı kat yüksekliğinde varyasyonlar oluşturularak termal konfor durumları test edilmiştir.

Doğrudan güneş ışığını yakalamak ve rüzgarı engellemek, açık kamusal alanların 10.0°C'ye kadar sıcak olmasını sağlayabilmektedir (Winter City of Edmonton 2013). Bu nedenle soğuk iklimlerde binaların daha iyi bir mikro iklimlendirme ve daha

Varyasyon 7- Sert zeminde farklı kat yükseklikleri, ideal yönelme ve ağaç grupları

Şekil 12. Varyasyon-7 hava sıcaklığı, PMV, T_{MRT} değeri simülasyon sonuçları.

canlı bir kamu alanı oluşturmak için tasarlanması ve organize edilmesi gerekmektedir. Ancak bir kış kenti tasarım sürecinde bir yandan güneşe erişim, aşırı kar yağışı, buzlanma ve kar depolama gibi temel faktörler göz önünde bulundurulurken diğer yandan yere özgü tasarım stratejilerinin de oluşturulması gerekmektedir.

Erzurum kent kimliğinin bir parçası olan kış iklimi, kent gelişirken göz önünde bulundurulması gereken bir özelliktir. Bu doğrultuda analiz ve simülasyonlar sonucunda geliştirilen iklim duyarlı tasarım kriterleri, Erzurum'u sürdürülebilir bir kış kenti yapmanın ilk basamağını oluşturmaktadır. Tasarım kriterleri, kategorize edilmiş mikro iklim çözümleri ile genel sonuçlara girdi oluşturmuştur. Bu kriterlerin gelecekteki gelişim kararlarına rehberlik etmesi ve kış odaklı kentsel tasarım çözümlerinin uygulama sürecinde yol gösterici olması amaçlanmıştır. Çünkü simülasyonlara dayalı olarak oluşturulan yere özgü iklim duyarlı tasarım ilkeleri ve yazından elde edilen teorik bilgilerin bütüncül olarak kullanımıyla, dış mekân termal konforunu kış aylarında 2.0°C'ye kadar artırılabilceği tespit edilmiştir.

Bu araştırmada, Erzurum için soğuk iklim tasarım kriterleri analiz edilmiş ve aşağıdaki şekilde detaylandırılmıştır. Tasarım

