



Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tayod>

e-ISSN: 2687-5187



Kentsel Mikro İklim Modelleme Araçlarının Değerlendirilmesi

Bihter KIZILCA*¹ 

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri, 06800, Çankaya/Ankara

ÖZ

Anahtar Kelimeler:
Kentsel Mikro İklim
Mikro İklim Modelleme
Meteorolojik Parametreler
Arazi Yönetimi
İklim Değişikliği

Kentsel alanlar, iklim değişikliğinin yarattığı olumsuz etkilere karşı savunmasızdır ve bundan dolayı bu etkilere yoğun bir şekilde maruz kalmaktadırlar. Bu sebeple, şehir planlama sürecinde önemli gündem konularından biri iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak amacı doğrultusunda kentler tasarlamaktır. Kentsel iklimin etkilerini ölçmek ve azaltabilmek için kentsel mikro iklim (mikro klima) modellemelerinin doğruluğu yüksek bir şekilde yapılması önemlidir. Günümüze kadar yapılan çalışmalar sonucunda, birçok iklim modelleme yöntemi ve uygulaması geliştirilmiştir. Tüm uygulamalar farklı amaçlara hizmet ettiklerinden, çıktıları ve modelleme için kullandıkları parametreler de farklılaşmaktadır. Bu yüzden modelleme yapılacak uygulama seçilirken, kullanım maksadı net olarak tanımlanmalı ve en yetkin uygulama tercih edilmelidir. Bu çalışmada, planlama ve kentsel tasarım sürecinde kullanılacak mikro iklim modelleme uygulamalarının değerlendirilmesi temel amaç olarak belirlenmiştir. Arazi yönetim sürecine katılım sağlayan her aktörün kullanım amacı (profesyonel kullanım, eğitim amaçlı kullanım vb.) gözetilerek uygulamalara dair literatürde yer alan çalışmalar derlenerek değerlendirmeler yapılmıştır. Yazında yer alan ve iklim modellemesi yapan uygulamalar kullanım ücreti, sıcaklık, termal konfor, ölçek, rüzgâr hızı/yönü, hava kalitesi vb. ölçütler üzerinden analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda, ENVI-met, ANSYS Fluent, RayMan, UMEP, PALM-4U ve Rhino/ Grasshopper (Ladybug, HoneyBee, DragonFly, Butterfly eklentileri) yazılımları, incelenmiş ve üstünlükleri ve yetersizlikleri, hedeflenen kullanıcı gruplara yönelik olarak, ortaya konmuştur.

Evaluation of Urban Microclimate Modeling Tools

ABSTRACT

Keywords:
Urban Microclimate
Microclimate Modeling
Meteorologic Parameters
Land Management
Climate Change

Urban areas are vulnerable to the negative effects of climate change and are therefore highly exposed to them, so one of the important topics on the agenda in the urban planning process is to align cities with the aim of reducing the effects of climate change. It is important to model urban microclimate with high precision in order to measure and reduce the impact of the urban climate to identify problems. By virtue of previous studies, many methods and applications for climate modeling have been developed. They serve different purposes, their output and the parameters used for modeling also differ, so, when choosing the application, the intended use must be clearly defined. The main objective of this study is to evaluate microclimate modeling applications that can be used in the urban planning and design process. The evaluation has been performed on the applications by taking into account the intended use (professional, educational, etc.) of each actor involved in the land management process. The software applications mentioned in the literature are elaborated in relation to the use of parameters such as temperature, comfort, scale, wind speed/direction, etc. Consequently, the software programs ENVI-met, ANSYS Fluent, RayMan, UMEP, PALM4U, and Rhino / Grasshopper (Ladybug, HoneyBee, DragonFly, Butterfly Plugins) have been examined and their advantages and disadvantages for the target user are unveiled.

*Sorumlu Yazar

^{*}(kizilcabihtermail.com) ORCID ID 0000-0002-7490-7831

Araştırma Makalesi; DOI: 10.51765/tayod.943829

Geliş Tarihi: 27/05/2021; Kabul Tarihi: 19/10/2021

Kaynak Göster (APA): Kızılca, B. (2021). Kentsel Mikro İklim Modelleme Araçlarının Değerlendirilmesi, *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 3(2), 79-86.

1. GİRİŞ

İklim değişikliğinin etkileri dünya çapında farklı çalışmalarla vurgulanmıştır (Hunt & Watkiss, 2011). Uluslararası ve ulusal çalışmaların ortak amacı dünyanın karşı karşıya olduğu iklim değişikliği sorununa çözüm bulmaktır. Bunun için şehirlere odaklanması gerektiği konusunda fikir birliğine varılmıştır (UNEP & UN-Habitat, 2009). Küresel iklim değişikliğini kent ölçeğinde temellendirmenin başlıca yararı, olası sorunlara yerelde cevap verecek, spesifik çözümler tasarlamaktır. Uygulama sürecinden sorumlu birçok özel kurum ve kamu kurumu için ise riskleri veya fırsatları yerel ölçekte değerlendirmek, yapılacak çalışmaların çok daha etkin sonuçlar doğurmasını sağlayacaktır (Hunt & Watkiss, 2011).

