

Using Voronoi Diagrams and Space Syntax in Determining Emergency Assembly Areas: Bursa Karaman District

Gizem Özçidem Sümen¹, İlayda Şevval Alış², Göktürk Bostancı³,
Barış Mert Karasu⁴, Özgür Ediz⁵

ORCID NO: 0009-0007-1930-0416¹, 0009-0002-9875-3547²,
0009-0009-7983-3008³, 0000-0002-0743-208X⁴, 0000-0002-
0486-8806⁵

^{1,2,3,4,5} Bursa Uludağ University, Faculty of Architecture, Architecture Department, Bursa,
Türkiye

The planning of safe assembly areas in disaster and emergency management processes is of paramount importance for ensuring public safety and minimizing risks. Particularly in regions undergoing rapid urbanization, the accurate identification of such areas is critical to mitigating chaos during disasters and expediting the post-disaster recovery process. This study evaluates the adequacy of existing emergency assembly areas within the boundaries of Karaman Neighborhood in Nilüfer District, Bursa, in terms of population density and accessibility. Furthermore, it proposes new assembly areas where deemed necessary.

The study employs a combination of Voronoi diagrams and space syntax methods. In the initial phase, a correlation between population density data and urban voids within Karaman Neighborhood was established. Using Voronoi diagrams, the influence areas of these voids were delineated based on appropriate accessibility distances. This analysis enabled the assessment of how effectively the urban voids accommodate the current population density and their spatial proximity to residential zones. In the subsequent phase, the accessibility levels of the proposed and existing assembly areas were analyzed through space syntax methods.

The findings indicate that the existing assembly areas in Karaman Neighborhood are insufficient in certain regions in terms of both population density and accessibility. The results derived from the Voronoi diagrams underscore the necessity of additional assembly areas, particularly in densely populated zones. Spatial analysis further reveals significant disparities in the accessibility levels of the existing urban voids, highlighting the need for their enhancement to meet the requirements of disaster preparedness effectively. The use of these two methods together in determining disaster assembly areas constitutes the novelty of the study.

Received: 12.01.2025

Accepted: 21.04.2025

Corresponding Author:

gizem.ozcidem@gmail.com

Özçidem Sümen, G., Alış, İ. Ş.,
Bostancı, G., Karasu, B. M., Ediz, Ö.
(2025). Using Voronoi diagrams and
space syntax in determining
emergency assembly areas: Bursa
Karaman District. *JCoDe: Journal of
Computational Design*, 6(2), 317-339.
[https://doi.org/10.53710/jcode.1618
549](https://doi.org/10.53710/jcode.1618549)

Keywords: Emergency assembly areas, Space syntax, Voronoi diagram,
Artificial intelligence

Afet Toplanma Alanlarının Belirlenmesinde Voronoi Diyagramları ve Mekân Dizimi Kullanılması: Bursa Karaman Mahallesi Örneği

Gizem Özçidem Sümen¹, İlayda Şevval Alış², Göktürk Bostancı³,
Barış Mert Karasu⁴, Özgür Ediz⁵

ORCID NO: 0009-0007-1930-0416¹, 0009-0002-9875-3547², 0009-
0009-7983-3008³, 0000-0002-0743-208X⁴, 0000-0002-0486-8806⁵

^{1,2,3,4,5} Bursa Uludağ Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Bursa, Türkiye

Afet ve acil durum süreçlerinde güvenli toplanma alanlarının planlanması, toplumsal güvenliğin sağlanması ve risklerin en aza indirilmesi açısından büyük bir öneme sahiptir. Özellikle kentleşme sürecinin hız kazandığı bölgelerde, bu alanların doğru bir şekilde belirlenmesi hem afet anındaki kaosu azaltılması hem de toplumun afet sonrası toplanma sürecinin hızlanması için kritik bir gerekliliktir. Bu çalışma, Bursa Nilüfer ilçesi Karaman Mahallesi sınırlarında yer alan mevcut afet toplanma alanlarının, olası bir afet durumunda nüfus yoğunluğu ve erişilebilirlik açısından yeterliliğini değerlendirerek gerekli görülen bölgelerde yeni toplanma alanları önermektedir. Araştırmada, algoritmik-üretken bir yöntem olan Voronoi diyagramları ve mekân dizimi yöntemleri birlikte kullanılmıştır. İlk aşamada, Karaman Mahallesi'nin nüfus yoğunluğu verileri ile kentsel boşluklar arasında bir ilişki kurulmuş ve Voronoi diyagramları aracılığıyla bu boşlukların her birinin uygun erişim mesafelerine göre etki alanları belirlenmiştir. Bu analiz, boşlukların mevcut nüfus yoğunluğunu ne derece kapsayabildiğini ve mahalledeki yerleşim alanlarına olan mesafelerini değerlendirmeyi mümkün kılmıştır. İkinci aşamada, önerilen alanların ve mevcut toplanma alanlarının erişilebilirlik seviyeleri mekân dizimi yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda, Karaman Mahallesi'ndeki toplanma alanlarının bazı bölgelerde nüfus yoğunluğu ve erişilebilirlik açısından yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Voronoi diyagramları ile elde edilen bulgular, özellikle yoğun nüfuslu bölgelerde daha fazla toplanma alanına ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymuştur. Mekân dizimi analizleri ise mevcut kentsel boşlukların erişilebilirlik seviyelerindeki farklılıkları göstermiş ve bu boşlukların iyileştirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu iki yöntemin afet toplanma alanlarının belirlenmesinde bir arada kullanılması çalışmanın yenilikçi tarafını oluşturmaktadır.

Teslim Tarihi: 12.01.2025

Kabul Tarihi: 21.04.2025

Sorumlu Yazar:

gizem.ozcidem@gmail.com

Özçidem Sümen, G., Alış, İ. Ş., Bostancı, G., Karasu, B. M., Ediz, Ö. (2025). Afet toplanma alanlarının belirlenmesinde Voronoi diyagramları ve mekân dizimi kullanılması: Bursa Karaman Mahallesi Örneği. *JCoDe: Journal of Computational Design*, 6(2), 317-339. <https://doi.org/10.53710/jcode.1618549>

Anahtar Kelimeler: Afet toplanma alanı, Mekân dizimi, Voronoi diyagramı, Yapay zekâ

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mimarlık kavramının ortaya çıkışı insanlık tarihi kadar eskidir. Yeme ve içmenin yanı sıra barınmak da insanların temel gereksinimleri arasında yer almaktadır. Bu gereksinim, yıllar boyunca kültürel, teknolojik ve ekonomik koşullara göre başkalaşım geçirmiştir. Bu süreç günümüz dinamikleri kapsamında ele alındığında, özellikle sayısal teknolojilerin gelişmesi ile bambaşka ve daha önce karşılaşmadığımız çözüm önerilerine evrilmiştir. Literatürde yer alan ve geçmiş yüzyılı etkileyen mimarideki "seri üretim" (mass production) yaklaşımlarının, "kitlese bireyselleştirme"ye (mass customization) dayalı çözümlere dönüşmesi günümüz mimarlığı açısından oldukça büyük bir önem taşımaktadır. Sayısal yaklaşımların ortaya çıkmasını tetikleme açısından "kitlese bireyselleştirme"ye dayalı bu dönüşüm; mimarlık kuramı ve pratiği üzerinde günümüzde halen yeni tartışmaların platformu olmaya devam etmektedir. (Ediz vd., 2010). Bu kavramların ve uygulamalarının ortaya çıkmasından sonra farklı teknolojik gelişmelerle de dönüşüme uğrayan mimari tasarım-üretim ortamı günümüzde yalnızca estetik ve işlevsellik bağlamında değil, aynı zamanda toplumsal ve çevresel etkileri ile de ele alınmaktadır. Mimarlığın yapay çevrenin oluşmasındaki büyük rolü, bağlamda ve özellikle deprem gerçeği konusundaki toplumsal sorumluluğunun büyüklüğünü arttırmaktadır.