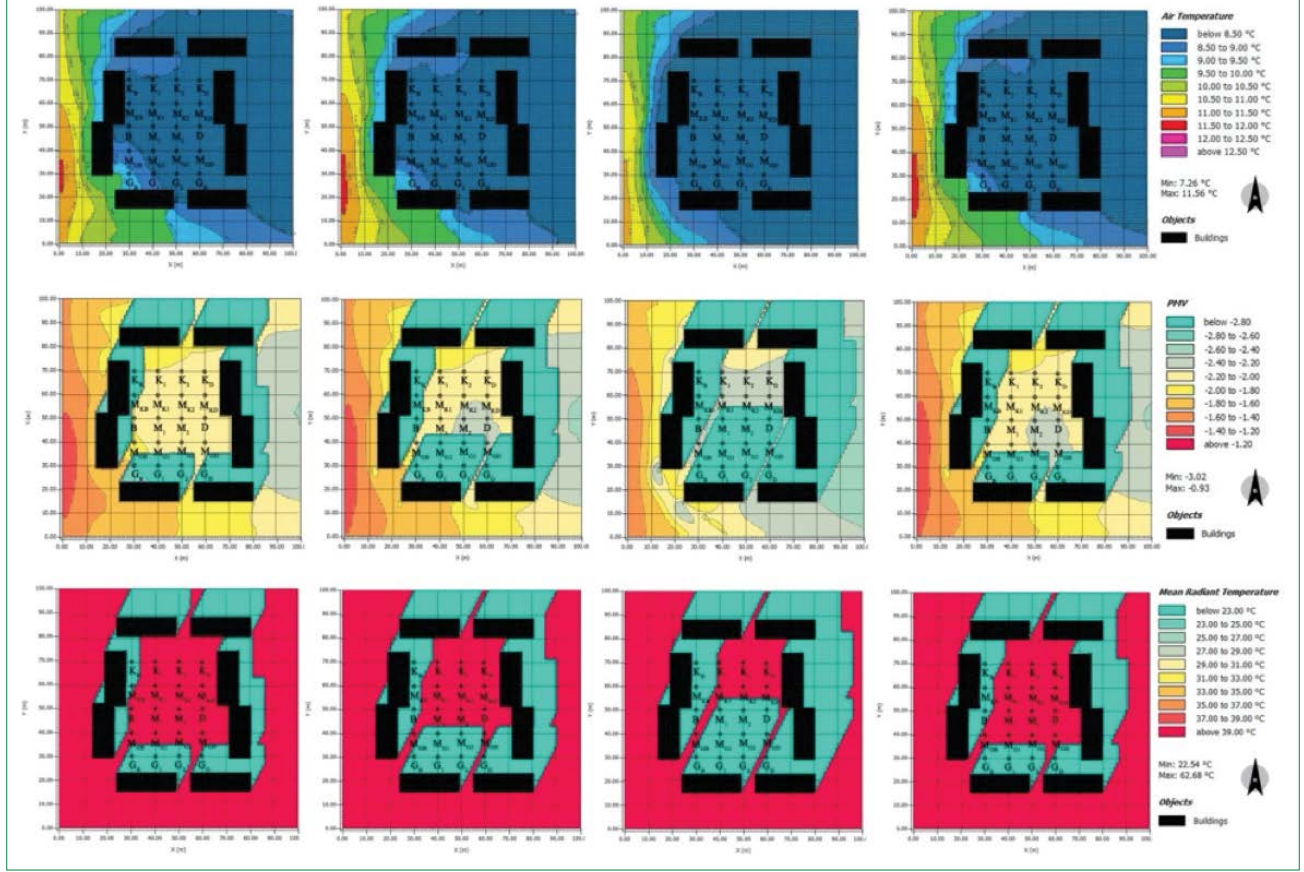
kriterlerini etkileyen birçok faktör bulunmasına rağmen, simülasyon sonuçlarına göre çalışma alanında en etkili olan kent geometrisi, malzeme ve bitki örtüsü kriterleri üzerinde durulmuştur.

Kent Geometrisi

Yapılı çevre, kentin doğrudan güneş radyasyonu, gölgeleme ve hava akımı ile ilişkisini tanımlamaktadır. Ek olarak hacim/yüzey ilişkisi ve ısı birikimi de kent geometrisi ile yakından ilgilidir. Aşağıda bu kavramlar çerçevesinde ve çıkan simülasyon sonuçlarına göre Erzurum özelinde tasarım ilkeleri belirlenmiştir;

- Erzurum'da ilk tasarım hedefi, konut tasarımlarında binaların ve açık alanların tek tek güneşe erişmesi, diğer binalara ve açık alanlara gölge düşmemesi olmalıdır.
- Simülasyon sonuçlarında yükseklik/genişlik oranının yani gölgeleme etkisinin fazla olması yaz aylarında avantaj sağlarken, kış aylarında soğuk stres yarattığı tespit edilmiştir. Bu nedenle kışın diğer binalara gölge düşmesini engellemek ve güneş kazancını en üst seviyeye çıkarmak için geniş cadde ve sokakların önerilmesi gerekmektedir. Çünkü rüzgar faktörü kış aylarında Erzurum'da etkin değildir.
- Sonuçlarda özellikle kış döneminde kat yüksekliği arttıkça uzayan gölge boyları nedeniyle kamusal alanların ve diğer

Varyasyon 8- Çim zeminde farklı kat yükseklikleri, ideal yönelme ve ağaç grupları

Şekil 13. Varyasyon-8 hava sıcaklığı, PMV, T_{MRT} değeri simülasyon sonuçları.