İklim değişikliği ile ilgili çalışmaların başarısı, şehirlerdeki iklim değişikliğine uyum ve sera gazı azaltma çabalarının başarısı ile doğru orantılı olacaktır. Sürdürülebilir şehirlere ulaşmanın yolu, doğal kaynakların sonsuz olduğunu varsayan ve fosil yakıtlara dayalı ve yenilenebilir enerji kaynaklarını göz ardı eden mevcut tavrı değiştirerek, sürdürülebilir arazi yönetimi ve iklim duyarlı kentsel tasarım ilkeleri ile şehirler inşa etmekten geçmektedir (Tuğaç, 2018).

Arazi, tarımsal üretim için bir ortam sağlar, ancak aynı zamanda, sera gazları için kaynak/yuva işlevleri, besinlerin geri dönüşümü, iyileştirme ve kirleticilerin filtrelenmesi ve hidrolojik döngünün iletimi ve artırılması dahil olmak üzere gelişmiş çevre yönetimi için temel bir koşuldur. Sürdürülebilir arazi yönetiminin (Sustainable Land Management-SLM) amacı, arazinin (toprak, su ve hava) kalitesini korurken ve geliştirirken, mevcut ve gelecek nesillerin yararına çevresel, iktisadi ve sosyal fırsatlar sağlamaya yönelik tamamlayıcı hedefleri uyumlu hale getirmektir (Smyth & Dumanski, 1995). Sürdürülebilir arazi yönetimi, arazinin uzun vadeli sosyo-ekonomik ve ekolojik işlevlerini sağlarken değişen insan ihtiyaçlarını (tarım, ormancılık, koruma) karşılamak için araziyi kullanır. Bu sebeple kentsel alanların iklim değişikliğine uyum sürecinde önem taşıyan unsurlardan biridir. Esasen şehirler, en yoğun nüfuslu yerleşim alanları olmasına ve dünya nüfusunun yüzde 50'den fazlasının bu alanda yaşamasına karşın, arazi alanının sadece yüzde 3'ünden azını kaplamaktadır. Fakat özellikle aşırı hava olaylarına ve iklim değişikliğine karşı savunmasızlardır. Dahası, şehirler mikro iklimlerini çoktan değiştirmişlerdir. Artık kentsel sıcaklıklar daha yüksek, havalandırma daha zayıf ve hava kalitesi daha düşüktür (Grimmond vd., 2010). Sıcaklık artışı, oluşturduğu ısı stresi ile insan yaşamını ve çevreyi tehdit etmenin yanı sıra, gündelik yaşamda ısı konforunu da olumsuz yönde etkilemektedir. Arazi yönetimi kavramı, hava haklarını ve yeryüzü haklarını da içeren, bu yönleriyle de iklim değişikliği ile yakından ilgili konulardandır.

Sürdürülebilir arazi yönetimi stratejilerinin oluşturulmasında oldukça etkili olacak olan kentsel mikro iklim çalışmaları, sayısal simülasyon araçlarını kullanarak modelleme çalışmaları yapmaktadır ve bu alan üzerine yapılan çalışmalar günümüzde bilim dünyasınca oldukça ilgi görmektedir (Tsoka et al., 2018). Fakat, mikro iklim modellemesi, değişkenlerin sayısı ve

kentsel sistemlerin dinamik yapısı sebebiyle oldukça meşakkatlidir. Buna rağmen günümüzde farklı yöntemler kullanarak modelleme yapan birçok araç bulunmaktadır. Geçtiğimiz 50 yıl içinde, onlarca modelleme programı geliştirilmiştir ve kullanılmaktadır. Mikro iklim simülasyon programlarının çoğu, kullanıcılara hava sıcaklığı (Air Temperature, Ta), ortalama radyasyon sıcaklık (Mean Radiant Temperature, MRT), bağıl nem (Relative Humidity, RH), öngörülen ortalama sıcaklık (Predicted Mean Vote PMV) ve rüzgâr hızı gibi temel mikro iklim başarımlarını göstermektedir (Albdour & Baranyai, 2019). Her uygulamanın ya da aracın mikro iklim modellemede odaklandığı farklı çıktılar bulunmaktadır. Bundan dolayı hesaplama yapılırken kullanılan parametreler de değişkenlik göstermektedir. O halde kullanıcı, modelleme aracı seçiminde, üzerinde çalıştığı konu doğrultusunda seçim yapmalıdır. Bu makalede, arazi yönetimi ile ilgili tüm aktörler, hedeflenen kullanıcı grup kategorisine dâhil edilmiştir. Şehir planıcıları ve kentsel tasarımcılar bunlara birer örnek teşkil etmektedir.

