

# YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ KENTSEL TASARIM KARARLARININ MARDİN TARİHİ KENT MERKEZİ VE YENİŞEHİR BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

# 23

Deryanur ŞİMŞEK <sup>1</sup>, İzzettin KUTLU <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mardin Artuklu Üniversitesi, Mimarlık Bölümü,  
deryanursimsek@artuklu.edu.tr

<sup>2</sup> Mardin Artuklu Üniversitesi, Mimarlık Bölümü,  
izzettinkutlu@artuklu.edu.tr

## ÖZET

Kentsel tasarım, tarihi kentlerin korunması ve yeni yerleşim alanlarının sürdürülebilir gelişimi arasında denge sağlamayı hedefleyen çok boyutlu ve stratejik bir planlama alanı olarak öne çıkmaktadır. Teknolojik gelişmelerde yaşanan artış ile birlikte yapay zekâ (YZ) destekli karar sistemleri, kentsel tasarım süreçlerinde yenilikçi çözümler sunarak geleneksel yöntemlerin ötesine geçebilmekte ve yeni fırsatlar sunabilmektedir. Tarihsel katmanları, özgün mimari dokusu ve morfolojik çeşitliliği ile Mardin, mekânsal analizler ve koruma temelli stratejilerin yanı sıra YZ gibi yenilikçi yaklaşımların uygulanabileceği ve dijital dönüşüm pratiklerinin denenebileceği özgün bir çalışma alanı sunmaktadır. Bu çalışma, YZ teknolojilerinin tarihi Mardin kenti ve modern gelişme alanı olarak değerlendirilen Yenişehir bölgesi üzerindeki etkilerini, morfolojik parametreler aracılığıyla karşılaştırmalı olarak incelemektedir. Çalışmanın amacı, YZ yöntemlerinin kentsel morfoloji üzerindeki dönüştürücü etkilerini değerlendirmek ve bu teknolojilerin sağladığı potansiyelleri tartışmaktır. Bu kapsamda çalışma dört aşamadan oluşmaktadır. Çalışmanın ilk aşaması, YZ destekli kentsel tasarım yaklaşımları ve uygulama örnekleri üzerine kapsamlı bir literatür taramasını içermektedir. İkinci aşamada çalışmaya veri sağlayacak olan görsellerin elde edilmesi amacıyla saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Üçüncü aşamada ise saha çalışmalarından elde edilen görseller, YZ ile analiz yöntemlerinden biri olan doğal dil işleme modeli (NLP) için veri seti olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan veri seti üzerinden olası senaryolar bağlamında elde edilen görseller yapı yoğunluğu, doku sürekliliği, mekânsal ölçek ve yapısal uyum gibi açıkça tanımlanmış morfolojik parametreler ışığında analiz edilmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise YZ destekli üretilen görseller ile mevcut durumun, bu parametreler çerçevesinde karşılaştırmalı değerlendirmesine yer verilmiştir. Çalışmada elde edilen veriler, kentsel tasarım karar verme süreçlerinde YZ uygulamalarının süreç etkin bir yaklaşım olarak karşımıza çıktığını ve kapsayıcı karar almanın önünü açtığını göstermektedir. Ancak, bu faydaların yanı sıra süreç doğal

*dil modelinin kullandığı veri seti ve kapsamı, etik problemler, teknolojik erişilebilirlik gibi hususlar olmak üzere bazı sınırlılıkları ve problemleri de bünyesinde barındırmaktadır. Sonuç olarak çalışma teorik ve uygulamalı alanlarda YZ destekli kentsel tasarım süreçlerine yönelik metodolojik bir referans çerçevesi oluşturmaktadır.*

**Anahtar Kelimeler:** Doğal Dil İşleme, Kentsel Tasarım, Kültürel Miras, Tarihi Kent, Yapay Zekâ

## 1. GİRİŞ

Kentler, tarih boyunca insanlık için sadece arınma alanları değil; aynı zamanda sosyal, ekonomik ve kültürel etkileşimlerin merkezleri olmuştur. Antik dönemden bu yana kentler, toplumsal yapının bir yansıması ve kolektif yaşamın mekânsal bir ifadesi olagelmıştır (Lynch, 1960; Jacobs, 1961). Özellikle Sanayi Devrimi sonrasında hız kazanan kentleşme pratikleri, 20. yüzyılda kentlerin mekânsal biçimlerini, demografik yapısını ve ekonomik işleyişini de derinlemesine dönüştürmüştür (Harvey, 1973; Soja, 2000). Bu dönüşümler, kentlerin fiziksel dokusunda parçalanma, merkez-çevre ilişkilerinde çözüme ve tarihi çevrelerde kimlik kaybı gibi sonuçlar doğurmuştur (Hall, 1988). Özellikle tarihi kent dokuları, modernleşme süreçlerinin baskısıyla giderek özgün niteliklerini yitirme riskiyle karşı karşıya kalmaktadır. Bu durum, tarihsel süreçte biçimlenmiş kentsel peyzajların korunması ve geleceğe taşınmasına yönelik planlama yaklaşımlarının geliştirilmesini zorunlu kılmıştır (Rossi, 1982; Carmona, 2021). Kent yerleşimlerinin çok çeşitli ve kompleks formlar içermesi, onları tanımlama ve sınıflandırma süreçlerinin de çok boyutlu yaklaşımlar gerektirmesine neden olmuştur. Bu kapsamda kentleri analiz etmenin yolları arasında istatistiksel, mekânsal /coğrafi, biçimsel, tarihsel, psikolojik ve estetik boyutlar ön plana çıkmaktadır (Kropf, 2009). Tüm bu analiz biçimleri içinde, kent formunun tarihsel sürekliliğini, mekânsal mantığını ve biçimsel dönüşümünü çözümlenmeye odaklanan kentsel morfoloji, çağdaş kent araştırmalarında kuramsal ve analitik düzeyde giderek daha stratejik bir konum kazanmaktadır.

Kentsel morfoloji, kentlerin fiziksel formunu, mekânsal organizasyonunu ve bu yapıların zaman içindeki dönüşümünü inceleyen disiplinlerarası bir çalışma alanıdır ve 19. yüzyılın sonlarında organize bir bilgi alanı olarak şekillenmeye başlamıştır (Whitehand, 2010). Kentsel morfolojinin temelleri, Alman coğrafyacıların çalışmalarıyla atılmış ve jeomorfolojinin hızla geliştiği dönemde Schlüter (1906), kültürel coğrafyanın araştırma nesnesi olarak kültürel peyzajın (Alm:Kulturlandschaft) bir morfolojisini öne sürmüştür. Beraberinde insan eliyle biçimlenmiş fiziksel formların tarihsel ve işlevsel açıklamalarıyla birlikte ele alınması gerektiğini savunmuştur. Bu çerçevede kentsel morfoloji insan eliyle şekillenen yapı yoğunluğu, doku sürekliliği, mekânsal ölçek ve yapısal uyum gibi temel parametreler aracılığıyla kentlerin biçimsel yapısını anlamlandırmayı hedeflemektedir. Berghauer Pont ve Haupt (2010), yapı yoğunluğu ile açık alan oranları arasındaki nicel ilişkileri analiz ederek farklı kentsel tipolojilerin mekânsal karşılaştırmalarını gerçekleştirmişlerdir. Chen vd. (2025) ise kent morfolojisinin işitsel algı üzerindeki etkisini analiz ederek morfolojik değişkenlerin deneysel boyutlarını öne çıkarmıştır. Kropf (2009), kent morfolojisinin çok katmanlı doğasını vurgulayarak zamansal derinlik, tipolojik süreklilik ve biçimsel ilişkiler gibi kavramların analitik çözümlenmedeki rolünü ortaya koymuştur. Literatürdeki çalışmalar, kentsel tasarım kararlarının bilimsel, tarihsel ve bağlamsal temellere oturtulmasına olanak sağlamaktadır.