- binaların gölgede kaldığı tespit edilmiştir (alt varyasyonlar 1–3). Emmanuel (2005), hem yaz aylarında minimal ısıyı yakalamak hem de kışın güneşe erişimi arttırmak amacıyla ideal yükseklik/genişlik oranını 0.4–0.6 aralığında önermektedir. Ancak Erzurum özelinde bu oranın mümkün olduğunca düşük tutulması gerekmektedir.
- Simülasyonlarda kaldırımlar, teraslar ve dış mekânlarda aşırı gölgelenmeyi önlemek için sokakların kuzey tarafına daha yüksek yapıların tasarlanması gerektiği görülmüştür (alt varyasyonlar 1–4).
 - Simülasyon sonuçları, analizi yapılan dört kentsel form üzerinde kapalı kentsel blokların (avlu) en yüksek termal konfor koşullarını sağladığını göstermiştir. Direkt güneşlenme ve T_{MRT} (ortalama radyan sıcaklık) süresi termal konfor koşullarını etkileyen iki önemli faktördür (Taleghani et al. 2015).
 - Cadde ve sokak yönelmesine bağlı olarak da değişen güneş radyasyonu, simülasyonlarda 12° güneydoğu yönelmesi ile test edilmiştir. Sonuçlar, özellikle yüksek katlı doğu-batı formundaki binaların kuzey cephelerinde yönelme sonucu sıcaklık artışı olduğunu göstermiş, kış döneminde yönelmenin ortam sıcaklığını ortalama 0.5°C arttırdığı tespit edilmiştir.

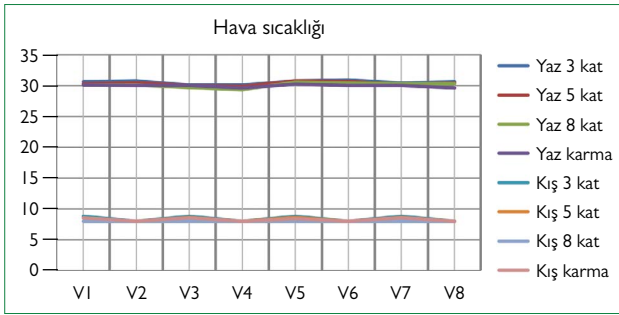
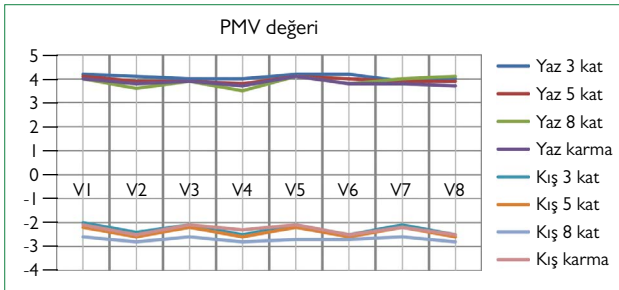
- Simülasyon sonuçlarında Erzurum'da doğu-batı yönünde kışın kuzey cephelerin önemli bir kısmının gölgede kalması sebebiyle kesinlikle tercih edilmemesi gerektiği görülmüştür.
- Kuzey-güney yönelimli caddelerde ise binalar arası mesafelere dikkat edilmeli, mümkünse güneydoğu yönünde açılı yönlendirmeler yapılmalıdır.
- Soğuk iklimin hakim olduğu kentte sokak yönleri kuzey rüzgarlarının etkisini en aza indirecek şekilde rüzgar yönüne dik olarak tasarlanmalıdır. Ayrıca kışın önemli bir hava kirliliği problemi yaşayan Erzurum kenti için makro ölçekte kontrollü olarak güneybatı yönündeki hakim rüzgar yönüne paralel hava koridorlarının açılması gerekmektedir.