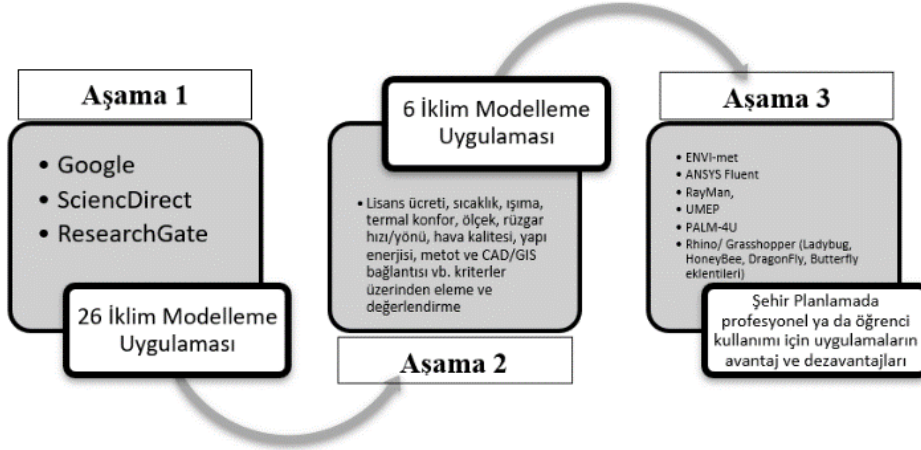
Mikro iklim modellemesi yapan uygulamalarının değerlendirildiği pek çok yayın bulunmaktadır (Adelia vd., 2020; Tsoka vd., 2020; Albdour & Baranyai, 2019; Gál & Kántor, 2020; Jänicke, 2018; Matzarakis, 2012a; Wong vd., 2011; Bruse & Fleer, 1998) ancak arazi yönetimi ve şehir planlama profesyonellerine hizmet eden bir kentsel mikro iklim değerlendirme çalışması bulunmamaktadır. İklim krizi ve kentsel sıcaklık artışının arazi yönetimi sürecinde öncelikli problemlerden olması gerekmektedir ve bu farkındalığın arazi yönetimi ve planlama öğrencilerine aşılması kentlerin geleceği için hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda mikro iklim analizlerine dayandırarak kentsel iklimleri tasarlamak arazi yönetiminin herhangi bir aşamasına katılım sağlayan kişilerin temel sorumluluklarındandır. Bu sebeple, mikro iklim modellemesi için kullanılacak uygulama veya araçların hedef grup için, uzman ya da öğrenci fark etmeksizin, erişilebilir, kullanımı kolay ve doğruluğu yüksek olması oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, bahsedilen karar verici grubun kentsel mikro iklim modellemesi için kullanabileceği erişilebilir, kullanıcı dostu, doğruluğu yüksek ve mikro ölçekli uygulama ve araçların değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yazın taraması sonucu mikro iklim modelleme ilgili yapılmış 75 çalışma incelenmiş ve ilgili temel mikro iklim modelleme işlevini barındıran yirmi altı simülasyon uygulaması bulunduğu gözlemlenip lisans ücreti, sıcaklık, ışımaya, termal konfor, ölçek, rüzgâr hızı/yönü, hava kalitesi, yapı enerjisi, yöntem ve Bilgisayar Destekli Çizim (BDÇ) (Computer Aided Drawing- CAD) /Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) (Geographical Information Systems- GIS) (Adelia et al., 2020) bağlantısı ölçütleri üzerinden yapılan değerlendirme sonucunda, çalışma kapsamında altı uygulamanın incelenmesine karar verilmiştir ve bunlar: ENVI-met, ANSYS Fluent, RayMan, UMEP, PALM-4U ve Rhino/ Grasshopper (Ladybug, HoneyBee, DragonFly, Butterfly eklentileri) uygulama ve araçlarıdır. Çalışmada, bu altı mikro iklim simülasyon yazılım aracının özellikleri karşılaştırılmış, farklı kullanıcı gruplarına göre üstünlükleri ve yetersizlikleri analiz edilmiştir.

2. YÖNTEM

İklim modellemesi yapan birçok modelleme aracı bulunmaktadır, bunlardan profesyonel ve öğrenci kullanımına uygun olan uygulamaları bulmak amacıyla bu çalışma üç aşamalı bir değerlendirme içermektedir. Üç aşama sonucunda ulaşılmak istenen amaç mikro ölçekte iklim modelleyen, kullanımı kolay, erişilebilir ve güvenilir uygulamalara ulaşmaktır. Aşağıda Şekil 1’de

ifade edilen ve üç adım içeren yöntem sayesinde yazındaki iklim çalışmaları değerlendirilmiş, aranan niteliklere uygun olan araçlar seçilmiş ve bu araçların üstünlük ve yetersizlikleri değerlendirilerek, hedeflenen kullanıcı gruba yönelik yoğun bir çalışma yapılmıştır. Birinci ve ikinci aşamalar makalenin yöntem bölümünde anlatılmıştır, üçüncü aşama bulgular ve tartışma bölümünde detaylandırılmıştır.



Şekil 1. Çalışmada geliştirilen metodun üç farklı aşaması ve çıktıları

Birinci aşamada yazında var olan tüm iklim modellemesi yapan uygulama ve araçlar Google, ScienceDirect ve ResearchGate arama motorları kullanılarak araştırılmıştır. Araştırma sırasında kullanılan anahtar kelimeler şunlardır;

- İklim modelleme uygulamaları,
- Mikro iklim modelleme araçları,
- Kentsel mikro iklim.
- İklim simülasyonu,

Tablo 1. Yazın taraması sonucu elde edilen uygulamaların kullanım ücreti, sıcaklık, ışım, termal konfor, rüzgâr hızı/yönü ve hava kalitesi analizleri yönünden değerlendirilmesi