Sanayileşme ile hızlı, çarpık kentleşmenin ve yoğun göçün etkisi altında bulunan Bursa kenti deprem üretme riski en yüksek olan Kuzey Anadolu fay hattının etkisinde olması nedeniyle tarihi boyunca birçok kez deprem gerçeği ile yüzleşmiştir. Bu depremlerden kayıt altına alınan en etkilileri, 1855 Bursa depremleridir. Bu tarihe kadar Bursa'da 1143, 1327, 1418, 1463, 1555, 1674 ve 1705 yıllarında gerçekleşen depremler küçük çaplı olup büyük etkiler bırakmamışlardır fakat 1855 yılında gerçekleşen depremler kentte büyük yıkıma neden olmuştur. (Özcan, 2010). Bu depremler kentin gelişim yönünü ve planlanmasını doğrudan etkilenmiştir. Kent morfolojisinin değişimini takip edebilmek için Bursa'nın farklı dönemlerde hazırlanmış haritaları önemli kaynaklardır. 1855 Bursa depremlerinden sonra 1862 yılında Suphi Bey tarafından hazırlanan "Bursa Şehri Harita-i Mufassalası"nda kentin batıya; Çekirge bölgesine doğru genişlediği ve bölgesel olarak daha düzenli bir kentleşme olduğu gözlemlenmektedir (**Şekil 1**).



Günümüzde Bursa’da kentleşme, Uludağ eteklerinden ova içerisine kadar inmiştir. Kalın alüvyon zemin yapısına sahip olan bu alanların konut alanı olarak değerlendirilmesi tarihte büyük depremler üretmiş olan aktif fay hattı üzerinde bulunan bir şehir için çok risklidir (Akyol vd., 2002; Uyanık, 2006; Tabban, 2000). Bu sebeple, gelecekte gerçekleşebilecek olası depremler için kentte kusursuz işleyen bir afet yönetim programı uygulanmalıdır. Afet yönetim programlarının önemli bileşenlerinden birini de afet esnasında ve sonrasında güvenliği sağlayacak toplanma alanları oluşturmaktadır.

Şekil 1: 1862 yılı Bursa Şehri Harita-i Mufassalası (Map of the City of Bursa in 1862) (Salt Research, Mühendishane-i Hümayun Archive, 1862)

Deprem ve sel gibi ani ve yıkıcı doğal afetler sonrasında halkın toplanması için planlanan afet toplanma alanlarının etkin bir şekilde belirlenmesi hayati öneme sahiptir (Alexander, 2002; Cutter, 2003). Literatürde, bu alanların belirlenmesi için coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı yöntemler sıklıkla kullanılmakta olup, voronoi diyagramları gibi geometrik modeller, afet toplanma alanlarının optimizasyonu ve erişilebilirlik analizleri için etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır (Aurenhammer, 1991; Okabe vd., 2000). Voronoi diyagramları ayrıca üretken bir tasarım yaklaşımı olarak kentsel tasarım çalışmalarında

kullanılmaktadır (Davis, 2013; Nowak, 2015). Kentsel biçimlerin erişilebilirlik miktarlarının derecelendirilmesi ve değerlendirilmesinde space syntax (mekân dizimi) yöntemi, mekânsal biçimlenme ve insan hareketliliği arasındaki ilişkiyi anlamak açısından önemli bir katkı sağlamaktadır (Hillier ve Hanson, 1984; Karimi, 2012).

Bu çalışmada, voronoi diyagramları ile belirlenen afet toplanma alanlarının erişilebilirlik değerlerinin mekân dizimi yöntemi ile analiz edilmesi ve bu yöntemlerin afet yönetimi stratejilerine entegrasyonu üzerine bir yaklaşım önerilmektedir. Voronoi diyagramlarıyla önerilen afet toplanma alanlarının erişilebilirlik derecelerinin mekân dizimi yöntemiyle değerlendirmesi çalışmanın özgün yönünü oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında sayısal yöntemlere dayalı bir kurgu ile algoritmik-üretken bir yöntem olan voronoi diyagramı yöntemi kullanılarak, Bursa Nilüfer ilçesi Karaman Mahallesi'nin mevcut afet toplanma alanlarını nüfus yoğunluğu ve erişilebilirlik parametreleri üzerinden değerlendirilerek olası afet durumunda yerleşik nüfusun daha kolay ulaşabileceği toplanma alanları önerilmiştir. Bu kapsamda ilk aşamada nüfus yoğunluğunun kentsel boşluklarla ilişkisini ve bu boşluklara olan erişim mesafelerini değerlendirmek için voronoi diyagramı kullanılmıştır. İkinci aşamada kentsel boşlukların erişilebilirlik seviyelerini değerlendirmek için mekân dizimi yöntemlerinden faydalanılmıştır. Çalışmada, voronoi diyagramları ile belirlenen afet toplanma alanlarının erişilebilirlik derecelerinin oldukça yüksek olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmanın gelecekte toplanma alanlarının planlanmasında, afet ve acil durum sonrası yeniden yapılanmada sistemli ve bilimsel bir yaklaşım olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

2. AFET VE ACİL TOPLANMA ALANLARI KRİTERLERİ (CRITERIA FOR DISASTER AND EMERGENCY ASSEMBLY AREAS)

Kentsel alanlarda acil toplanma alanlarının seçimi, afet/acil durum anında ve hemen sonrasında insanların güvenliğinin ivedilikle sağlanabilmesi için büyük önem taşımaktadır. Günümüzde bir üst plan olarak uygulanan Türkiye Afet Müdahale Planı'nda, afet ve acil durumlarla ilgili müdahale süreçlerinde görev alacak ekiplerin ve koordinasyon birimlerinin görevleri tanımlanarak afet hazırlık, müdahale ve iyileşme aşamalarındaki eylem planlamasının esasları belirlenmiştir (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı [AFAD], 2014).

Ancak bu plan kapsamında afet ve acil toplanma alanlarının oluşturulmasına yönelik kriterler yer almamaktadır. Literatürde Acil toplanma alanlarının belirlenmesinde beş temel kriter göz önünde bulundurulmaktadır (Aksoy vd., 2009; Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı [JICA] ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi [İBB], 2002; Tarabanis ve Tsionas, 1999):