21. yüzyılda dijital teknolojilerde yaşanan ilerlemeler, kentsel form, ölçek ve yapının analizine yönelik mevcut yöntem ve araçları köklü biçimde dönüştürmüştür. Geleneksel olarak kartografik yorumlama ve mekânsal tipolojilere dayanan kentsel morfoloji disiplini, dijital jeo-uzamsal araçların entegrasyonu sayesinde çok ölçekli, gerçek zamanlı ve veri entegre yorumlamaları mümkün kılan bir boyuta taşınmıştır. Bu alandaki en etkili araçlar arasında coğrafi bilgi sistemleri (CBS), uzaktan algılama teknolojileri (remote sensing), insansız hava araçları (İHA) ile görüntüleme ve üç boyutlu (3D) modelleme platformları yer almaktadır. Bu teknolojiler ile kentsel örüntülerin mekânsal ölçümünü ve yüksek hassasiyetle görselleştirilmesini mümkün kılmaktadır. CBS uygulamaları, farklı kentsel verilerin sistematik biçimde katmanlaştırılmasına olanak tanıyarak bina yoğunluğu, parsel konfigürasyonları ve kamusal alan dağılımı gibi morfolojik parametrelerin mekânsal ilişkilerinin analizini kolaylaştırmıştır. Literatür incelendiğinde; Pal ve Pani (2019)'nin , Ganj Nehri'nin orta-alt bölümündeki plan-form dinamiklerini farklı dönemlerde uzaktan algılama ve CBS teknikleriyle inceleyerek, kanal ve taşkın alanının evrimi ve dönüşümünü değerlendirdiği görülmektedir. Ye ve van Nes Nes (2014), GIS kullanarak M. R. G. Conzen'in kentsel form bileşenlerini analiz eden bir yöntem sunmuş; sokak açığı entegrasyonu için space syntax, bina yoğunluğu için spacematrix ve arazi kullanımı karışımı için Mixed-Use Index (MXI) tekniklerini kullanarak sosyo-ekonomik performans farklılıklarını değerlendirmiştir. An vd. (2023) ise, Gansu Eyaleti'ndeki Linxia Hui Özerk İdaresi'ndeki 177 geleneksel köyün mekânsal morfolojisini beş nicel gösterge (oran, sınır, doygunluk, bina yoğunluğu ve dağılım katsayıları) kullanarak kapsamlı bir şekilde analiz etmiş ve "SPSS + GIS" entegrasyonu ile köylerin mekânsal formunu incelemiştir. Uzaktan algılama teknolojileri, özellikle yüksek çözünürlüklü ve çok bantlı (multispektral) uydu görüntülerinin gelişimiyle birlikte kentsel yayılma, kara yüzey sıcaklığı (LST) ve bitki örtüsü gibi çevresel göstergelerin tespiti, sınıflandırılması ve izlenmesinde önemli bir rol üstlenmiştir. Bu bağlamda Esposito vd. (2024) çalışmalarında, yüzey kentsel ısı adası yoğunluğunu (SUHI) etkileyen temel morfolojik parametreleri belirleyerek, Milano ve Lecce şehirlerinde kentsel morfoloji ile SUHI arasındaki ilişkiyi incelemiş ve uydu verileri kullanarak kentsel ısı adası etkisinin iklim adaptasyonu ve kentsel planlama stratejileri üzerindeki önemini vurgulamıştır. Boccalatte vd. (2020), iklim değişikliğiyle mücadele ve enerji tüketimini azaltma hedefi doğrultusunda, kentsel morfoloji ve yerel iklim koşullarını dikkate alarak geliştirmiş oldukları Urban Weather Generator aracıyla Kentsel Isı Adası (UHI) fenomenini inceleyerek farklı kentsel yapılandırmaların enerji tüketim üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Bununla birlikte 3D dijital şehir modellerinin planlama süreçlerine entegrasyonu karar vericilerin kentsel büyüme senaryolarını simüle etmelerine ve planlama kararlarının mekânsal etkilerini görselleştirmelerine olanak tanımıştır. Dijital modeller morfolojik tipoloji sınıflandırması, silüet analizleri ve dikey bölgeleme değerlendirmelerinde etkin biçimde kullanılmaktadır. Xu vd. (2017) gelişmekte olan ülkelerdeki kentsel morfoloji verilerinin uyumlaştırılması ve kalitesinin artırılmasına yönelik, Kowloon Yarımadası'nda 3D kentsel morfoloji bilgilerini uydu tabanlı bir yöntemle çıkarmış ve kentsel iklim uygulamaları için önemli parametrelerin yüksek doğrulukla elde edilmesini sağlamıştır. Geliştirilen dijital araçlar yalnızca kentsel yapının teşhisine yönelik çözümler sunmakla kalmamakta, aynı zamanda kentsel politika geliştirme süreçlerinde norm koyucu işlevler üstlenerek planlıların dinamik, veriye dayalı, yinelemeli ve uyarlanabilir biçimde etkileşim kurmasına olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda Yapay zekâ (YZ), planlama ve kentsel tasarım alanlarında önemli bir dönüşüm aracı olarak öne çıkmaktadır.

YZ'nin geniş ve çok boyutlu veri kümelerini işleme, gizli mekânsal örüntüleri ortaya çıkarma ve öngörücü ya da üretken modeller oluşturma kapasitesi; kentsel sistemlerin nasıl anlaşıldığını, simüle edildiğini ve biçimlendirildiğini köklü biçimde yeniden yapılandırabilmektedir. Yalnızca analitik bir araç olmanın ötesine