UYGULAMA ADI	ÜCRETSİZ/ÜCRETLİ	SICAKLIK	İŞIMA	TERMAL KONFOR	RÜZGÂR HIZI/YÖNÜ	HAVA KALİTESİ
ADMS-Urban	ÜCRETLİ	X	X		X	X
ANSYS Fluent	ÜCRETLİ	X	X	X	X	X
BioCAS	ÜCRETSİZ	X	X	X	X	
CityComfort+		X	X	X	X	
CitySim	ÜCRETLİ	X	X			
Ecotect Win-Air	ÜCRETLİ		X		X	
ENVI-met	ÜCRETLİ	X	X	X	X	X
Heliodon2TM	ÜCRETLİ		X			
Ladybug, HoneyBee, DragonFly, Butterfly (Rhino/Grasshopper)	ÜCRETSİZ	X	X	X	X	
MUKLIMO/MUKLIMO-3	ÜCRETLİ	X	X		X	X
OTC Model	ÜCRETLİ	X	X	X		
PALM-4U	ÜCRETSİZ	X	X	X	X	X
RayMan	ÜCRETSİZ	X	X	X		
Rhino/Grasshopper (Eddy)	ÜCRETLİ	X	X	X	X	
SkyHelios	ÜCRETLİ		X			

Tablo 1'in devamı

SOLWEIG	ÜCRETLİ		X		
STEVE		X			
SVF-Tool	ÜCRETSİZ				
Thermorender Simulations	ÜCRETLİ	X	X		
TownScope II	ÜCRETLİ		X	X	
UMDP	ÜCRETLİ	X	X	X	X
UMEP	ÜCRETSİZ	X	X	X	
UMI(Rhino/Grasshopper)	ÜCRETLİ	X	X		
Urban-CAT			X		
VTUF-3D/TUF-3D	ÜCRETSİZ	X	X	X	
WUDAPT	ÜCRETSİZ				

Tablo 2. Yazın taraması sonucu elde edilen uygulamaların yapı enerjisi analizi, metot, tip ve BÇD/CBS bağlantısı ve ölçek ölçütleri üzerinden değerlendirilmesi

UYGULAMA ADI	YAPI ENERJİSİ	YÖNTEM VE TİP	BÇD/CBS BAĞLANTISI	ÖLÇEK
ADMS-Urban	X	Micro İklim Modeli	CBS	Mikro-bölgesel
ANSYS Fluent		Micro İklim Modeli		Mikro
BioCAS		Entegre Edilmiş Model		Bölgesel- geniş
CityComfort+		Basit Model		Mikro- bölgesel
CitySim	X	Yapı Enerji Modeli		Mikro
Ecotect Win-Air		Basit Model	BÇD	Mikro
ENVI-met		Micro İklim Modeli		Mikro
Heliodon2TM		Gölge Modeli Aracı	BÇD	Mikro
Ladybug, HoneyBee, DragonFly, Butterfly (Rhino/Grasshopper)		Micro İklim Modeli	BÇD	Mikro
MUKLIMO/MUKLIMO-3		Micro İklim Modeli		Bölgesel
OTC Model		Basit Model		Mikro
PALM-4U	X	Micro İklim Modeli		Mikro
RayMan		Basit Model		Mikro
Rhino/Grasshopper (Eddy)	X	Yapı Enerji Modeli	BÇD	Mikro
SkyHelios		Gölge Modeli Aracı		Mikro- bölgesel
SOLWEIG		Basit Model		Mikro- bölgesel
STEVE		Basit Model	CBS	Mikro
SVF-Tool		Diğer Araçlar	CBS	Mikro
Thermorender simulations	X	Yapı Enerji Modeli	BÇD	Mikro
TownScope II		Basit Model	BÇD	Mikro
UMDP		Entegre Edilmiş Model	BÇD	Mikro- bölgesel
UMEP	X	Entegre Edilmiş Model	CBS	Mikro- bölgesel
UMI(Rhino/Grasshopper)	X	Micro İklim Modeli	BÇD	Mikro
Urban-CAT		Diğer Araçlar		Bölgesel
VTUF-3D/TUF-3D		Micro İklim Modeli		Mikro
WUDAPT		Diğer Araçlar	CBS	Bölgesel

İkinci aşama olarak araştırma sonucu bulunan yirmi altı farklı iklim modelleme aracı özellik ve kabiliyetlerine göre, Tablo 1 ve Tablo 2’de gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma ölçütleri model elemesi için basit tutulmuş ve iklim modelleme parametrelerinden yola çıkılarak, lisans ücreti, sıcaklık, ışıma, termal konfor, ölçek, rüzgâr hızı/yönü, hava ve

odağı kalitesi, yapı enerjisi, yöntem ve BDÇ/CBS bağlantısı ölçütleri temel alınmıştır. Tablo 2’de metod ve tip olarak ifade edilen ölçüt ve değerlendirme sonuçlarının açıklaması ise Tablo 3’te yer almaktadır ve uygulamaların modelleme sürecinde kullandıkları fonksiyon ve hesaplamalara göre sınıflandırılmıştır.