- Erişilebilirlik: Toplanma alanlarına ulaşımın her birey için kolay olması gerekmektedir. Bu doğrultuda, yapı adalarından toplanma alanlarına olan yürüme mesafesi en fazla 500 metre veya 15 dakika içinde tamamlanabilecek şekilde belirlenmelidir.
- Ana Yollarla Bağlantı: Toplanma alanlarının ana yollarla bağlantısının sağlanması önemlidir. Acil durumda kapanma riski olan yollar da dikkate alınarak, diğer toplanma alanlarıyla kesintisiz bir ulaşım ağı oluşturulmalıdır.
- Mülkiyet: Öncelikli olarak kamuya ait araziler toplanma alanı olarak seçilmelidir. Özel mülkiyette bulunan boş alanlar ve açık otoparklar ise erişilebilirlik, kullanım özellikleri, yol bağlantıları ve diğer toplanma alanlarıyla oluşturduğu bütünlük ile alan büyüklüğü göz önünde bulundurularak değerlendirilebilir. Ayrıca, mahallelerde bulunan kamu okulları ve cami gibi yapılar, sismik açıdan yeterli dayanıklılığa sahip olmaları durumunda toplanma alanı olarak kullanılabilir (JICA ve İBB, 2002).
- Kullanılabilirlik ve Çok Fonksiyonluluk: Toplanma alanı olarak, mevcut aktif yeşil alanlar arasında yer alan spor sahaları, mahalle ve semt parkları, çocuk oyun alanları, cep parkları, değerlendirilebilir. Ayrıca okul, bina, cami, hastane bahçeleri; boş araziler, halı sahalar ve açık otoparklar da uygun seçenekler arasındadır. Bu alanların en az 500 m² büyüklüğünde olması gerekmektedir (JICA ve İBB, 2002).
- Alansal Büyüklük: Her mahallede bir “Ön Tahliye Alanı” oluşturulması ve kişi başına en az 1,5 m² brüt alan ayrılması önerilmektedir (JICA ve İBB, 2002). Tarabanis ve Tsionas (1999) ise yapı adası ölçeğinde, toplanma alanlarında kişi başına düşen net kullanım alanının en az 2 m² olması gerektiğini belirtmiştir.

Bu kriterlerden yapılan çıkarımlara göre hizmet ettiği yerleşim yerlerine maksimum ulaşım mesafesi 500 m veya 15 dakika olan, minimum 500 m² büyüklüğünde, kişi başı 2 m² kullanım alanı şartını sağlayabilecek toplanma alanları voronoi diyagramı kullanılarak belirlenmeye

çalışılmıştır. Bu alanların erişim düzeyi de mekân dizimi yöntemiyle belirlenmiştir.

Ülke genelinde afet ve acil toplanma alanlarının belirlenmesinde çerçevesi net çizilmiş bir standartlar bütünlüğünün bulunmaması, belediyeler tarafından belirlenen toplanma alanlarının temel kriterlere göre kullanılabilirliğinin yeterli olmamasıyla sonuçlanmaktadır. Bu çalışmada afet ve acil toplanma alanlarının belirlenmesinde farklı bölgeler için uyarlanabilir, bilimsel bir model oluşturmak amaçlanmıştır.

3. KARAMAN MAHALLESİ (KARAMAN NEIGHBORHOOD)

Karaman mahallesi İzmir-Mudanya yolu arasında yer almaktadır. Köy olarak tarihi 1530 yılındaki kayıtlara kadar uzanmaktadır. 1926 yılında İhsaniye köyü ile birleştirilmiş ve 1987 yılında mahalle haline getirilmiştir (Kaplanoğlu, 2016). Bursa'nın eski mahallelerinden biri olan Karaman'da Nilüfer Belediyesi'nden alınan 2023 nüfus verilerine göre 5532 erkek, 5917 kadın olmak üzere 11449 kişi yaşamaktadır. Mahallenin en kalabalık yaş grubunu toplam 1642 kişi olmak üzere 65 yaş ve üzeri kişilerden oluşturmaktadır. Mahallenin 1985, 2010 ve 2024 kuş bakışı görüntüleri incelendiğinde, yerleşme biçimlerinin ne şekilde olduğuna dair bilgi edinilebilmektedir. Google Earth platformu üzerinden 1985 yılına ait kuş bakışı görüntüsü bulanık olsa da mahalledeki yerleşimlerin kuzey yönünden başladığı gözlemlenmektedir (Şekil 2).

Şekil 2: Karaman Mahallesi'nin soldan sağa; 1985, 2010 ve 2024 yıllarına ait uydu görüntüleri (Satellite images of Karaman Neighborhood, shown from left to right for the years 1985, 2010, and 2024) (Google Earth)



Mahallenin ilk yerleşiminin başladığı kuzey ve kuzey-batı bölgesinde yoğun bir yapılaşma gözlemlenmektedir. Bölgedeki yapılaşma şekli bitişik nizamdır. Sistemsiz yapılan araç parklarının araç ve yaya sirkülasyonunu zorlaştırdığı görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3: Karaman Mahallesi'nin kuzeyinin yerleşim dokusunu gösterir uydu görüntüsü ve örnek sokak fotoğrafı (Satellite image and representative street photograph illustrating the settlement pattern in the northern part of Karaman Neighborhood) (Google Earth)

Mahallenin İzmir yolundan girişinde kalan güney bölgesinde ise daha geniş yollar, yeni ve ayırık nizam binalar gözlemlenmektedir. Kentsel dönüşüm projeleri daha çok bu alanda yoğunlaşmıştır (**Şekil 4**).



Şekil 4: Karaman Mahallesi'nin güneyinin yerleşim dokusunu gösterir uydu görüntüsü ve örnek sokak fotoğrafı (Satellite image and representative street photograph illustrating the settlement pattern in the southern part of Karaman Neighborhood) (Google Earth)

Karaman Mahalle'si sınırları içerisinde Nilüfer Belediyesi'nin belirlediği 3 adet afet toplanma bölgesi bulunmaktadır. Bu alanlar; Karaman Dernekler Yerleşkesi, Canaydın İlköğretim Okulu ve Karaman Muhtarlığı halı sahasıdır. Bu 3 toplanma alanı haricinde mahalle sınırları dışarısında kalan fakat mahalleye hizmet edebilecek kadar yakında bulunan 2 adet daha afet toplanma alanı mevcuttur. Bu alanlar, İhsaniye İhlamur Çocuk Parkı ve Esentepe Nedim Öztan İlköğretim Okulu'dur. Çalışma Karaman Mahallesi özelinde yapıldığı için mahalle sınırları dışında kalan toplanma alanları dikkate alınmamıştır (**Şekil 5**).

Şekil 5: Mevcut acil durum toplanma alanları (Existing emergency assembly areas)



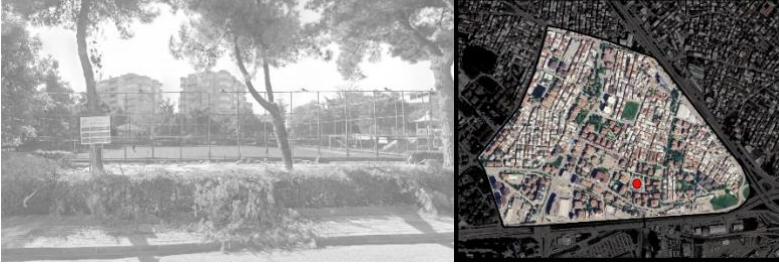
Mevcut toplanma alanlarının niteliğine bakıldığında kuzeyde yer alan toplanma alanı hem kapalı pazar alanı hem de dernekler yerleşkesi olarak kullanılan üç katlı binadan oluşmaktadır. Yakın çevresindeki yoğun yapılaşmanın yarattığı tehlike ve kapalı alandan oluşması sebebiyle bir toplanma alanı olarak güvenlik yönünden yeterli görülmemiştir. Aynı zamanda çevre yapılaşmadaki dar sokaklar ve sistemsiz araç parkları sebebiyle ulaşım yönünden de yeterli bulunmuştur. Mahallenin güney batısında yer alan Canaydın İlköğretim okulu toplanma alanı ile Karaman muhtarlığına ait halı sahadan oluşan toplanma alanları sağladıkları açık alan miktarı yönünden daha nitelikli bulunmuştur (**Şekil 6, 7, 8**).