geçen YZ, günümüzde tasarım müdahaleleri önerebilmekte, arazi kullanım senaryolarını optimize edebilmekte ve kentsel geleceklere simüle edebilme potansiyeliyle planlama süreçlerinde aktif bir aktör olarak rol alabilmektedir. Bu çerçevede, otonom kent planları üretmek üzere üretken çelişmeli ağlar (Generative Adversarial Networks, GAN), doğal dil işleme modelleri (NLP) ve difüzyon tabanlı modellerin kullanımı, alandaki dikkat çekici eğilimler olmaktadır. Bu alanda Wang vd. (2023) çalışmalarında, uydu görüntüleri, arazi kullanım haritaları ve insan hareketliliğine ilişkin verilerden öğrenerek belirli bir bölgesel bağlama göre uyarlanmış kentsel blok modelleri üreten GAN tabanlı bir çerçeve geliştirmiştir. Xu vd. (2024) ise, gerçek zamanlı trafik simülasyonu, enerji verimliliği optimizasyonu, afet yönetimi ve katılımcı kentsel yönetim gibi alanlarda YZ destekli dijital ikizlerin sunduğu potansiyelleri inceleyerek kapsamlı bir değerlendirme sunmuşlardır. Literatürdeki çalışmalar bütüncül olarak değerlendirildiğinde, kentsel planlamanın geleneksel olarak statik, bilgi temelli analitik formasyon yaklaşımlarından; dinamik, veri odaklı ve hesaplamalı tasarım paradigmalarına doğru evrildiği görülmektedir. Stojanovski (2022) çalışmasında, YZ ve kentsel teknolojinin kentsel morfoloğlar için önemini vurgularken, YZ destekli modellerin kentsel morfolojiye uyarlanması gerektiğini ve bu sürecin yazılım mühendisliği uzmanlığı gerektirdiğini belirtmiştir. Bu bağlamda YZ yalnızca destekleyici bir araç değil; aynı zamanda kentlerin tasarlanmasında ve değerlendirilmesinde üretken ve yönlendirici bir aktör olarak ortaya çıkmaktadır. Geleneksel bilgi üretim modellerinden farklı olarak YZ tabanlı modeller mekânsal karar verme süreçlerini yalnızca analiz etmekle kalmayıp bu süreçte aktif rol oynayıcı konuma da gelmektedir. Özellikle köklü tarihsel geçmişe ve karmaşık morfolojik yapıya sahip kentler söz konusu olduğunda bu teknolojilerin sunduğu hassas analiz ve öngörü yetenekleri hem koruma hem de yenileme odaklı kentsel müdahalelere yön verebilecek niteliğe sahip olmaktadır. Bu nedenle Anadolu'nun tarihi kent dokuları YZ destekli analizler için önemli örnek alanlarını oluşturmaktadır. Bu kentler zamanla biriken mimari, sosyo-kültürel ve morfolojik öğeleriyle hem korunması gereken tarihsel birer belge hem de çağdaş kentleşme baskılarına karşı dirençli olma ihtiyacı taşıyan "yaşayan organizmalar" olarak değerlendirilmelidir.

Mardin'in çok katmanlı yapısı ve Roma, Bizans, Artuklu, Osmanlı ve Cumhuriyet dönemlerine ait sahip olduğu mimari izleri bünyesinde barındırması Anadolu tarihi kentleri arasında sahip olduğu önemli morfolojik derinliği ortaya koymaktadır. Ancak son yıllarda, Mardin'in Yenişehir olarak isimlendirilen bölgesinde gözlemlenen hızlı, plansız ve kimliksiz yapılaşma süreçleri, tarihi kent merkezi ile yeni gelişim alanları arasındaki mekânsal, estetik ve kültürel kopuşları derinleştirmiştir. Bu durum, tarihi dokunun korunması ile çağdaş kentsel ihtiyaçların dengelenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu noktada, YZ destekli dijital araçların sunduğu yeni analiz ve temsil olanakları, söz konusu dengeyi analiz etmeye ve değerlendirmeye yönelik güçlü metodolojik araçlar sunmaktadır. Bu çalışma, YZ tabanlı modelleme tekniklerini kullanarak Mardin'in tarihi kent merkezi ile Yenişehir bölgesini "Yapı yoğunluğu, doku sürekliliği, mekânsal ölçek ve yapısal uyum" gibi temel kentsel morfolojik parametreler doğrultusunda analiz etmeyi, yürütülen bu analizler ile hem kent içindeki morfolojik dönüşümleri anlamaya hem de YZ'nin bu dönüşüm süreçlerine dair öngörü ve yönlendirme kapasitesini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

## 2. MATERYAL VE METOT

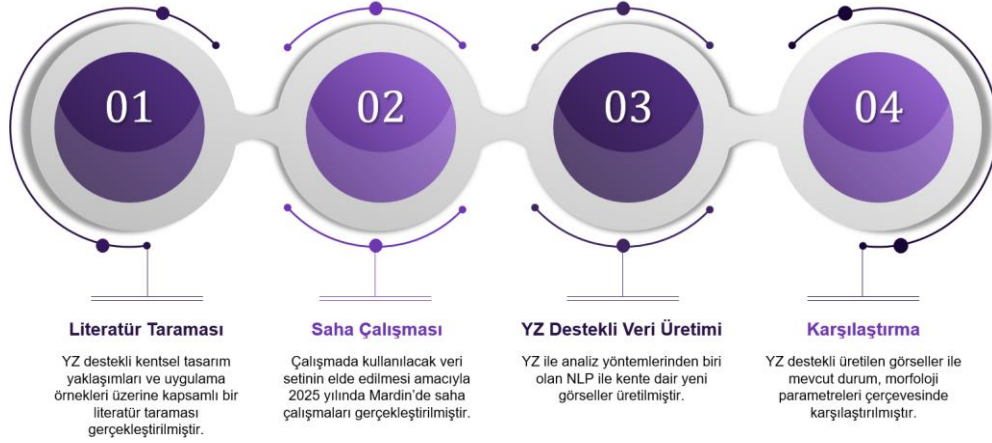
Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde, Mezopotamya Ovası'na hâkim bir konumda yer alan Mardin, tarih boyunca farklı uygarlıkların izini barındıran çok katmanlı dokusuyla dikkat çekmektedir. Kentin topografyası, inşa kültürünü doğrudan etkileyerek hem mimari hem de kentsel ölçekte özgün bir morfolojik yapı oluşturmuştur. Sarı kireç taşı kullanımından, dar sokaklara; avlulu konut tipolojilerinden, eğimli araziye konumlanmış özgün yapı düzenine kadar çeşitli özellikler Mardin'in tarihi merkezini karakterize eden başlıca unsurlar arasında yer almaktadır. Mardin dağının güney yamacında yer alan tarihi doku, 1980'li yıllardan itibaren kuzey yönüne doğru Yenişehir bölgesi adı altında gelişmeye başlamıştır. Yenişehir bölgesinin ovaya yayılmış rasyonel kentsel kurgusu, genişlemiş yol akları, değişen parselasyon biçimi ve yapı tipolojisi ile birlikte kentte tarihi dokudan ayrıışan bir mekânsal kimlik oluşturmuştur. Mardin'in mevcut yerleşim alanlarının oluşumunda belirleyici rol oynayan ilk modern yerleşim uygulamaları tarihi kent dokusunun güneyine bakan yamaçlarda, günümüzde Kayacanlar Mahallesi olarak bilinen bölgede başlamıştır. Ancak bu alanın sahip olduğu eğimli topografya ve yamaç boyunca yer alan kaya düşme tehlikesi zamanla yerleşim açısından ciddi bir tehdit unsuru haline gelmiştir. Bu nedenle, kentleşme pratikleri daha güvenli bir yerleşim imkânı sunan Mardin dağının kuzeyindeki ovaya yönelmiş ve bu süreç günümüzde Yenişehir olarak adlandırılan alanın gelişiminin temelini oluşturmuştur. Çalışma kapsamında ele alınan Mardin tarihi kent merkezi ve Yenişehir bölgesi yapısal ölçekten bölgesel ölçeğe kadar farklılaşan iki ayrı morfolojik bölge olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil.1). Tarihi kent merkezindeki organik, kıvrımlı sokak yapısı, özgün mimari form ve mekânsal doku; Yenişehir'de bütüncül olmayan planlama uygulamaları, kontrolsüz yapılaşma, özgün olmayan mimari ve kentsel doku, yol şemaları, yapı yoğunlukları, açık alan kullanımı ve bina cephe düzenleri bakımından belirgin biçimde farklılaşmaktadır.