Tablo 3. Tablo 2’de belirtilen yöntem ve tip ölçütlerinin ifade ettiği hesaplama yöntemleri

YÖNTEM VE TİP	HESAPLAMA YÖNTEMLERİ	MODELİN ODAĞI
Micro İklim Modeli	CFD (Computational Fluid Dynamics), LES (Large Eddy Simulation), RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes), vb.	Sıcaklık ve ışımaya ek olarak rüzgâr ve havalandırma gibi hareketli değişkenlere odaklanan model
Yapı Enerji Modeli	Farklı modellerin kombinasyonu	Yapı enerji dengesi odaklı model
Basit Model	Geometrik ya da kuramsal model	Sıcaklık ve ışıma odaklı model
Gölge Modeli Aracı	Geometrik ya da kuramsal model	Sadece gölge analizi odaklı model
Entegre Edilmiş Model	Farklı modellerin kombinasyonu	
Diğer Araçlar	Kuramsal veya diğer araçlar	

Uygulamaların tablodaki kabiliyet ve yeterliliklerine göre yapılan kıyas sonucunda Tablo 1 ve 2’de koyu renklerle ifade edilmiş altı farklı modelin, kentsel tasarım ve şehir planlamada kullanılabilecek mikro ölçekli modelleme araçları olduğu tespit edilmiştir ve bunlar; ANSYS Fluent, ENVI-met, Rhino/ Grasshopper (Ladybug, HoneyBee, DragonFly, Butterfly eklentileri), RayMan, PALM-4U, UMEP ve uygulamalarıdır. Seçilen uygulamaların detaylı karşılaştırılması ve analizini kolaylaştırabilmek için tabloda yer aralan değerlendirme

ölçütleri Alboudour ve Baranyai’nin, 2019 yılında yapılan çalışmasından faydalanılarak şöyle detaylandırılmıştır;

1. Genel Ölçütler; doğruluk, ara yüz ve kullanım kolaylığı, ücret, ortalama bir bilgisayarda işletim maliyeti, yöntem ve tip, uyumluluk, BDÇ/CBS bağlantısı, grafikler ve görselleştirme, konfor tahmin endeksi

2. Model Çıktıları, PMV, PET, MRT, bağıl nem (RH), sıcaklık, rüzgâr hızı/yönü, ışıma, termal konfor, SVF, hava kalitesi, yapı enerjisi

Seçilen uygulamaların ayrıntılı değerlendirmesi Tablo 4’te sunulmuştur.

Tablo 4. Yapılan inceleme sonucunda elde edilen altı uygulamanın ayrıntılı incelemesi

Seçim Ölçütleri	ENVI-met	ANSYS Fluent	PALM	Ladybug, HoneyBee, DragonFly, Butterfly	RayMan	UMEP
Doğruluk	Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek
Ara Yüz ve Kullanım Kolaylığı	Basit	Karmaşık	Basit	Basit	Basit	Basit
Ücret	Makul	Çok yüksek	Ücretsiz	Ücretsiz	Ücretsiz	Ücretsiz
İşletim Maliyeti	Yüksek	Çok Yüksek	Orta	Orta	Düşük	Düşük
Metot	CFD, LES, RANS, vb.	CFD, LES, RANS, vb.	CFD, LES, RANS, vb.	CFD, LES, RANS, vb.	Geometrik ya da Kuramsal	Karma model
Tip	Micro İklim Modeli	Micro İklim Modeli	Micro İklim Modeli	Micro İklim Modeli	Basit Model	Entegre Edilmiş Model
Uyumluluk	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek
CAD/GIS Bağlantısı		BDÇ/CBS	BDÇ/CBS	BDÇ		CBS
Grafikler ve Görselleştirme	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek	Orta	Yüksek

Tablo 4'ün devamı

Konfor Tahmin Endeksi	PMV		PET (Physiological Equivalent Temperature), UTCI (Universal Thermal Climate Index)	SET (Standard Effective Temperature)	PET	UTCI
PMV	X				X	
PET	X		X		X	
MRT	X	X	X	X	X	X
Bağıl Nem	X	X			X	X
Sıcaklık	X	X	X	X	X	X
Rüzgâr Hızı/Yönü	X	X	X	X		
Işıma	X	X	X	X	X	X
Termal Konfor	X	X	X	X	X	X
Gökyüzü Görüş Faktörü (SVF)	X	X		X	X	
Hava Kalitesi	X	X	X			
Yapı Enerjisi			X			X

3. BULGULAR

Son aşamada, bu uygulamaların kentsel tasarım ve şehir planlama alanları için farklı uzmanlık seviyelerine göre kullanıcılar açısından olumlu ve olumsuz yönleri, Tablo 4'te yer alan bilgilere göre tetkik edilmiştir. Uygulamaların genel özelliklerinden bahsedilerek yetkinlikleri değerlendirilmiştir.

3.1. ENVI-met

Mikro iklim analizi için en yaygın olarak kullanılan dinamik simülasyon araçlarından biri, Bochum Ruhr Üniversitesi'nde geliştirilmiş ENVI-met modelidir. Model, 2017 yılına kadar dünya çapında 1900'den fazla kayıtlı kullanıcı tarafından mikro iklim araştırmaları için kullanılmıştır (Tsoka et al., 2018). ENVI-met, kentsel ortamlarda yüzey-bitki-hava etkileşimlerinin simülasyonuna uygun 3 boyutlu hidrostatik olmayan bir modeldir. Akışkan dinamiği ve termodinamiğin temel yasalarını kullanarak bir günlük döngü (24 ila 48 saat) sırasında mikro iklimin dinamiklerini hesaplar (Maleki vd., 2014). ENVI-met 3D kentsel mikro iklim modellemesi için özel olarak tasarlandığından, modelleme doğruluğu oldukça yüksektir. Ara yüzü kullanıcı dostu ve kullanım maliyeti makul düzeydedir. CFD metodu ile modelleme yapıldığı için rüzgâr gibi dinamik iklim değişkenleri de simülasyonlara dâhil edilebilmektedir. Ek olarak MRT, bağıl nem, SVF ve PET gibi mikro iklim modellemede önemli değişkenleri üretebilme kabiliyeti de bulunmaktadır. Görselleştirme grafik kalitesi ise oldukça yüksektir. Ancak, büyük alanlar için kullanım ücreti ve modelleme için ortalama bir bilgisayarda veri işleme süresi fazladır. CAD ya da GIS bağlantısı olmayıp, uygulamalar arası veri akışı açısından uyumluluğu orta seviyededir.