Şekil 6: Karaman Dernekler Yerleşkesi toplanma alanı (Karaman Dernekler Yerleşkesi assembly area)





Şekil 7: Canaydın İlköğretim Okulu toplanma alanı (Canaydın Primary School assembly area)



Şekil 8: Halı saha toplanma alanı (Football pitch assembly area)

Daha öncesinde Karamanköy olarak bilinen Karaman Mahallesi Nilüfer Bölgesi'nin en eski yerleşimlerinden birisidir. Mahallede bitişik nizam yapılaşma şeklini, çarpık kentleşme örneklerini, dar sokakları, kaçak katları, gözlemlerken aynı zamanda geniş sokakları, kentsel dönüşümü ve ayrık nizam yapılaşma şeklini de gözlemlemek mümkündür. Mahalle içerisinde bulunan afet toplanma alanları da dahil olmak üzere kuzey ve güney yönünde farklı yapılaşma karakteristikleri göstermiştir. Bu sebeplerle farklı dokuları içinde barındıran Karaman Mahallesi bu çalışmada kullanılmak için uygun bulunmuştur. Çalışma kapsamında Karaman Mahallesi ve bu mahalledeki toplanma alanları incelenmiş, mahalle voronoi diyagramları kullanılarak yapılaşma yoğunluklarına göre bölümlere ayrılmış ve her bölüm için ideal toplanma alanı önerileri geliştirilmiştir.

4. YÖNTEM (METHOD)

Bu çalışmada, yeni afet ve acil toplanma alanlarının belirlenmesi hedefiyle hesaplamalı bir yöntem olan voronoi diyagramı yaklaşımının uygulanması için MATLAB yazılımından faydalanılmıştır. OpenAI tarafından geliştirilen ChatGPT yapay zekâ aracı yardımıyla voronoi diyagramlarının üretilmesinde kullanılan algoritmalar oluşturulmuştur.

Voronoi diyagramları, bir düzlemi veya uzayı, belirli bir dizi noktaya (çekirdek) olan yakınlıklarına göre bölümlere ayıran temel bir geometrik yapıdır. Her bir bölge, o bölgedeki en yakın çekirdeğe ait olan noktaları içerir (Aurenhammer ve Klein, 2000).

Voronoi diyagramları, mimarlıkta estetik ve yapısal tasarımda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Doğadan esinlenen bu desenler, cephe tasarımından yapısal optimizasyona, parametrik tasarımdan kentsel planlamaya kadar birçok alanda yenilikçi çözümler sunar. Bu diyagramlar, mimari tasarımda estetik ve işlevselliği bir araya getirerek, tasarımcılara geniş bir yaratıcı alan sağlar. Voronoi diyagramları, kentsel alanların ve konut alanlarının tasarımında da kullanılabilir. Bu diyagramlar, alanların zonlanmasında ve bölgesel planlamada etkili bir araç olarak kullanılabilir (Nowak, 2015).

Voronoi diyagramlarının, Karaman mahallesi bazında potansiyel toplanma alanlarının belirlenmesinde matematiksel bir yaklaşım olarak kullanılması çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

4.1. Veri Toplama ve Hazırlık (Data Collection And Preparation)

Çalışma alanı olarak seçilen Bursa Nilüfer ilçesi Karaman Mahallesine ilişkin mevcut toplanma alanlarının nokta ve koordinatlarının yer aldığı kmz dosyasıyla 2023 yılı verilerine göre tüm mahalleyi kapsayan kadın, erkek ve toplam nüfus bilgisinin yer aldığı excel dosyası Nilüfer Belediyesi'nden temin edilmiştir. Toplanma alanlarının büyüklükleri, çevresindeki yapılaşma niteliği ve yoğunluğu, ana yollara uzaklığı Google Earth ve Google Maps kullanılarak incelenmiş gerekli görüldüğü takdirde yerinde ziyaret yapılarak bu alanların mevcut durumu belgelenmiştir. Toplanma alanlarını gösteren kmz dosyası Google Earth platformunda incelenmiş ve koordinatları daha sonra işlenmek üzere kaydedilmiştir.

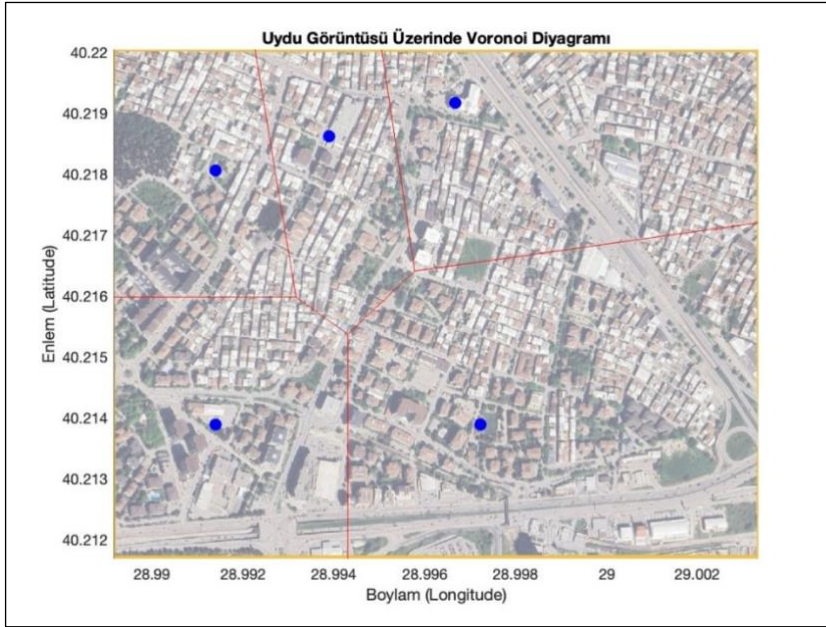
4.2. Voronoi Diyagramlarının Oluşturulması (Creating Voronoi Diagrams)

Elde edilen veriler, yapay zekâ yardımıyla MATLAB yazılımı kullanılarak uygun bir biçimde düzenlenmiş ve araştırmanın temel yöntemi olan Voronoi diyagramları süreci için hazırlanmıştır. Öncelikle, Karaman Mahallesi sınırları içerisindeki mevcut toplanma alanlarının coğrafi koordinatları belirlenmiştir. Bu kapsamda, ilgili toplanma alanlarına ait boylam (longitude) ve enlem (latitude) değerleri bir dizi halinde MATLAB ortamında tanımlanmıştır.

Bu koordinatlar doğrultusunda uydu görüntüsü temin edilmiş ve yapay zekâ yardımı ile kodlanarak, çalışmada kullanılmak üzere MATLAB yazılımına entegre edilmiştir. Uydu görüntüsünün çalışma kapsamında doğru bir şekilde hizalanması ve coğrafi boyutlarının uyarlanabilmesi

için, görüntünün boylam ve enlem aralıkları belirlenmiş ve bu aralıklar kodda sınır değerleri olarak tanımlanmıştır.

Voronoi diyagramlarının oluşturulması için MATLAB'ın voronoi fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon, belirlenen koordinatlara dayalı olarak geometrik bir bölgeleme yaparak, her bir toplanma alanının kapsama sınırlarını belirlemiştir. Diyagramlar, uydu görüntüsü üzerine görsel olarak yerleştirilmiş ve noktalar, ilgili toplanma alanlarını temsil edecek şekilde mavi renkli olarak görselleştirilmiştir (**Şekil 9**).