Malzeme

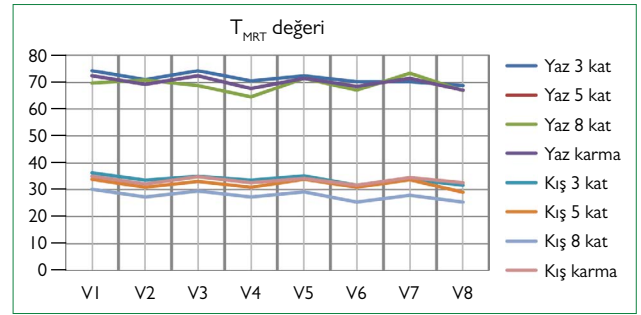
Kentsel alanlarda buharlaşma miktarı sızdırmaz yüzeyler, geçirgen olmayan malzemeler ve kırsal alanlara göre daha az bitki örtüsü nedeniyle azalmaktadır. Sonuç olarak, daha fazla enerji algılanabilir ısıya ve daha az enerji de gizli ısıya dönüşmektedir. Geçirgen malzemeler buharlaşma yoluyla soğumaya izin verirken, sert malzemeler ısı biriktirmektedir. Bu doğrultuda sert zemin ve çim zemin ayırımı yapılarak test edilen simülasyon sonuçlarına göre aşağıda Erzurum özelinde tasarım kriterleri belirlenmiştir;

Tablo 4. Yıldızkent semti ortalama hava sıcaklığı değerlerinin karşılaştırılması

	Yaz				Kış			
	3 kat (I_1)	5 kat (I_2)	8 kat (I_3)	Karma (I_4)	3 kat (I_1)	5 kat (I_2)	8 kat (I_3)	Karma (I_4)
Varyasyon 1	30.6	30.3	30.1	30.1	8.8	8.5	8	8.5
Varyasyon 2	30.8	30.5	30.1	30	8	8	8	8
Varyasyon 3	30.1	30	29.7	30	8.8	8.6.6	8	8.5
Varyasyon 4	30.1	29.9	29.3	29.6	8	8	8	8
Varyasyon 5	30.8	30.8	30.6	30.2	8.8	8.6	8	8.4
Varyasyon 6	30.9	30.7	30.4	30	8	8	8	8
Varyasyon 7	30.4	30.2	30.3	30	8.8	8.6	8	8.5
Varyasyon 8	30.6	30.4	30.3	29.6	8	8	8	8

**Şekil 14.** Varyasyon bazında Yıldızkent semti ortalama hava sıcaklığı değerleri grafiği.**Şekil 15.** Varyasyon bazında Yıldızkent semti ortalama PMV değerleri grafiği.

- Simülasyon sonuçlarında çim zemin kullanımının hem yaz hem kış döneminde soğutucu etki yarattığı tespit edilmiştir. Ancak tamamı çim ile kaplı bir yüzeyin yaz mevsimi için avantaj oluştururken kış mevsiminde termal konfor seviyesini düşürdüğü görülmüştür.
- Erzurum'da çim zeminin güneş erişimi açık olan kamusal alanlarda tercih edilmesi gerekirken, binaların kuzey cephelelerinde tercih edilmemelidir.
- Park alanları veya özel yollar gibi düşük kullanım oranlı alanların döşenmesinde daha yüksek bir geçirgenliğe izin vermek için çim derzli döşemelerin kullanımı tercih edilmelidir.

**Şekil 16.** Varyasyon bazında Yıldızkent semti ortalama T_{MRT} değerleri grafiği.

- Yaz döneminde sert zemin ve geçirimsiz yüzey fazlalığı dolayısıyla sıcaklık artışını engellemek ve aşırı sıcaklık termal stres seviyesini düşürmek için özellikle güneş erişimi olan alanlarda tasarlanacak toprak ve çim zemin ile homojen bir dağılım sağlanmalıdır.
- Erzurum'da özellikle taşıt ve yaya yollarında donma-çözünme döngüsüne dayanacak ve enerji tasarrufu sağlayacak yüksek kaliteli malzemeler kullanılması gerekmektedir.