3.2. ANSYS Fluent Genel Bakış

ANSYS Fluent, en yaygın kullanılan CFD araçlarından biridir ve birçok kentsel açık alan çalışmasında kullanılmıştır. Enerji dengesi, radyasyon ve buharlaşma modülü ile genişletilmiş hava akışını tahmin etmek için geliştirilmiştir (Taleghani, 2018). ANSYS Fluent doğruluğu şimdiye kadarki modeller arasında en yüksek olan mikro iklim modelleme aracıdır ve bu sebeple kentsel iklim araştırmalarında birçok amaç için kullanılmıştır; örneğin kentsel havalandırma, kirletici madde taşımaları, kentsel bitki örtüsü ve antropojenik ısı dağılımı (Adelia et al., 2020) çalışmalarında etkili olduğu birçok çalışma ile kanıtlanmıştır. Çok yönlülüğü ve ölçtüğü parametrelerinin çeşitliliği sayesinde profesyonel kullanım için oldukça idealdir. BDÇ ve CBS bağlantısı bulunmaktadır ve uyumluluğu bu sebeple oldukça yüksektir. Fakat, gerekli girdi verilerinin büyüklüğü ve veri işleme yükü çok fazladır. Ek olarak kullanım ücreti yüksektir. Konfor tahmini yapmamakta ve çıktılar arasında PET yer almamaktadır, bu özellikleri diğer uygulamalara kıyasla olumsuz yönlerindedir.

3.3. PALM-4U

Alman araştırma ve geliştirme projesi Urban Climate Under Change (2016-2019), PALM-4U adlı yenilikçi bir kentsel iklim modeli geliştirmiş ve 2019 yılında onaylamıştır. Araştırmanın amacı, bilim insanlarının yanı sıra mühendislik ofisleri ve kentsel yönetimlerdeki uygulayıcıların gereksinimlerini karşılayan bir model oluşturmaktır (Winkler vd., 2020). Modelin adının açılımı ise PALM-4U yani "Parallelized Large-Eddy Simulation Model for Urban Applications" tır. Doğruluğu yüksek, kullanım ücretsiz, ara yüzü kullanıcı dostu, işletim maliyeti orta seviyeli, uyumluluğu yüksek olup, bağıl nem, SVF ve PMV haricinde, tabloda yer alan tüm model çıktılarını oluşturabilen bu model grafik ve

görselleştirme açısından geliştirilmeye ihtiyaç duyan bir uygulamadır.

3.4. Ladybug & Honeybee, DragonFly, Butterfly

Ladybug, Grasshopper'daki standart EnergyPlus Hava Durumu dosyalarını (.EPW) içe aktarır ve tasarımın ilk aşamalarında karar verme sürecini desteklemek için çeşitli 2D ve 3D tasarımcı dostu etkileşimli grafikler sağlar. Aynı zamanda analiz sürecini basitleştirir, hesaplamaları otomatikleştirir ve hızlandırır ve Rhino / Grasshopper'ın 3D modelleme ara yüzünde anlaşılması kolay grafik görselleştirmeler sağlar. Ayrıca, kullanıcıların EnergyPlus, Radiance ve Daysim gibi onaylanmış enerji ve güneşiği motorlarıyla çalışmasına olanak tanır. Grasshopper parametrik araçlarıyla entegrasyonu sayesinde tasarım değişiklikleri hakkında anında geri bildirim sağlar ve tasarım ortamında çalıştığı için bilgi ve analiz kısımları etkileşimlidir. Geliştirme ücretsiz ve açık kaynaklıdır; kullanıcılar aracı ihtiyaçlarına göre özelleştirebilmekte ve kaynak koduna katkıda bulunabilmektedirler (Roudsari vd., 2013).

3.5. RayMan

RayMan modeli ilk olarak 2007'de Andreas Matzarakis tarafından geliştirilen, SVF, güneş ışığı süresi, gölge ve genel olarak radyasyon akımlarının hesaplanması ve tahmini için ücretsiz mikro ölçekli bir modeldir. Ek olarak, RayMan, insan biyometeorolojisinde kullanılan en modern termal indeksleri tahmin edebilmektedir. Model, birkaç veri formatına karşılık gelir ve bunları birbirine bağlar; GIS çıktıları ve kentsel iklim araştırmalarında ve sorunlarında daha fazla işlem için bilgi aktarımı yapabildiğinden uyumluluğu oldukça yüksektir (Matzarakis, 2012b). Doğruluğu yüksek ve kullanıcı dostu bir model olduğu için farklı kullanıcı grupları için erişilebilir bir uygulamadır. Fakat, basit yapıda bir model olduğundan rüzgâr modellemesi yapmaya elverişli değildir.