Şekil 9: Mevcut afet toplanma alanlarına göre çizilen voronoi diyagramı (Voronoi diagram drawn according to existing disaster assembly areas)

Bir sonraki aşamada ise mevcut toplanma alanlarını esas alan önceki analizden farklı olarak, Voronoi noktaları nüfusun yoğun olduğu bölgeler dikkate alınarak belirlenmiştir (**Şekil 10**). Burada ilk olarak analiz yapılacak bölgeyi tanımlamak için çalışma alanının sınırlarını belirleyen bir poligon sistemi oluşturulmuştur. Poligonun köşe noktalarının koordinatları (enlem ve boylam) kullanılarak MATLAB ortamında bir poligon şekli tanımlanmıştır. Bu poligon, analiz alanının sınırlarını ifade etmektedir.

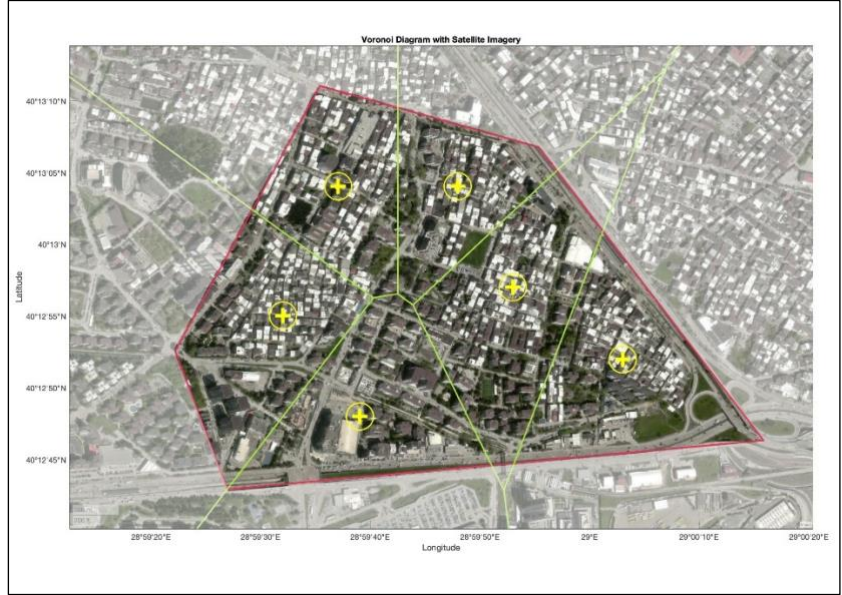
Sonraki aşamada diyagramı oluşturmak için noktalar belirlenmiştir. Bu noktalar belirlenirken Karaman Mahallesi Google Earth uydu görüntüsü incelenerek yapılaşmanın yoğun görüldüğü her bir alan için yaklaşık olarak o alanların merkezlerine denk gelecek noktalar işaretlenmiştir. Bu noktalar çalışma alanındaki potansiyel yoğunluk bölgelerini temsil

etmektedir. Bu noktaların koordinatları derece, dakika ve saniye formatında belirlenmiş ve daha sonra ondalık dereceye çevrilerek MATLAB ortamına tanımlanmıştır.

Voronoi diyagramları, MATLAB'ın voronoi fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır. Bu işlem, belirlenen Voronoi noktalarından hareketle, her bir noktanın etkili kapsama alanını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Voronoi sınırlarının coğrafi bağlamda doğru şekilde görselleştirilmesi için MATLAB'ın coğrafi harita (geobasemap) altyapısı kullanılmış ve uydu görüntüsünü baz alan harita olarak seçilmiştir.

MATLAB'ın geoplot ve geoscatteer fonksiyonları, poligon sınırlarının, noktaların ve Voronoi kenarlarının uydu görüntüsü üzerinde coğrafi olarak doğru bir şekilde görselleştirilmesini sağlamıştır (**Şekil 10**). Çizim sırasında, Voronoi kenarlarının birden fazla segmenti, bir döngü (loop) kullanılarak coğrafi koordinatlar üzerinden çizilmiştir.

Şekil 10: Yoğun nüfus bölgelerine göre oluşturulmuş voronoi diyagramı (Voronoi diagram created in relation to high-density population areas)



4.3. Mekân Dizimi Yöntemi (Space Syntax Method)

Çalışmada voronoi diyagramlarından elde edilen sonuçların erişilebilirlik parametresiyle ilişkisini test etmek için mekân dizimi analiz tekniğinden faydalanılmıştır. Mekân dizimi yaklaşımında bütünü oluşturan parçalarda meydana gelen bir değişimin bütünü yapısını değiştirdiği öne sürülmektedir. Şehirlerin barındırdığı geometrik düzen sonucu sahip olduğu morfolojik yapı konfigürasyon olarak tanımlanmaktadır. Mekân dizim kuramı, yerleşimlerin konfigürasyonel özelliklerinin

bireylerin hareketleri, karşılaşmaları ve etkileşimleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu öne sürmektedir. Mekân dizimi yaklaşımına göre, mekanların sosyal yapıları ile mekânsal konfigürasyonları arasında karşılıklı bir ilişki bulunmaktadır (Hillier, 2007; Hillier ve Hanson, 1984). Eksensel hat haritaları bir konfigürasyonun analiz edilebilmesi için gerçekleştirilmesi gereken ilk görev olarak tanımlanmaktadır (Oliveira, 2013). Eksensel bir harita oluşturmak için yollar, caddeler ve insanların hareket edebileceği kentsel boşluklar, en uzun görüş ve hareket hatları şeklinde çizilen eksensel çizgilerle modellenmektedir (Van Nes ve Yamu, 2021). Lee vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kentsel ölçekli mekân dizim araştırmalarının büyük çoğunluğunun eksensel hat analiz tekniğinin entegrasyon değerlerinin temel parametre olarak tercih edildiğini vurgulamaktadır. Global entegrasyon analizi, bir caddenin veya sokağın, kentsel sistemdeki diğer tüm cadde ve sokaklara olan erişilebilirlik miktarını nicel olarak ifade etmek için kullanılmaktadır (Hillier, 2007). Yüksek entegrasyon değeri eksensel hattın sistemdeki diğer hatlarla kurduğu ilişkinin kuvvetli olduğunu başka bir deyişle eksensel hattın erişilebilirlik derecesinin yüksek olduğunu ifade etmektedir. Literatürde mekân dizimi erişilebilirlik parametreleriyle insan hareketleri arasındaki paralel ilişkiyi ortaya koyan çalışmalar bulunmaktadır (Chang ve Penn, 1998; Chiu vd., 2020; Colaço ve Silva, 2023; Hillier vd., 1993; Penn vd., 1998). Çalışma kapsamında Karaman mahallesinin fiziksel yapısını ve afet toplanma alanlarının erişilebilirlik derecesini ortaya çıkarmak için mekân dizimi yönteminin entegrasyon parametresinden faydalanılmıştır.