Bitki Örtüsü

Bitki örtüsü, buharlaşma ve terleme (evapotransporasyon) yoluyla, hem de kısa dalga radyasyonunu absorbe edecek yüzeyleri gölgede bırakarak çevreyi soğutmaktadır. Ancak bitki örtüsü her zaman çevresindeki ortamdan daha serin/soğuk değildir. Özellikle ağaçlar kışın rüzgar hızını kırarak ve zeminden yansıyan uzun dalga radyasyonunu engelleyerek atmosfere ısı kaybını yavaşlatmaktadır (Kleerekoper 2016). Nitekim, ibrelili bitki varyasyonunun kullanıldığı simülasyonlarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kentsel alanlarda farklı bitki örtüsü uygulamaları olmakla birlikte, simülasyonlarda özellikle konut kümelerinin kuzeydoğusuna yerleştirilmiş ibrelili ağaçların etkisi test edilmiştir. Sonuçlara göre Erzurum için belirlenen tasarım kriterleri aşağıda sıralanmıştır;

- Yapılan simülasyon sonuçlarına göre, ağaçların ortalama 0.5°C–1.0°C aralığında bir değişim oluşturarak, yazın so-

Tablo 5. Yıldızkent semti ortalama PMV değerlerinin karşılaştırılması

	Yaz				Kış			
	3 kat (I_1)	5 kat (I_2)	8 kat (I_3)	Karma (I_4)	3 kat (I_1)	5 kat (I_2)	8 kat (I_3)	Karma (I_4)
Varyasyon 1	4.2	4.1	4	4	-2	-2.2	-2.6	-2.1
Varyasyon 2	4.1	3.9	3.6	3.8	-2.4	-2.6	-2.8	-2.5
Varyasyon 3	4	3.9	3.9	3.9	-2.1	-2.2	-2.6	-2.1
Varyasyon 4	4	3.8	3.5	3.7	-2.5	-2.6	-2.8	-2.3
Varyasyon 5	4.2	4.1	4.1	4.1	-2.1	-2.2	-2.7	-2.1
Varyasyon 6	4.2	4	3.8	3.8	-2.5	-2.6	-2.7	-2.5
Varyasyon 7	3.9	3.9	4	3.8	-2.1	-2.2	-2.6	-2.2
Varyasyon 8	4	3.9	4.1	3.7	-2.5	-2.6	-2.8	-2.5

Tablo 6. Yıldızkent semti ortalama T_{MRT} değerlerinin karşılaştırılması

	Yaz				Kış			
	3 kat (I_1)	5 kat (I_2)	8 kat (I_3)	Karma (I_4)	3 kat (I_1)	5 kat (I_2)	8 kat (I_3)	Karma (I_4)
Varyasyon 1	74.2	72.4	69.7	72.4	36.3	33.9	30.1	35
Varyasyon 2	71	69.2	70.8	69.2	33.6	30.9	27.3	32.2
Varyasyon 3	74.2	72.4	68.7	72.4	35	33.1	29.6	34.8
Varyasyon 4	70.5	67.6	64.5	67.6	33.6	30.9	27.3	32.7
Varyasyon 5	72.4	71.5	71.5	71.5	35.2	33.9	29.2	34.3
Varyasyon 6	70.2	68.5	67.1	68.5	31.8	30.9	25.5	31.8
Varyasyon 7	70.1	71.5	73.3	71.5	33.9	33.8	28	34.5
Varyasyon 8	68.8	67	66.8	67	31.8	29.1	25.5	32.7

ğutma kışın ise ısıtma etkisi yarattığı tespit edilmiştir.