**Şekil 1.** Tarihi Mardin ve Yenişehir bölgesine ait günümüz görüntüleri (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur).

Bu çalışmada YZ destekli kent morfolojisi analizi amacıyla dört temel aşamadan oluşan bir yöntem kurgulanmıştır (Şekil.2). İlk aşamada, literatürde YZ tabanlı kentsel analiz yöntemlerine dair kuramsal ve teknik bir çerçeve oluşturulmuştur. İkinci aşamada Mardin'in tarihi merkezi ve Yenişehir bölgesine ilişkin uydu görüntüleri, sokak fotoğrafları ve kuşbakışı görselleri saha çalışmaları ve arşiv taramasıyla toplanmıştır. Üçüncü aşamada, görsel verilerden oluşan bu veri seti, YZ destekli doğal dil işleme (NLP) altyapısıyla yorumlanabilir forma dönüştürülerek difüzyon tabanlı algoritmalar (diffusion-based algorithms) kullanılarak görseller oluşturulmuş ve morfolojik parametreler (yapı yoğunluğu, doku sürekliliği, mekânsal

ölçek, yapısal uyum) doğrultusunda analiz edilmiştir. Son aşamada ise YZ destekli üretimlerle mevcut kent dokuları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.



**Şekil 2.** Çalışma aşamalarının temsili (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur).

Sonuç olarak bu bölümde tanımlanan yöntemsel yapı, tarihi kent dokularının YZ destekli analizine olanak tanıyan bütüncül ve sistematik bir çerçeve sunmaktadır. Özellikle, görsel veriye dayalı morfolojik çözümlerinin doğal dil işleme modelleriyle desteklenerek yapay zekâ ile entegre edilmesi, mekânsal örüntülerin daha nesnel, yeniden üretilebilir ve parametrik olarak değerlendirilebilir hale gelmesini sağlamaktadır.

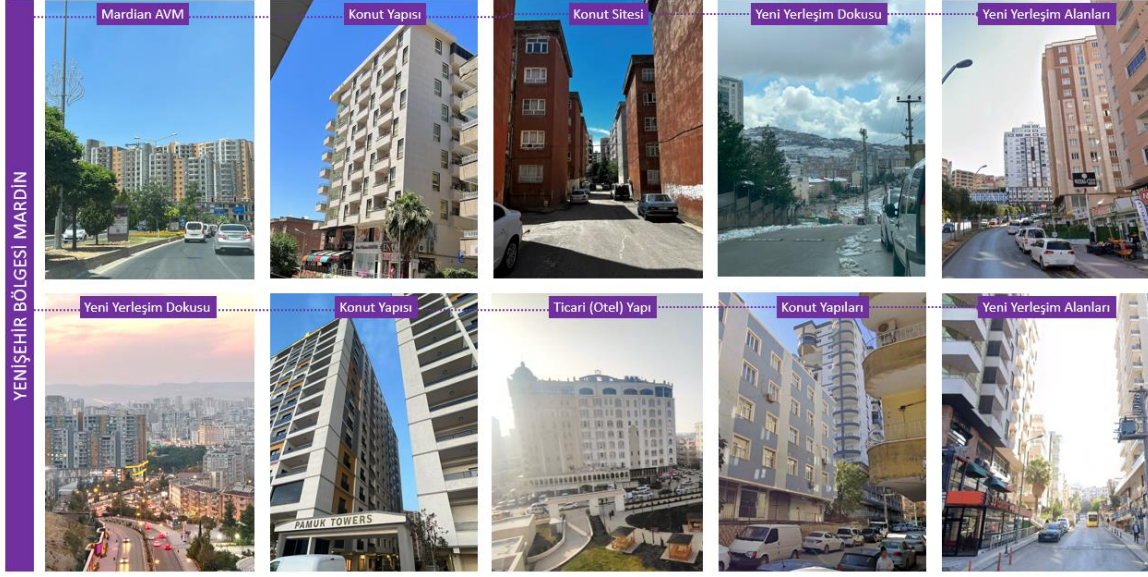
### 3. BULGULAR

Mardin'in tarihi kent merkezi, topografya ile uyumlu gelişen teraslı yerleşim modeli, dar ve kıvrımlı sokak dokusu, kamusal ve özel mekanlar arası mekânsal sürekliliği sağlayan geçirgen mekânsal örüntüsü ve yerel malzemeye dayalı mimari karakteriyle özgün bir morfolojik yapı sergilemektedir (Alioğlu, 2000; Torus, 2011). Özellikle sokak dokusunun topoğrafyaya paralel şekilde biçimlenmesi, mekânsal sürekliliğin sağlanmasında belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu süreklilik avlulu konut tipolojileri, abbaralar ve sokak-hane etkileşimini sağlayan çıkmalar gibi geleneksel mimari öğelerle pekişmektedir. Bu bileşenler kent morfolojisine yalnızca yapısal değil, aynı zamanda işlevsel ve deneysel açıdan da katmanlı bir nitelik kazandırmaktadır (Şekil. 3). Öte yandan Mardin'in özgün mimari dili, sadece yapı formu ile değil aynı zamanda kütleler arası boşlukların dengesi, cephe düzenindeki ritmik süreklilik ve malzeme uyumu gibi parametrelere dayanmaktadır. Bu durum tarihi dokunun yüksek düzeyde bir morfolojik bütünlük ve mekânsal uyum içerisinde varlığını sürdürebilmesini olanaklı kılmaktadır.



**Şekil 3.** Mardin tarihi kent merkezinden güncel yapısal ve morfolojik dokuya ilişkin örnekler (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur).

Yenişehir bölgesi ise farklı topografik yapılara sahip araziler üzerine gelişen ve rasyonel bir kentsel şema doğrultusunda biçimlenen yerleşim kurgusuyla, tarihi merkezden belirgin biçimde ayrılmaktadır (Karagülle ve Demir, 2011). Bölgenin geniş taşıt odaklı yol aksları, ayırık nizam yapılaşma biçimi, parsel dayalı yapısal örüntüsü geleneksel dokudan kopuk bir mekânsal kimlik sergilemektedir. Özellikle 2010'lu yıllarda yapı yoğunluğunda yaşanan hızlı artış, alanın morfolojik yapısında da belirgin dönüşümlere neden olmuştur. Kentin bu bölgesinde alınan yerleşim kararları incelendiğinde, açık ve kamusal alan kullanımının homojen bir dağılım göstermediği ve bu durumun kamusal mekânın sürekliliğini kesintiye uğrattığını göstermektedir. (Uyanık, 2024). Yapı formu, kütle kompozisyonu ve cephe düzeni açısından ise tekil, ayırık nizam ve farklı kotlarda konumlanan yapısal örüntü bütüncül bir kentsel imge oluşturmaktan öte parçalı ve çarpık bir kentsel dokuya yol açmaktadır (Şekil.4). Yenişehir'in planlama sürecinde topografik verilerden ziyade mülkiyet düzenlemeleri ve ulaşım öncelikleri belirleyici olmuş ve bu durum doğal çevre ile uyumlu planlama ilkelerinin geri planda kalmasına neden olmuştur.