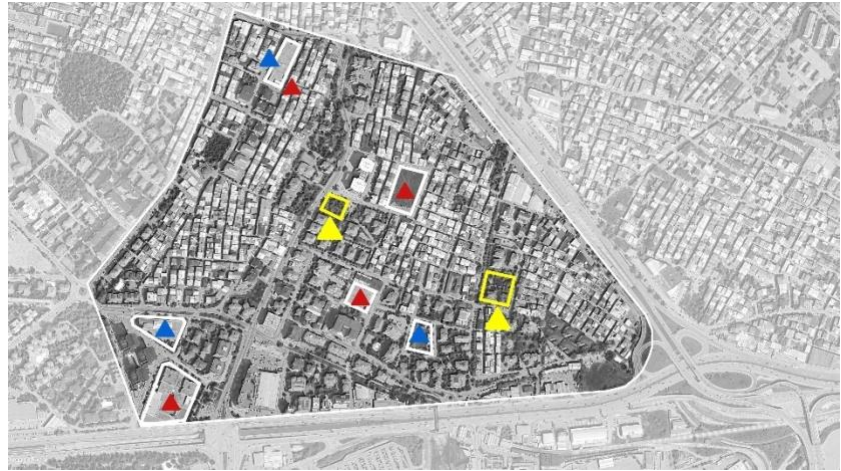
5. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Mahallede mevcutta 3 adet afet toplanma alanı ve 4 adet çadırkent alanı bulunmaktadır. “Erişilebilirlik” ölçütüne göre, 3 alandan da 500 m yarıçapında bir çemberler çizildiğinde bu çemberlerin tüm mahalleyi kapsadığı görülmüştür. Bu durum, yerleşim yerlerinden toplanma alanlarına mesafe açısından erişim kriterinin karşılandığını göstermektedir. “Yol akslarıyla bağlantı” kriteri açısından değerlendirildiğinde, Karaman Dernekler Yerleşkesi ve ilkokulun ana yollarla doğrudan bağlantısının bulunduğu, ancak halı sahanın böyle bir bağlantıya sahip olmadığı tespit edilmiştir. Halı sahanın en yakın ana yola olan mesafesi yaklaşık 100 metre olarak ölçülmüştür. Mülkiyet durumu incelendiğinde, üç alanın da belediye mülkiyetinde olduğu belirlenmiştir. Bu durum, toplanma alanlarının öncelikli olarak kamu

arazileri üzerinde belirlenmesi gerektiği yönündeki kriteri sağlamaktadır. “Kullanılabilirlik ve çok fonksiyonluluk” açısından yapılan incelemede, Karaman Dernekler Yerleşkesi’nin kapalı bir yapıdan oluştuğu ve açık alan içermediği için toplanma alanı olarak uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Buna karşın, ilkokul bahçesinin yaklaşık 3.850 m² büyüklüğünde engelsiz bir açık alan sunduğu ve minimum 500 m² büyüklük şartını sağladığı belirlenmiştir. Halı saha toplanma alanı da benzer şekilde yaklaşık 3.000 m² açık alanıyla minimum büyüklük kriterini karşılamaktadır.

Halı saha ve Canaydın İlköğretim Okulu daha nitelikli toplanma alanları olsa da çalışma kapsamında nüfusun toplanma alanlarında daha dengeli bir şekilde dağılabilmesi ve çadırkent alanları üzerindeki insan yükünün azaltılması için 2 yeni afet toplanma bölgesi önerilmiştir. Bu bölgeler; Selçuk Bahtiyar Parkı ve Seyit Onbaşı Parkı’dır. Üçüncü öneri için en uygun bölge, kuzeyde hem çadırkent hem de afet toplanma alanı olarak kullanılan Karaman Dernekler Yerleşkesi’ne alternatif olabilecek bir afet toplanma alanıdır. Fakat bu alanın halihazırda mezarlık olarak kullanılıyor olması sebebi ile çalışma kapsamına dahil edilmemiştir. Mahallenin bu bölgesindeki sıklığına ve mevcut afet toplanma alanının aynı zamanda çadırkent alanı olarak kullanılmasına rağmen alternatif olarak uygun başka bir alan bulunamamıştır (**Şekil 11**).

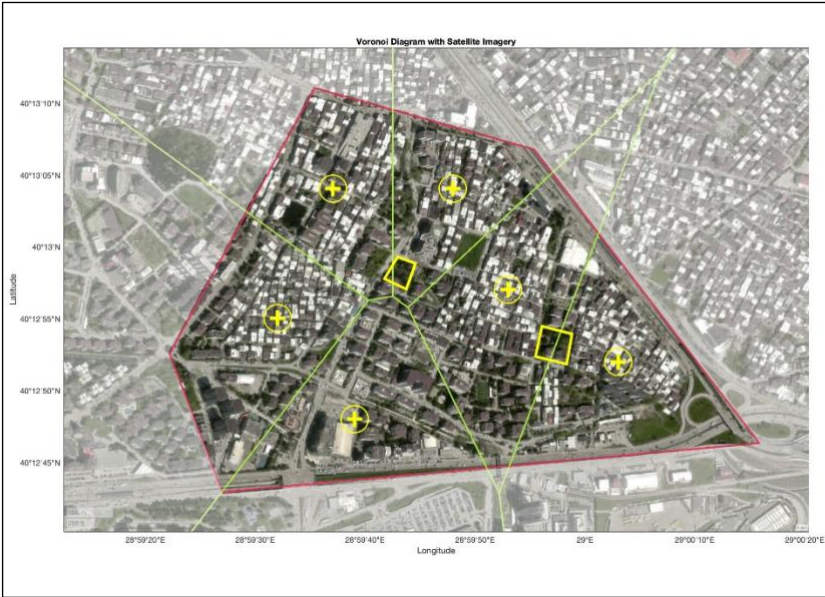
Şekil 11: Mevcut çadırkent alanları kırmızı, mevcut toplanma alanları mavi ve önerilen toplanma alanları sarı renkle gösterilmiştir. (The existing tent city areas are indicated in red, the existing assembly areas in blue, and the proposed assembly areas in yellow.).



Çalışma kapsamında öncelikle Karaman Mahallesi’nin yoğun nüfus bölgeleri belirlenmiş ve sayısallaştırılmıştır. Bu ayırım, uydu görüntülerinden gözlemlenebilen yapılaşma yoğunluklarına göre yapılmıştır. Ardından, belirlenen bölgelerin tahmini merkez noktaları, koordinat sistemine göre düzenlenerek MATLAB ortamında Voronoi

diyagramlarının oluşturulması için temel veri seti olarak kullanılmıştır. Sonuçta oluşan diyagramdan yola çıkılarak “erişilebilirlik, mülkiyet, ana yollarla bağlantı, kullanılabilirlik ve çok fonksiyonluluk” ölçütleri dikkate alınarak mevcut toplanma alanlarına ek iki yeni toplanma alanı önerilmiştir. Alansal büyüklük kriteri, bölgesel nüfus verilerine ulaşamadığı için her bir öneri toplanma alanı için değerlendirmeye alınamamıştır.

Voronoi diyagramı her hücrenin çekirdeğinden ortalama 500 m uzaklık mesafesindeki noktalarla oluşturulmuş ve çalışma alanını altı hücreye bölmüştür. Bir sınır çizgisini paylaşan iki hücrenin çekirdekleri bu sınır çizgisine aynı mesafede olmaktadır. Bu sayede sınır çizgilerinin üzerinde veya yakın alanlarında belirlenen yeni toplanma alanları her komşu bölgeye eşit mesafede yer alır. Aynı zamanda hücre içerisinde herhangi bir noktadan belirlenen toplanma alanlarına olan uzaklık 500 m’yi aşmamaktadır (**Şekil 12**).



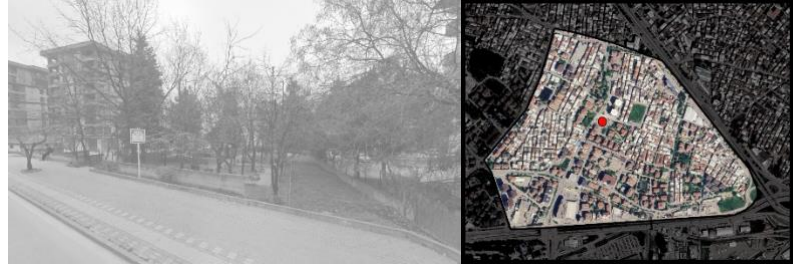
Şekil 12: Voronoi diyagramı ve önerilen toplanma alanları (Voronoi diagram and proposed assembly areas).