- Genel olarak Erzurum'da bir binanın veya açık alanın güney yüzünde yaprak döken ağaçlar tercih edilirken, açık alanların kuzey ve batı taraflarında iğne yapraklı bitki örtüsü tercih edilerek bölge hakim kış rüzgarlarından korunmalıdır.
- Geniş caddelerde ağaçlandırma yapılmalıdır.
- Seçilecek bitki örtüsü kar yüklerine, rüzgâra dayanabilmeli ve yıl boyunca az bakım gerektirmelidir. Ayrıca Erzurum'da binaları çevreleyen peyzaj alanlarının çatılardan düşen kar ve buza dayanıklı olmasına dikkat edilmelidir.
- Erzurum'da kışın önemli bir hava kirliliği problemi olduğundan, ağaçların yer seçiminde güneybatıdan esen hakim rüzgar yönünü kesmemesine dikkat edilmelidir.

Son olarak ifade edilebilir ki, bu tip çalışmaların soruları ve çözümü karmaşık ve çeşitli faktörlere bağlılık göstermektedir. Pek çok faktör mikro iklimi etkilemekle birlikte bu sorular da kentsel formun neden olduğu mikro iklim üzerindeki etkileri tam anlamıyla kapsamaktadır. Çalışmayı yürütmek için seçilen yöntem, simülasyon için kullanılan yazılımdaki sınırlı

seçenekler nedeniyle sorgulanmaya açıktır. Ancak simülasyon uygulamaları uzun zaman aldığından ve simülasyonlarda göz ardı edilmiş meteorolojik faktörler bulunduğundan sonuçların kesin ve anlık verilere karşılık gelmediği bilinmelidir. Çünkü bu bilgisayar modellerinde hem alanın uzun yıllar iklim verilerinin ortalamaları hem de saatlik veri kullanımı söz konusudur. Oldukça güncel olan bu model üzerinde güncellemeler de devam etmektedir. Bu nedenle makalenin sonuçları bir anahtar olarak değil, bir kılavuz olarak kabul edilmelidir.

Sonuç olarak, iyi bir tasarım tüm yaş gruplarındaki kişilerin, özellikle çocukların, yaşlıların ve fiziksel engeli olan kişilerin, toplum içerisinde daha bağımsız ve güvenli bir şekilde var olmalarını sağlamak demektir. Hizmetlere erişilebilirliği ve evrensel olarak erişilebilir tasarımın kullanılmasını sağlamak, yüksek kalitede kentsel tasarımın kilit unsurlarıdır (Winter City of Edmonton, 2013).

Soğuk iklim tasarımında yüksek kalite ise, yıl boyunca daha yüksek düzeyde termal konfor, mekana erişim, enerji verimli