**Şekil 4.** Yenişehir bölgesinden güncel yapısal ve morfolojik dokuya ilişkin örnekler (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur).

Çalışmanın bu aşamasında, tarihi kent merkezi ve Yenişehir bölgesi için;

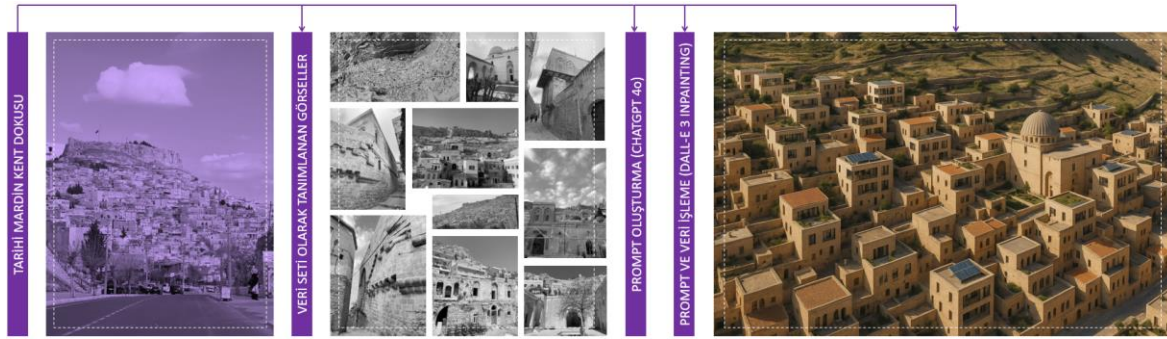
- Uydu görüntüleri (makro morfolojik yapı),
- Sokak fotoğrafları (insan ölçeğinde algı)
- Kuşbakışı görselleri (mekânsal örüntü) olmak üzere üç farklı veri seti oluşturulmuştur.

Her iki bölgeye ait oluşturulan veri setleri, YZ destekli görsel analiz ve üretim süreçlerini destekleyen difüzyon tabanlı bir yapay zekâ modeli olan DALL-E 3 Inpainting sistemine aktarılmıştır. Aktarılan bu görseller sistem tarafından semantik, biçimsel ve mekânsal kriterlere göre değerlendirilmiş ve sonuç olarak her bölge için özgün ve idealleştirilmiş yerleşim düzeni önerilerinin üretilmesi hedeflenmiştir. Bu noktada DALL-E 3 Inpainting sisteminin etkin ve doğru sonuçlar üretmesi için ayrıca açık ve kapsamlı bir “prompt (Tr: komut dizisi)” tanımlanması gerekmektedir. Çalışmanın bu aşamasında prompt tanımlama sürecini desteklemek ve önerilen komutun akademik olarak uygunluğunu güçlendirmek amacıyla doğal dil işleme modeli olan ChatGPT-4o kullanılmıştır. Prompt oluşturma aşamasında ChatGPT-4o’ya, tarihi Mardin kent dokusunu temsil eden görseller yüklenmiş; modelden tarihi kentin morfolojik karakterini koruyan, dokuyla bütünleşen ve aynı zamanda çağdaş kullanıcı ihtiyaçlarına cevap verebilecek bir yerleşim önerisine dair ayrıntılı ve yönlendirici bir prompt oluşturması istenmiştir. Bu işlem sonucunda tarihi Mardin kenti için ChatGPT-4o tarafından aşağıdaki prompt oluşturulmuştur:

*“Insert contemporary residential structures designed with respect for the traditional urban fabric of the historical city of Mardin. Maintain the organic street layout, stone masonry textures, and dense morphological rhythm typical of Mardin’s architecture. The new buildings should harmonize with the scale and materials of the surroundings, incorporating subtle elements such as glass, metal detailing, and sustainable rooftops. Emphasize pedestrian accessibility, small courtyards, and roof terraces, while ensuring the design responds to current technological and functional needs. Avoid disruptive volumes, high-rises, or any modernist gestures that conflict with the historic texture. (Tr: Tarihi Mardin kentinin geleneksel kentsel dokusuna saygı göstererek tasarlanmış çağdaş konut yapıları yerleştirin. Mardin*

mimarisine özgü organik sokak düzeni, taş duvar dokuları ve yoğun morfolojik ritim korunmalıdır. Yeni binalar, cam, metal detaylar ve sürdürülebilir çatılar gibi ince modern unsurları içererek çevrenin ölçeği ve malzemeleriyle uyumlu olmalıdır. Yaya erişilebilirliği, küçük avlular ve çatı terasları vurgulanırken, tasarımın güncel teknolojik ve işlevsel ihtiyaçlara yanıt vermesi sağlanmalıdır. Yıkıcı hacimlerden, yüksek yapılardan veya tarihi dokuyla çatışan modernist jestlerden kaçının.”

Prompt oluşturma işleminin tamamlanmasıyla birlikte DALL-E modeline uydu görüntüleri, sokak fotoğrafları ve kuşbakışı görsellerin olduğu veri seti yüklenmiş ve tarihi Mardin kenti için yeni yerleşim alanlarına alternatif olabilecek bir düzeni temsil eden YZ destekli görseller oluşturulmuştur (Şekil.5).

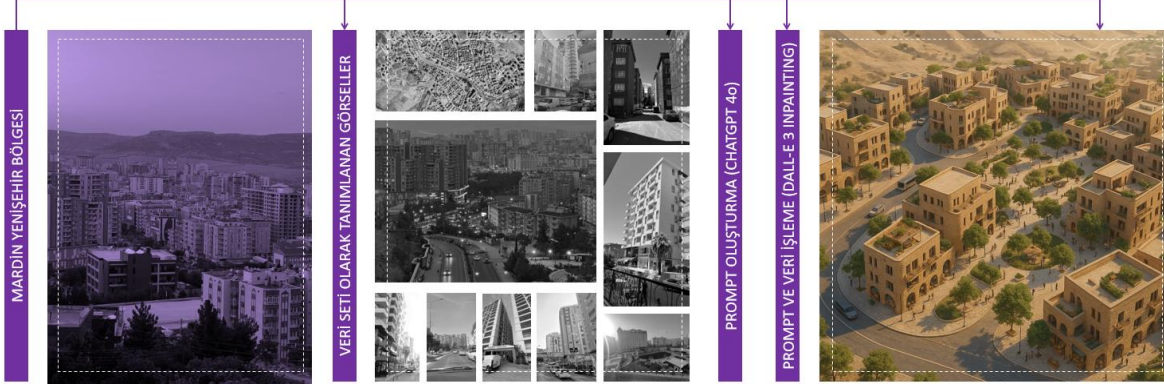


**Şekil 5.** Mardin tarihi kent dokusu için YZ destekli yeni kentsel kurguya dair görsel üretimi (Yazarlar tarafından DALL-E 3 Inpainting modeli kullanılarak oluşturulmuştur).