Belirlenen toplanma alanlarından ilki olan Selçuk Bahtiyar Parkı, voronoi diyagramında oluşan 5 hücrenin sınır çizgilerinin yakınında yer alması ve 5 hücreye de tek bir noktadan hizmet verebilecek olması sebebiyle önerilmiştir. Kamu mülkiyetinde bulunan alanın, Kükürtlü Caddesi ile doğrudan bağlantısı bulunmakta olup büyüklüğü 1540 m²'dir. Ayrıca, bu alanın belirlenmesinde etkili olan bir diğer faktör, parka yaklaşık 100'er metre mesafelerde bulunan ve Nilüfer Belediyesi tarafından belirlenen çadır kent alanlarıdır. Önerilen afet toplanma alanının, çadır kent

kurulması planlanan bölgelerin insan yükünü azaltma potansiyeline sahip olduğu düşünülmüştür.

(Şekil 13).

Şekil 13: Öneri afet toplanma alanı - Selçuk Bahtiyar Parkı
(Proposed disaster assembly area - Selçuk Bahtiyar Park)



İkinci olarak belirlenen Seyit Onbaşı Parkı, voronoi diyagramına göre iki komşu hücrenin sınır çizgisi üzerinde yer alması ve iki hücre çekirdeğine eşit mesafede olması sebebiyle seçilmiştir (Şekil 14). Kamu mülkiyetinde olan park, Gürbüzler Caddesi ile doğrudan bağlantılıdır. İçerisinde tek katlı Karaman Sağlık Merkezi binası bulunsa da açık alanın büyüklüğü yaklaşık 850 m²'dir. Ayrıca, mevcut çadır kent alanlarına ortalama 250 metre mesafede yer alması, bu alanın seçiminde önemli bir kriter olmuştur. Bu alan seçilirken dikkat edilen diğer bir etken de İzmir yolu üzerinde bulunan benzin istasyonları olmuştur. Bu istasyonların varlığı olası bir depremde tehlike arz etmektedir. Bu sebeple önerilen toplanma alanının benzin istasyonları ile arasındaki mesafe göz önünde bulundurulmuştur.

Şekil 14: Öneri afet toplanma alanı – Seyit Onbaşı Parkı
(Proposed disaster assembly area – Seyit Onbaşı Park)



Çalışma kapsamında oluşturulan eksensel harita DepthmapX yazılımı aracılığıyla işlenerek sayısal veriler ve kırmızıdan maviye giden renk paletiyle temsil edilen grafik ifadesi elde edilmiştir (Şekil 15). Sıcak renkler (kırmızı, turuncu) daha yüksek değerleri ifade ederken soğuk renkler (mavi) ise düşük değerleri temsil etmektedir.

değerlendirildiğinde önerilen toplanma alanlarının, mevcut toplanma alanlarından daha erişilebilir konumlarda bulunduğu gözlemlenmiştir. Çalışma kapsamında kentsel biçimlerin potansiyellerini ortaya koymaya yarayan hesaplamalı analiz yöntemlerinden voronoi diyagramları (Nowak, 2015) ve mekân dizimi (Hillier, 2007) yöntemi bir arada kullanılmıştır. Literatürde voronoi diyagramlarının afet toplanma alanlarının optimizasyonu ve erişilebilirlik değerlendirmelerinde kullanıldığı çalışmalar mevcuttur (Aurenhammer, 1991; Okabe vd., 2000). Fakat çalışma kapsamında önerilen voronoi diyagramları ve mekân dizimi yöntemlerinin bir arada kullanıldığı çalışmalara nadir rastlanmaktadır. Bu yöntemlerin toplanma alanlarının belirlenmesi ve belirlenen alanların erişilebilirlik derecelerinin test edilmesi amacıyla bir arada kullanımı çalışmanın özgün yönünü oluşturmaktadır. Voronoi diyagramları aracılığıyla “erişilebilirlik, ana yollarla bağlantı, mülkiyet durumu, kullanılabilirlik ve çok fonksiyonluluk” kriterleri dikkate alınarak Karaman mahallesi sınırlarında yer alan mevcut toplanma alanlarına ek iki yeni toplanma alanı önerilmiştir. Önerilen Selçuk Bahtiyar Parkı ve Seyit Onbaşı Parkı'nın mahalle ölçeğinde yapılan analizleri sonucu erişilebilirlik değerleri en yüksek eksensel hatlarla komşu oldukları gösterilmiştir (**Şekil 15**). Çalışma kapsamında afet toplanma alanlarının belirlenmesinde farklı hesaplamalı yöntemlerin birlikte kullanımının pozitif etkileri gösterilmiştir. Kentlerin sahip olduğu geometrik potansiyellerin ortaya koyulması amacıyla hesaplamalı yöntemlerden faydalanmanın, afet yönetim süreçlerini rasyonel bir alt yapıya dayandırmak için etkili bir araç olabileceği çalışma kapsamında ortaya koyulmuştur.

Özellikle 65 yaş üstü nüfus gibi dezavantajlı grupların afet durumlarında toplanma alanlarına erişimi büyük önem taşımaktadır. Yapılan analizler, önerilen yeni toplanma alanlarının mevcut alanlara kıyasla yaşlı nüfusun erişimini önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir. Örneğin, yüksek katlı ve yoğun yapılaşmanın olduğu bölgelerde, önerilen alanların daha merkezi ve erişilebilir konumlarda belirlenmesi, yaşlıların afet anında daha hızlı ve güvenli bir şekilde ulaşımını sağlamaktadır. Bu bulgular, özellikle kentsel alanlarda afet planlamasında dezavantajlı grupların ihtiyaçlarının daha etkin bir şekilde karşılanabileceğini ortaya koymaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçların pratikte uygulanabilirliği ve yerel yönetimlerin bu alanları nasıl entegre edeceği gibi konuların gelecek çalışmalarda detaylı olarak incelenmesi önerilmektedir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, Bursa ili Karaman Mahallesi sınırlarında yer alan mevcut afet toplanma alanlarının konumları nicel yöntemler kullanılarak değerlendirilmiş ve olası afet durumunda nüfus ve erişilebilirlik verilerine dayanarak alternatif toplanma alanları önerilmiştir. Alternatif toplanma alanları önerilirken voronoi diyagramları ve mekân dizimi yönteminin erişilebilirlik parametresi bir arada kullanılarak afet toplanma alanlarının belirlenmesinde çok yönlü bir değerlendirme modeli önerilmiştir. Elde edilen bulgular, Karaman Mahallesi'nde mevcut afet toplanma alanlarının bir kısmının nüfus yoğunluğu ve erişilebilirlik açısından yetersiz olduğunu göstermektedir. Özellikle, mevcut alanların nüfus yoğunluğuna göre erişim mesafelerinin eşit bir dağılıma sahip olmadığı ve bazı yoğun nüfuslu bölgelerin toplanma alanlarının erişimde dezavantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, alternatif afet toplanma alanlarının belirlenmesi için voronoi diyagramları ve belirtilen kriterler kullanılarak Selçuk Bahtiyar Parkı ve Seyit Onbaşı Parkı'nın uygun toplanma alanları olarak seçilmesi önerilmiştir. Mekân dizimi yönteminin entegrasyon parametresi kullanılarak yapılan analizler, belirlenen alanların Karaman mahallesi içindeki en erişilebilir eksensel hatlarla bağlantılı olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, söz konusu parkların afet durumlarında hızlı ve etkili bir şekilde erişilebilir olması açısından stratejik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Alternatif toplanma alanları önerilirken voronoi diyagramları ve mekân dizimi yönteminin erişilebilirlik parametresi bir arada kullanılarak afet toplanma alanlarının belirlenmesinde çok yönlü bir değerlendirme modeli önerilmiştir. Çalışma, afet yönetimi planlamasında mekânsal analiz yöntemlerinin birlikte kullanımının önemini vurgulamakta ve benzer çalışmalar için bir metodolojik çerçeve sunmaktadır. Önerilen değerlendirme modeli, yalnızca Karaman Mahallesi ile sınırlı kalmamakta, farklı kentsel bağlamlarda da uygulanabilir bir yöntem sunmaktadır. Gelecekteki araştırmalarda, benzer yöntemlerin daha geniş ölçekli analizlerde kullanılmasının, afet yönetimi, kentsel dönüşüm ve planlama süreçlerine önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu araştırmayı gerçekleştirmemiz için çalışma alanına özgü nüfus verilerini bizlerle paylaşan Bursa Nilüfer Belediyesi Kentsel Tasarım Müdürü Mimar Mustafa Yılmaz'a teşekkürlerimizi sunarız.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