kullanımlar sağlanırken, dış mekanın kullanımı mümkün olduğu kadar artırılmalı ve süresi uzatılmalıdır. Bu çalışmanın sonuçları, doğru tasarım ilkeleri ile dış mekân termal konforunu kış aylarında 2.0°C'ye kadar arttırılabileceğini göstermiştir. Dolayısıyla kış odaklı kentsel tasarım çözümlerinin amacı yerele özgü bu tasarım stratejileriyle birlikte sezonun zorluklarını iklimin sunduğu tüm olanaklardan yararlanarak fırsata dönüştürmek olmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma, Merve Yavaş'ın doktora tezi kapsamında hazırlanmış olup, projeyi destekleyen 2016/2388 numaralı Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (BAP), Bursiyeri olduğu 2150627 Numaralı TÜ-BİTAK 1001 Projesi'ne ve Erzurum 12. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'ne veri paylaşımından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (2007). Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy*, (81), 742–754. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.10.007>
- Bruse, M., & Fleer, H. (1998). Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling and Software*, 13, 373–384. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(98\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5)
- Chow, W. T. L., Pope, R. L., Martin, C. A., & Brazel, A. J. (2011). Observing and modeling the nocturnal park cool island of an arid city: horizontal and vertical impacts. *Theoretical and Applied Climatology*, 103(1), 197–211. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0293-8>
- De, B., & Mukherjee, M. (2016). Impact of Canyon Design on Thermal Comfort in Warm Humid Cities: A Case of Rajarhat- Newtown, Kolkata. *Fourth International Conference on Countermeasure to Urban Heat Island*, 2016, (June), 30–31.
- Dursun, D., & Yavas, M. (2016). Urbanization and the Use of Climate Knowledge in Erzurum, Turkey. *Procedia Engineering*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.040>
- Ebrahimabadi, S. (2012). Improvements in Addressing Cold Climate Factors in Urban Planning and Design. *Lulea University of Technology*.
- Emmanuel, R. (2005). Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. *Building and Environment*, 40(12), 1591–1601. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.12.004>
- Golany, G. S. (1996). Urban design morphology and thermal performance. *Atmospheric Environment*, 30(3), 455–465. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00266-9](https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00266-9)
- Kleerekoper, L. (2016). Urban climate design: Improving thermal comfort in Dutch neighbourhoods (Delft University of Technology; Vol. 11). <https://doi.org/10.7480/abe.2016.11>
- Krüger, E. L., Minella, F. O., & Rasia, F. (2011). Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, 46, 621–634. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.09.006>
- Maggiotto, G., Buccolieri, R., Santo, M. A., Leo, L. S., & Di Sabatino, S. (2014). Study of the Urban Heat Island in Lecce (Italy) by means of ADMS and ENVI-MET. *International Journal of Environment and Pollution*.
- Mills, G. (1999). Urban climatology and urban design. *ICB-ICUC*, 99, 15th.
- Mutlu, E., Yılmaz, S., Yılmaz, H., & Mutlu, B. (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*, 519. Singapore.
- 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. *Building and Environment*, 47, 256–271. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.014>
- Pressman, N. (1995). Urban design: The northern dimension. In C. Charette (Ed.), *Issues in Canadian Urban Design* (pp. 221–267). *Institute of Urban Studies*.
- Pressman, N. (2004). Shaping Cities for Winter. *Climatic Comfort and Sustainable Design*. Prince George, Winter Cities Associatio (ISBN 0-9698761-1-4). In *Cahiers de géographie du Québec* (Vol. 48). <https://doi.org/10.7202/011810ar>
- Scherer, D., Fehrenbach, U., Beha, H. D., & Parlow, E. (1999). Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. *Atmospheric Environment*, 33 (24–25), 4185–4193. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00161-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00161-2)
- Taleghani, M., Kleerekoper, L., Tenpierik, M., & Van Den Dobbsteven, A. (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*, 83, 65–78.

- Toy S., Yilmaz S. and Yilmaz, H. (2007). Determination of bioclimatic comfort in three different land uses in the city of Erzurum, Turkey, *Building and Environment*, 42(3),1315-1318.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.009>.
- Victor, O. (1963). *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*. In *Climate Responsive Building*. New Jersey: Princeton University Press.
- Winter City of Edmonton. (2013). For the love of winter: WinterCity Strategy implementation plan. 1–52. Retrieved from https://www.edmonton.ca/city_government/initiatives_innovation/wintercity-strategy.aspx
- Yavaş, M. (2019). İklim Duyarlı Kent Planlama Stratejileri: Erzurum Kenti Örneği. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yilmaz, S., Mutlu, E., & Yilmaz, H. (2018). Alternative scenarios for ecological urbanizations using ENVI-met model. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (26), 26307–26321. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2590-1>.
- Yılmaz S., Mutlu E., Yılmaz H., (2018a). Quantification of thermal comfort based on different street orientation in winter months of urban city Dağkent. DOI: 10.17660/ActaHortic.2018.1215.12, Eds G. Pennisi, L. Cremonini, T. Georgiadis, F. Orsini, G.P. Gianquinto, ISBN: 978-94-62612-12-9, ISSN: 0567-7572 (print) 2406-6168 (electronic), *Acta Horticulturae*, 1215: 67-72
- Yılmaz, S. vd: (2018b). Soğuk Kentlerde İklim Parametrelerinin Termal Konfora Etkisi: Erzurum Kenti. TÜBİTAK Projesi 215O627, 4 Ekim 2018 tamamlandı, Erzurum.