Tarihi Mardin kent dokusu için üretim sürecinin benzeri Yenişehir bölgesi için de gerçekleştirilmiştir. DALL-E 3 Inpainting sistemine tanımlamak üzere ChatGPT-4o kullanılarak tarihi Mardin kent dokusuna uygun yeni yapılaşmaları içeren modern kent dokusu görseli üretmek üzere prompt oluşturulmuştur. Bu işlem sonucunda Mardin Yenişehir Bölgesi için ChatGPT-4o tarafından aşağıdaki prompt oluşturulmuştur:

“Create a contemporary urban neighborhood for the Yenişehir area in Mardin, using the uploaded plan and visual references. The layout should improve spatial continuity and pedestrian experience while maintaining visual harmony with the historical character of Mardin. Introduce medium-density residential buildings with local stone textures and subtle modern elements such as shaded balconies, rooftop gardens, and integrated public spaces. Avoid generic or grid-based urban blocks. Instead, reflect the organic spatial rhythm of traditional Mardin with updated infrastructure and inclusive, mixed-use community zones. Ensure accessibility, cohesive building scale, and compatibility with regional climate and topography. (Tr: Yüklenen plan ve görsel referanslar doğrultusunda Mardin’in Yenişehir bölgesi için çağdaş bir kentsel mahalle yarat. Yerleşim, mekânsal sürekliliği ve yaya deneyimini güçlendirmeli; aynı zamanda tarihî Mardin’in karakteriyle görsel uyumu korumalıdır. Orta yoğunlukta konut yapıları önerin; yerel taş dokularla bütünleşen, gölgelikli balkonlar, çatı bahçeleri ve entegre kamusal alanlar gibi modern ama dengeli unsurlar içersin. Şablonlaşmış veya ızgara sistemli kent bloklarından kaçın. Bunun yerine, güncellenmiş altyapı ve kapsayıcı karma kullanımlı topluluk alanlarıyla birlikte geleneksel Mardin’in organik mekânsal ritmini yansıtan bir doku önerin. Erişilebilirlik, yapı ölçeğinde uyum ve iklim/topoğrafya ile bütünlük sağlansın.)”

Prompt oluşturma işleminin tamamlanmasıyla birlikte DALL-E modeline veri setleri de yüklenmiş ve Yenişehir bölgesi için Mardin tarihi kentine de uyum sağlayacak ve alternatif olabilecek bir düzeni temsil eden YZ destekli görsel oluşturulmuştur (Şekil 6).



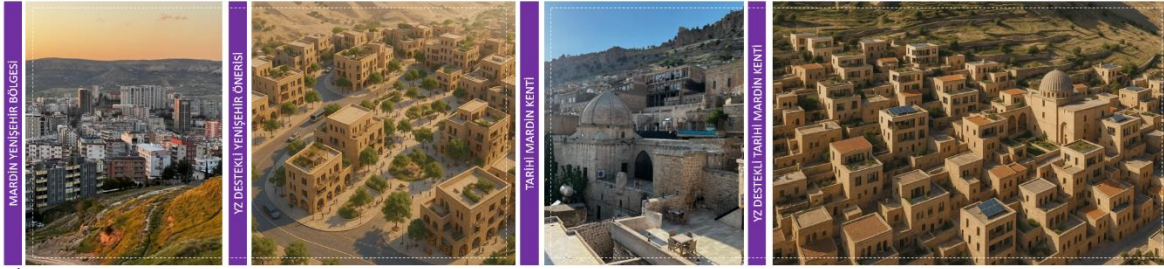
**Şekil 6.** Mardin Yenişehir bölgesi için YZ destekli yeni kentsel kurguya dair görsel üretimi (Yazarlar tarafından DALL-E 3 Inpainting modeli kullanılarak oluşturulmuştur).

Yapay zekâ destekli görsel üretim sürecinin ortaya koyduğu bu öneriler, tarihi kent merkezinde mevcut morfolojik niteliklerin korunarak yeniden üretilebileceğini; Yenişehir gibi çağdaş yerleşim alanlarında ise mekânsal süreklilik, yoğunluk ve ölçek uyumu açısından iyileştirici müdahalelerin geliştirilebileceğini göstermektedir. Böylelikle yapay zekâ, hem koruma odaklı tasarım stratejilerinin desteklenmesinde hem de nitelikli kentsel dönüşüm senaryolarının şekillendirilmesinde yenilikçi ve uygulanabilir bir araç olarak kullanılabilirliği görülmektedir.

## 4. DEĞERLENDİRME

Yapay zekâ destekli üretim süreçleri, salt biçimsel yeniden üretim işlevinin ötesine geçerek, mekânsal kaliteyi artırma ve tarihî dokuyla çağdaş kentsel gelişim alanları arasında sürdürülebilir ve nitelikli bir morfolojik süreklilik kurma potansiyeline sahip stratejik bir tasarım aracına dönüşmektedir. Aşağıda sunulan karşılaştırmalı görsel analiz, Mardin'in farklı kentsel karaktere sahip iki bölgesi için mevcut yerleşim dokusu ile yapay zekâ tabanlı senaryolar doğrultusunda önerilen alternatif yerleşim kurgularını eşzamanlı olarak değerlendirme imkânı sunmakta; böylece kent morfolojisindeki olası dönüşüm dinamiklerinin görsel düzlemde karşılaştırmalı biçimde okunmasına olanak tanımaktadır (Şekil 7).

Yenişehir bölgesi için geliştirilen önerilen kentsel kurgu; mevcut parçalı ve süresiz morfolojik yapıya karşın kompakt yapı adaları, yeşil altyapı ile bütünleşik kamusal mekanlar ve insan ölçeğini gözetten mimari yaklaşımıyla bütüncül bir yerleşim modeli ortaya koymaktadır. Öte yandan tarihi Mardin yerleşiminde önerilen yapılaşma senaryoları, mevcut dokunun ritmik yapısını yerel malzeme kullanımını ve topografya ile kurduğu mekânsal uyumu referans alarak, dokusal süreklilik içinde kurgulanmıştır. Bu öneriler yapay zekâ destekli üretim süreçlerinin yalnızca biçimsel önerilerle sınırlı kalmayıp; kentsel morfolojiyi analiz etme, anlamlandırma ve yeniden yapılandırma kapasitesine de sahip olduğunu ortaya koymaktadır.



**Şekil 7.** Mardin Yenişehir bölgesi ve tarihi kent merkezi için mevcut durum ve YZ tarafından üretilen kentsel kurguya dair öneriler (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur).

Elde edilen YZ destekli görseller, tarihi ve güncel görsellerle karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu analizde, yapı yoğunluğu (Building Density), doku sürekliliği (Continuity of Urban Fabric), mekânsal ölçek (Spatial Scale) ve yapısal uyum (Formal/Typological Coherence) olmak üzere dört temel kentsel morfolojik parametre esas alınmıştır. Her iki bölge için hem mevcut durum hem de YZ tarafından önerilen senaryolar, bu kriterlere göre tablolaştırılmış ve değerlendirilmiştir (Tablo.1).