"Afet Toplanma Alanlarının Belirlenmesinde Yapay Zeka ve Voronoi Diyagramları Kullanılması: Bursa Karaman Mahallesi Örneği" başlıklı yazı başka bir yerde yayınlanmamıştır ve başka bir yerde aynı anda yayınlanmak üzere gönderilmemiştir.

Yazar Katkı Beyanı (Author Contributions)

Bu makalede tüm yazarlar eşit oranda katkı sağlamıştır.

Referanslar (References)

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2014). *TAMP Türkiye Afet Müdahale Planı*. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-afet-mudahale-planı>
- Aksoy, Y., Turan, A.Y. & Atalay, H. (2009). İstanbul Fatih İlçesi Yeşil Alan Yeterliliğinin Marmara Depremi Öncesi ve Sonrası Değerleri Kullanılarak İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 14(2), 137-150. <https://doi.org/10.17482/uufje.30331>
- Akyol, N., Akıncı, A., & Eyidoğan, H. (2002). Site amplification of S-waves in Bursa City and its vicinity, Northwestern Turkey: Comparison of Different Approaches. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(7), 579-587. [https://doi.org/10.1016/S0267-7261\(02\)00030-1](https://doi.org/10.1016/S0267-7261(02)00030-1)
- Alexander, D. (2002). *Principles of emergency planning and management*. Terra Publishing.
- Aurenhammer, F. (1991). Voronoi diagrams—A survey of a fundamental geometric data structure. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 23(3), 345-405. <https://doi.org/10.1145/116873.116880>
- Aurenhammer, F., & Klein, R. (2000). Voronoi diagrams. In J. R. Sack, & J. Urrutia (Eds.), *Handbook of Computational Geometry* (201-290). North-Holland Publ Co. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-82537-7.X5000-1>
- Chang, D. & Penn, A. (1998). Integrated Multilevel Circulation in Dense Urban Areas: The Effect of Multiple Interacting Constraints on the Use of Complex Urban Areas. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 25(4), 507-538. <https://doi.org/10.1068/b250507>

- Chiu, Y.-H., Chuang, I.-T., & Tsai, C.-Y. (2020). Analyzing correlation of urban functionality and spatial configuration. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 0(11), 1-18. <https://doi.org/10.1177/2399808320924673>
- Colaço, R. & Silva, J. d. (2023). Exploring the role of accessibility in shaping retail location using space syntax measures: A panel-data analysis in Lisbon, 1995–2010. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 50(5), 1345-1360. <https://doi.org/10.1177/23998083221138570>
- Cutter, S. L. (2003). The vulnerability of science and the science of vulnerability. *Annals of the Association of American Geographers*, 93(1), 1-12. <https://doi.org/10.1111/1467-8306.93101>
- Davis, D. (2013). *Modelled on software engineering: Flexible parametric models in the practice of architecture*. [Doctoral dissertation, RMIT University]. https://www.danieldavis.com/papers/danieldavis_thesis.pdf
- Ediz, Ö. M., Erbil, Y., & Akıncıtürk, E. N. (2010). Günümüz mimarlığının dinamikleri Iceberg in görünmeyen yüzü. *Mimarlık*, 47(354), 49-52. <http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=368&RecID=2438>
- Hillier, B. & Hanson, J. (1984). *The social logic of space*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511597237>
- Hillier, B., Penn, A., Hanson, J., Grajewski, T., & Xu, J. (1993). Natural movement: Or, configuration and attraction in urban pedestrian movement. *Environment & Planning B: Planning & Design*, 20, 29–66. <https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.1963.tb26584.x>
- Hillier, B. (2007). *Space is the machine: a configurational theory of architecture*. Space Syntax.
- Japonya Uluslararası İş birliği Ajansı & İstanbul Büyükşehir Belediyesi (2002). *Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması Son Rapor Cilt V*. <https://deprezmemin.ibb.istanbul/uploads/prefix-jica-turkce-raporu-66a39c6e9b70d.pdf>
- Kaplanoğlu, R. (2016, Nisan 4). *Karamanköy Mahallesi*. [Turkhaber.com https://www.turkhaber.com/wiki/Karamankoy_Mahallesi-4492.html](https://www.turkhaber.com/wiki/Karamankoy_Mahallesi-4492.html)
- Karimi, K. (2012). A configurational approach to analytical urban design: 'Space syntax' methodology. *Urban Design International*, 17(4), 297-318. <https://doi.org/10.1057/udi.2012.19>
- Lee, J. H., Ostwald, M. J., & Zhou, L. (2023). Socio-Spatial Experience in Space Syntax Research: A PRISMA-Compliant Review. *Buildings*, 13(3), 644. <https://doi.org/10.3390/buildings13030644>

- Nowak, A. (2015). Application of Voronoi diagrams in contemporary architecture and town planning. *Challenges of Modern Technology*, 6.
- Okabe, A., Boots, B., Sugihara, K., & Chiu, S. N. (2000). *Spatial tessellations: Concepts and applications of Voronoi diagrams*. Wiley. DOI:10.1002/9780470317013
- Oliveira, V. (2013). Morpho: a methodology for assessing urban form. *Urban Morphology*, 17(1), 21–33. <https://doi.org/10.51347/jum.v17i1.2885>
- Özcan, B. (2010). Bursa Depremleri (2 Mart - 12 Nisan 1855). *Güzel Sanatlar Enstitüsü Dergisi*, (5).
- Penn, A., Hillier, B., Banister, D., & Xu, J. (1998). Configurational modelling of urban movement networks. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 25(1), 59–84. <https://doi.org/10.1068/b250059>
- Salt Research, Mühendishane-i Hümayun Archive. (1862). Retrieved January 5, 2025, from Salt Research: <https://archives.saltresearch.org/handle/123456789/122041>
- Tabban, A. (2000). *Kentlerin Jeolojisi ve Deprem Durumu*. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası.
- Tarabanis, K. & Tsionas, I. (1999). Using network analysis for emergency planning in case of earthquake. *Transactions in GIS*, 3(2), 187–197. <https://doi.org/10.1111/1467-9671.00015>
- Van Nes, A. & Yamu, C. (2021). *Introduction to Space Syntax in Urban Studies*. Springer International Publishing.
- Uyanık, O. (2006). Sıvılaşır ya da Sıvılaşmaz Zeminlerin Yinelemeli Gerilme Oranına bir Seçenek. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2), 79-91.