3.6. UMEP

2015'te Fredrik Lindberg ve Sue Grimmond vd. tarafından geliştirilen ve QGIS yazılımında bir araç olarak kullanılabilen model, şehir tabanlı bir iklim modelleme aracıdır. UMEP (Urban Multi-scale Environmental Predictor), iklim simülasyonları için gerekli olan modelleri ve araçları birleştiren entegre edilmiş bir uygulamadır. UMEP, dış mekân termal konforu, rüzgâr, kentsel enerji tüketimi ve iklim değişikliğinin azaltılması ile ilgili uygulamalar için geniş bir kullanıma sahiptir. Kullanıcıların birden fazla kaynaktan atmosferik ve yüzeysel verileri girmesine, kentsel ortamı karakterize etmesine, şehirlerde kullanılmak üzere meteorolojik verileri hazırlamasına, simülasyonları gerçekleştirip senaryoları dikkate almasına ve farklı iklim göstergeleri kombinasyonlarını karşılaştırıp görselleştirmesine olanak tanıyan araçlar içermektedir (Lindberg vd., 2018). Ayrıca açık kaynaklı ve ücretsiz bir araç olan UMEP, kullanıcı dostu ara yüze sahiptir ve işletim maliyeti düşüktür bu yönüyle araştırmacılar, karar

vericiler ve uygulayıcılar tarafından erişilebilir olacak şekilde tasarlanmıştır. Fakat PET, PMV, SVF ve rüzgâr hızı, rüzgâr yönü gibi iklim değişkenleri çıktıları arasında yer almamaktadır.

4. SONUÇLAR

Farklı karmaşıklık düzeylerine sahip ve modelleme sırasında çeşitli değişkenler kullanan altı mikro iklim simülasyon yazılım aracı, arazi yönetimi, şehir planlama ve kentsel tasarım alanları açısından değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, sonuçta aralarından en etkili olan programa erişmek değil, farklı uygulamaları çeşitli kullanıcılar ve kullanım amaçları için analiz etmektir. Bu doğrultuda,

- ENVI-met ve ANSYS Fluent araçları, doğruluklarının yüksekliği ve yapılan modellemelerin CFD hesaplamalarını içermesi yönleriyle profesyonel kullanıma uygun olduğu saptanmıştır. ENVI-met aracının uyumluluğunun artırılması ve ANSYS Fluent aracının ara yüzünün kullanım karmaşıklığının giderilmesi ileriki dönemlerde kullanıcılara fayda sağlayabilecek birer öneri olarak değerlendirilebilir.
- PALM-4U programı, makalede hedeflenen kullanıcı grubu kendisine hedef edildiğinden hem profesyonel hem de amatör ya da öğrenci kullanımına oldukça elverişlidir. SVF analizinin yapılmaması eksikliklerinden biri olarak değerlendirilebilir.
- Rhino/Grasshopper'ın Ladybug & Honeybee, DragonFly, Butterfly eklentileri, tasarım ya da planlama sürecinde yapılan değişikliklerin direkt kullanıcı tarafından gözlemlenmesi yönünde diğer programlardan farklılaşarak parametrik tasarımı bünyesinde barındırır. Her seviyeden kullanıcı için uygun ve uyumluluğu yüksek bir yazılımdır.
- RayMan, odağı mikro iklim modellemesindenense gölgelendirme analizi olan ve bu amaçla kullanımı oldukça ideal olan bir uygulamadır. Bu özelliğinin yanı sıra mikro iklim simülasyonu için gereken çıktıların çoğunu, rüzgâr modellemesi hariç, sağlamaktadır. Farklı amaçlara yönelik olarak, profesyonel kullanım ve öğrenci kullanımına uygundur.
- UMEP modeli kentsel analizlere özel olarak geliştirilmiş olup, yapılan modeller yönünden bazı önemli iklim değişkenlerinin bulunmamasıyla profesyonel kullanımda eksiklikler bulunabilir. Fakat uyumluluğunun yüksek olması, başka programlarla entegre çalışmasını kolaylaştırdığından hem profesyonel kullanıma hem de öğrenci kullanımına elverişlidir. Yapılan literatür taraması sonucunda, bu çalışmayı ileride yapacak araştırmacılar için iki temel çıkarım yapılmıştır.

1. Mikro iklim modelleme araçları birçok farklı parametreyi içeren karmaşık modellerdir ve kullanım ihtiyacına göre parametreler değişmektedir. Bu sebeple modelleme araçlarının yazın araştırması yapılırken, kullanım amacına ve kullanıcıya yönelik, daha özgün araştırmalar yapmak önemlidir.

2. Yazın taraması ve araç değerlendirmesi yapan çalışmaların, genelde yapıldığı gibi on yılda bir değil, en fazla beş yılda bir yapılması gereklidir. Bunun sebebi, modelleme uygulama ve araçlarının geliştiricileri tarafından mütemediyen güncellenmeleridir. Yalnızca

kısa süreli aralıklarla yapılan değerlendirme araştırmaları sayesinde araçlarla ilgili doğru bilgi üretilebilir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Bu araştırmanın hazırlanmasında herhangi bir dış destek alınmamıştır. Sorumlu yazar, aynı zamanda araştırmanın hazırlanması sürecinde yer alan tüm aşamalardan sorumludur. Araştırmanın tek bir yazarı bulunduğu ve çalışma sırasında destek alınan herhangi bir kurum veya kuruluş bulunmadığından herhangi bir çıkar çatışma beyanı bulunmamaktadır.

“Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi”nde belirtilen tüm kurallara uyulmuştur. Yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbiri gerçekleştirilmemiştir. Bu çalışmanın yazım sürecinde etik kurallarına uygun alıntı yapılmış ve kaynakça oluşturulmuştur. Çalışma intihal denetimine tabi tutulmuştur.

KAYNAKÇA

Adelia, A. S., Nfevat, I., Acero, J. A., Li, S. & Ruefenacht, L. (2020). Tool comparison for urban microclimate modelling. *Technical Report* <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000407999>

Albdour, M. S. & Baranyai, B. (2019). An overview of microclimate tools for predicting the thermal comfort, meteorological parameters and design strategies in outdoor spaces. *Pollack Periodica*, 14(2), 109–118.

Bruse, M. & Fleer, H. (1998). Simulating Surface-Plant-Air Interactions Inside Urban Environments with A Three Dimensional Numerical Model. *Environmental Modelling and Software*, 13(3–4), 373–384. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(98\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5)

Gál, C. V. & Kántor, N. (2020). Urban Climate Modeling Mean Radiant Temperature in Outdoor Spaces, A Comparative Numerical Simulation and Validation Study. *Urban Climate*, 32, 100571.

Grimmond, C.S.B., Roth, M., Oke, T.R., Au, Y.C., Best, M., Betts, R., Carmichael, G., Cleugh, H., Dabberdt W., Emmanuel, R., Freitas, E., Fortuniak, K., Hanna, S., Klein, P., Kalkstein, L.S., Liu, C.H., Nickson, A., Pearlmutter, D., Sailor, D. & Voogt, J. (2010). Climate and More Sustainable Cities: Climate Information for Improved Planning and Management of Cities (Producers/Capabilities Perspective). *Procedia Environmental Sciences*, 1, 247–274.

Hunt, A. & Watkiss, P. (2011). Climate change impacts and adaptation in cities: A review of the literature. *Climatic Change*, 104(1), 13–49.

Jänicke, B. (2018). *Review of Models and Tools for Climate-sensitive Urban Design Background Lack of an overview*. 10th International Conference on Urban Climate (ICUC 10), 6 – 10 Ağustos 2018, New York.

Lindberg, F., Grimmond, C. S. B., Gabey, A., Huang, B., Kent, C. W., Sun, T., Theeuwes, N. E., Järvi, L., Ward, H. C.,

Capel-Timms, I., Chang, Y., Jonsson, P., Krave, N., Liu, D., Meyer, D., Olofson, K. F. G., Tan, J., Wästberg, D., Xue, L. & Zhang, Z. (2018). Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP): An integrated tool for city-based climate services. *Environmental Modelling and Software*, 99, 70–87.

Maleki, A., Kiesel, K., Vuckovic, M. & Mahdavi, A. (2014). *Empirical and Computational Issues of Microclimate Simulation Empirical and Computational Issues of Microclimate Simulation*. Information and Communication Technology, 14-17 Nisan 2014, Bali.

Matzarakis, A. (2012a). *Linking urban micro scale models-The models RayMan and SkyHelios*. 8th International Conference on Urban Climates, 10-13 Mayıs 2012, Dublin.

Matzarakis, A. (2012b). *RayMan and SkyHelios model-two tools for urban climatology*. 8. Fachtagung Des Ausschusses Umweltmeteorologie Der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft, Leipzig.

Roudsari, M. S., Pak, M., Smith, A. & Gill, G. (2013). *Ladybug: A Parametric Environmental Plugin for Grasshopper to Help Designers Create an Environmentally-Conscious Design*. 13th Conference of International Buildings Performance Simulation Association, 26-28 Ağustos 2013, Chambéry.

Smyth, A. & Dumanski, Julian. (1995). A framework for evaluating sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science*, 75, 401-406.

Taleghani, M. (2018). Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies- A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2011–2018.

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.

Tsoka, S., Tsikaloudaki, K., & Theodosiou, T. (2020). Investigation Methods and Mitigation. *Energies*, 13, 1414.

Tuğaç, Ç. (2018). Türkiye İçin İklim Değişikliğine Dayanıklı Kentsel Planlama Modeli Önerisi: Eko-Kompakt Kentler. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 32(4), 1047–1068.

UNEP & UN-Habitat. (2009). Climate Change: The Role of Cities. Involvement- Influence- Implementation. <https://unhabitat.org/> [Erişim Tarihi: 29.9.2021]

Winkler, M., Steuri, B., Stalder, S. & Antretter, F. (2020). *Evaluating the Practicability of the new Urban Climate Model PALM-4U using a Living-Lab Approach*. 12th Nordic Symposium on Building Physics, 6-9 Eylül 2020, Tallin.

Wong, N. H., Jusuf, S. K. & Tan, C. L. (2011). Integrated urban microclimate assessment method as a sustainable urban development and urban design tool. *Landscape and Urban Planning*, 100(4).



© Author(s) 2021.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>