**Tablo.1** Yapay zekâ destekli görseller ile mevcut durumun morfolojik parametreler doğrultusunda karşılaştırılması.

| Bölge         | Durum      | Yapı Yoğunluğu | Doku Sürekliliği | Mekânsal Ölçek | Yapısal Uyum |
|---------------|------------|----------------|------------------|----------------|--------------|
| Tarihi Mardin | Mevcut     | Yüksek         | Yüksek           | Mikro          | Yüksek       |
|               | YZ Önerisi | Yüksek         | Yüksek           | Mikro          | Yüksek       |
| Yenişehir     | Mevcut     | Yüksek         | Düşük            | Makro          | Düşük        |
|               | YZ Önerisi | Orta           | Yüksek           | Makro-Mikro    | Yüksek       |

Yapı yoğunluğu, belirli bir alan biriminde yer alan yapı kütlelerinin hacmi ve dağılım yoğunluğu esas alınarak değerlendirilmiştir. Tarihi merkezde, yapıların genellikle bir veya iki katlı olması kat alanı oranının (FAR) düşük olmasına ve bitişik düzende ve avlulu konut tipolojisinin içe dönük bir yapı kurgusu sunması nedeniyle “orta” yoğunluk değerine sahiptir. Tarihi merkez YZ destekli öneride ise, boşlukların planlı kurgulanması, avlularda yaşanan değişim ve teraslama mantığının optimize edilmesiyle bu yoğunluk “yüksek” seviyeye taşınmıştır. Yenişehir bölgesi ise yüksek kat alanı oranı, birim/ha düşen konut yoğunluğu ve nüfus yoğunluğu göz önüne alındığında mevcut durumda çok büyük hacimlere ve kontrolsüz yüksekliklere sahip binaların olması ile “yüksek” bir yoğunluğa sahipken; YZ destekli üretilen görselde Yenişehir bölgesinin daha az kat alanı oranı ve hacimlere sahip binalar ve kontrollü boşluklara sahip olması nedeniyle “orta” yoğunluklu seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Doku sürekliliği, yapıların birbirleriyle olan fiziksel ve görsel bağlantıları, sokak çizgilerinin devamlılığı ve kamusal alanların örgütlenme biçimleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Tarihi merkezde, sokak ağının organik sürekliliği, kentsel geçirgenliği sağlayan mekanların bulunması (abbaralar, avlular vb.), yapısal ve

malzeme sürekliliği gibi birçok parametre doku sürekliliği bakımından alanı “yüksek” seviyeye taşırken; Yenişehir'de ayrık nizam, çok odaklı alan kullanımı, parçalı yapılaşma, cephe uyumsuzluğu ve mimari sürekliliğin olmaması alanı “düşük” seviyeye indirgemıştır. YZ destekli önerilerde ise fiziksel ve görsel bağlantıların güçlü bir devamlılığının sağlandığı görülmüş ve her iki öneri için de “yüksek” seviyede bir süreklilik olduğu belirlenmiştir.

Mekânsal ölçek, yapıların sokakla, kamusal alanla ve çevresel bağlamla kurduğu ilişkiler doğrultusunda tanımlanmıştır. Tarihi Mardin kenti, insan ölçeğine uygun yapılaşma, dar ve yaya öncelikli sokak dokusu, yüksek mekânsal geçirgenliği küçük parsel boyutu ve organik dokusu, kısa ve ritmik yapısal mesafeleri ile “mikro” ölçekli kentsel bir doku yaratmaktadır. YZ destekli görseller de yapı kütleleri insan ölçeğine yakın tutulmuş, kat yükseklikleri ve açıklıklar optimum düzeyde sınırlandırılarak ölçek uyumu sağlanmış ve mikro düzeyde bir kentsel doku üretmiştir. Fakat, mevcut Yenişehir bölgesi insan ölçeğinin çok üzerinde bir yapılaşmanın olduğu, kentsel hacmin büyüdüğü, yaya ve taşıt ölçeğinin değiştiği, parseller arası boşlukları artmasına rağmen mekânsal sürekliliğin azaldığı, kamusal mekân ilişkisinin ve çevresel bağlantıların zayıfladığı “makro” ölçekli bir yerleşim dokusuna sahip olmaktadır. Yapay zekâ modeli ile üretilen temsil ise ilişkileri yeniden kurgulayıp makro ve mikro düzey arası bir yerleşim dokusu önerisi sunmuştur.

Yapısal uyum ise malzeme seçimi, cephe oranları, katmanlılık etkisi ve morfolojik bağlamla kurulan bütünlük üzerinden değerlendirilmiştir. Tarihi kent merkezi yüksek düzeyde yapısal uyuma sahipken Yenişehir'in mevcut hali, farklı dönemlerde ve yaklaşımlarla inşa edilmiş uyumsuz yapılaşmalar nedeniyle “düşük” seviyede değerlendirilmiştir. Fakat yapay zekâ destekli üretilen temsillerin her ikisinde de yüksek düzeyde yapısal uyum elde edilmiştir.

Yukarıda sunulan karşılaştırmalı analiz, YZ destekli üretim sürecinin tarihi dokuların mekânsal düzenini ve mekânsal kurgusunun mantığını bozmayacak şekilde yeniden yorumlanmasına imkân tanıdığı; aynı zamanda çağdaş kentsel alanlarda süreklilik, yoğunluk ve yapı ölçeği gibi temel morfolojik parametrelerde anlamlı iyileştirmeler sağladığını göstermektedir. Özellikle tarihi merkezde YZ tarafından geliştirilen öneri, mevcut dokunun karakteristik niteliklerini güçlendirirken Yenişehir gibi bütünlükten uzak kentsel dokular için potansiyel mekânsal senaryolar ortaya koymaktadır. Analiz sonuçları, YZ destekli üretim sürecinin, tarihi dokunun karakterini koruyarak alternatif yerleşim önerileri geliştirebilmekte; yeni yerleşimler için ise mekânsal sürekliliği ve yoğunluğu yeniden kurgulayan potansiyelini göstermektedir. Bu durum YZ'nin yalnızca geçmişin yorumlanmasında değil, aynı zamanda gelecek kentsel senaryoların inşasında da etkin bir araç olabileceğini ortaya koymaktadır.

## 5. SONUÇ

Son yıllarda yapay zekâ, tarihi miras alanlarının yeniden yorumlanması ve planlanmasında yalnızca destekleyici değil, yönlendirici bir araç olarak öne çıkmaktadır. Karmaşık mekânsal ilişkileri çözümlenme, çok ölçekli analiz yapabilme ve tasarım senaryoları üretebilme kapasitesi sayesinde YZ, tarihi çevrelerde bütüncül ve öngörülü planlama yaklaşımlarının geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Bu çalışma, YZ destekli analiz ve üretim yöntemlerinin kentsel morfolojik değerlendirmede nasıl kullanılabileceğine yönelik özgün bir yaklaşım sunmaktadır. Tarihi kent dokusuna sahip olan Mardin örneğinde gerçekleştirilen karşılaştırmalı

analiz hem geleneksel kentsel dokunun niteliklerini hem de çağdaş yerleşim alanlarının dönüşüm potansiyelini bütüncül bir şekilde ele almıştır. Çalışmada kullanılan difüzyon tabanlı yapay zekâ modeli olan DALL-E 3 Inpainting aracılığıyla tarihi Mardin ve Yenişehir bölgesine ait çok katmanlı görsel veri setleri işlenmiş, semantik, biçimsel ve mekânsal düzeyde yeniden üretilere olanak tanımıştır.

Elde edilen bulgular, yapay zekanın yalnızca tarihi kentlerin dokusuna saygı göstererek yerleşim önerileri geliştirebilme kapasitesini değil; aynı zamanda parçalanmış ve kimiksiz modern yerleşim alanlarında da mekânsal kaliteyi artırıcı potansiyelini ortaya koymuştur. Bu bağlamda YZ teknolojileri yapı yoğunluğu, doku sürekliliği, mekânsal ölçek ve yapısal uyum gibi temel morfolojik parametreler üzerinden geliştirilen analizlerde güçlü bir araç olarak işlev görmüştür. Çalışmanın literatüre özgün katkılarından biri YZ ile geleneksel morfolojik analiz yöntemlerini birleştirerek hem nitel hem de görsel düzlemde okunabilir, karşılaştırılabilir ve yeniden üretilebilir bir analiz çerçevesi sunmasıdır. Ayrıca bu yaklaşım; tarihi kentlerin güncel yaşam ihtiyaçlarıyla nasıl yeniden yorumlanabileceğine, yeni yerleşim alanlarının ise nasıl dönüştürülebileceğine dair karar vericilere, tasarımcılara, planlamacılara ve araştırmacılara önemli ipuçları sağlamaktadır.

Sonuç olarak, YZ'nin kentsel tasarım ve planlama süreçlerindeki rolü, yalnızca teknik bir destek aracı olmaktan çıkarak mekânın yeniden kurgulanmasına yönelik yaratıcı ve stratejik bir enstrüman haline gelmektedir. Bu çalışma, dijital teknolojilerin mekânsal düşünce biçimlerine entegrasyonuna dair önemli bir örnek teşkil ederken tarihi çevrelerin korunması ile çağdaş yaşamın ihtiyaçları arasında köprü kurabilecek yeni yöntemsel yaklaşımların da önünü açmaktadır.

## 6. KAYNAKÇA

- Alioğlu, E. F. (2000). Mardin: şehir dokusu ve evler. İstanbul: Türkiye Ekonomik ve Toplumsal Tarih Vakfı.
- An, Y., Wu, X., Liu, R., Liu, L., & Liu, P. (2023). Quantitative Analysis Village Spatial Morphology Using "SPSS+ GIS" Approach: A Case Study of Linxia Hui Autonomous Prefecture. *Sustainability*, 15(24), 16828. <https://doi.org/10.3390/su152416828>
- Berghauser-Pont, I. R. M. Y., & Haupt, I. (2007). The Spacemate: Density and the Typomorphology of the Urban Fabric. F. D. Van der Hoeven, H. J. Rosemann (Ed.), *Urbanism Laboratory for Cities and Regions: Progress of Research Issues in Urbanism* (s. 11-28). Amsterdam: IOS Press.
- Boccalatte, A., Fossa, M., Gaillard, L., & Ménézo, C. (2020). Microclimate and urban morphology effects on building energy demand in different European cities. *Energy and Buildings*, 224, 110129. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110129>
- Carmona, M. (2021). *Public places urban spaces: The dimensions of urban design*. London: Routledge.
- Chen, S., Yu, B., Shi, G., Cai, Y., Wang, Y., & He, P. (2025). Scale-Dependent Relationships Between Urban Morphology and Noise Perception: A Multi-Scale Spatiotemporal Analysis in New York City. *Land*, 14(3), 476. <https://doi.org/10.3390/land14030476>
- Esposito, A., Pappaccogli, G., Donateo, A., Salizzoni, P., Maffei, G., Semeraro, T., ... & Buccolieri, R. (2024). Urban Morphology and Surface Urban Heat Island Relationship During Heat Waves: A Study of Milan and Lecce (Italy). *Remote Sensing*, 16(23), 4496. <https://doi.org/10.3390/rs16234496>
- Hall, P. (1988). *Cities of tomorrow: An intellectual history of urban planning and design in the twentieth century*. Oxford: Basil Blackwell.

- Harvey, D. (1973). *Social justice and the city*. New York: Edward Arnold.
- Jacobs, J. (1961). *The death and life of great American cities*. New York: Random House.
- Karagülle, C., & Demir, Y. (2011). Yerel verilerin konut tasarım sürecinde değerlendirilmesi: Mardin örneği. *İTÜDERGİSİ/α*, 9(2).
- Kropf, K. (2009). Aspects of urban form. *Urban morphology*, 13(2), 105-120. <https://doi.org/10.51347/jum.v13i2.3949>
- Lynch, K. (1960). *The image of the city*. Cambridge: MIT Press.
- Pal, R., & Pani, P. (2019). Remote sensing and GIS-based analysis of evolving planform morphology of the middle-lower part of the Ganga River, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.01.007>
- Rossi, A. (1984). *The architecture of the city*. Cambridge: MIT press.
- Schlüter, O. (1906). *Die Ziele der Geographie des Menschen*. Munich: Oldenbourg.
- Soja, E. W. (2000). *Postmetropolis: Critical studies of cities and regions*. Oxford: Blackwell.
- Stojanovski, T. (2022). Urban morphology and artificial intelligence. *Urban morphology*, 26(1), 78-88. <https://doi.org/10.51347/UM26.0005>
- Torus, B. (2011). Learning from vernacular Turkish House: Designing mass-customized houses in Mardin. *Intercultural Understanding*, 1, 105-112. <https://doi.org/10.14993/00000831>
- Uyank, N. (2024). Ütopik Metinlerdeki Şehir Kavramı Bağlamında Mardin-Yenişehir Üzerine Güncel Bir Değerlendirme. *International Journal of Mardin Studies*, 5(2), 104-125. <https://doi.org/10.63046/ijms.1537998>
- Wang, D., Fu, Y., Liu, K., Chen, F., Wang, P., & Lu, C. T. (2023). Automated urban planning for reimagining city configuration via adversarial learning: quantification, generation, and evaluation. *ACM Transactions on Spatial Algorithms and Systems*, 9(1), 1-24. <https://doi.org/10.1145/3524302>
- Whitehand, J. (2010). Urban morphology and historic urban landscapes. *World Heritage Papers*, 27, 35-44.
- Xu, Y., Ren, C., Ma, P., Ho, J., Wang, W., Lau, K. K. L., ... & Ng, E. (2017). Urban morphology detection and computation for urban climate research. *Landscape and urban planning*, 167, 212-224. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.06.018>
- Xu, H., Omिताomu, F., Sabri, S., Zlatanova, S., Li, X., & Song, Y. (2024). Leveraging generative AI for urban digital twins: a scoping review on the autonomous generation of urban data, scenarios, designs, and 3D city models for smart city advancement. *Urban Informatics*, 3(1), 29. <https://doi.org/10.1007/s44212-024-00060-w>
- Ye, Y., & van Nes, A. (2014). Quantitative tools in urban morphology: Combining space syntax, spacematrix and mixed-use index in a GIS framework. *Urban morphology*, 18(2), 97-118. <https://doi.org/10.51347/jum.v18i2.3997>