

Kentsel Alanlarda 3B Gölge Analizi: Artvin Çoruh Üniversitesi Örneği

3D Shadow Analysis in Urban Areas: Artvin Coruh University Example

Ziya Usta^{1*} 

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 08100, Artvin/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Ziya Usta
ziyausta@artvin.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1602829

Yayın süreci

Geliş tarihi: 16.12.2024
Kabul tarihi: 14.03.2025
Basım tarihi: 26.03.2025

Özet

Kentsel alanlarda binaların oluşturduğu gölge etkisi özellikle güneş paneli kurulumu gibi uygulamalarda, kentsel iklim ve enerji verimliliği optimizasyonunda kritik bir role sahiptir. Geleneksel 2B analizlerin yetersizliği nedeniyle 3B gölge analizleri, binaların birbirine gölge oluşturma durumunun daha doğru tahmin edilmesini sağlar. Literatürde genellikle 2.5B modeller kullanılarak gölge analizleri yapılmıştır. Ancak bu modeller dikey yüzeylerin etkisini göz ardı etmektedir. Bu çalışmada 3B modeller kullanarak 3B gölge analizi yapılmıştır. 3B modelleme için prosedürel modelleme yöntemi kullanılmış, kat sayıları baz alınarak binalar LOD1 düzeyinde modellenmiştir. Işın İzleme (Ray-Tracing) algoritmasıyla güneşin günlük ve saatlik konumları dikkate alınarak gölge analizleri yapılmıştır. Artvin Çoruh Üniversitesi Seyitler ve Merkez Yerleşkelerinde binalar arası gölge etkisi düşük bulunmuştur. Ancak yakın mesafedeki yüksek binalar gölgeleme etkisi yaratmaktadır. Çatılardan sonra özellikle güney cephelerinin anlamlı düzeyde güneş ışığı aldığı belirlenmiş olup, bu da dış cephelerin de güneş paneli kurulum potansiyeli olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışma, 3B gölge analizinin kentsel planlama süreçlerinde önemli bir araç olduğunu göstermektedir. Çalışmada elde edilen diğer önemli bir sonuç, analizlerin sadece çatıları değil dış cepheleri de kapsamı gerektiğidir. Bu sayede bina yüzeylerinden maksimum oranda yararlanılarak sürdürülebilir kentsel gelişim ve doğru yer seçimi sağlanabilir.

Anahtar kelimeler: 3B CBS, Gölge analizi, Konumsal analiz, Kentsel analitik

Abstract

The shadow effect created by buildings in urban areas plays a critical role in applications such as solar panel installation, urban microclimate, and energy efficiency optimization. Due to the inadequacy of traditional 2D analyses, 3D shadow analyses provide a more accurate prediction of the shading interactions between buildings. In the literature, shadow analyses have generally been conducted using 2.5D models. However, these models neglect the effects of vertical surfaces. In this study, a 3D shadow analysis was conducted using 3D models. Procedural modeling was employed for 3D modeling, and buildings were modeled at the LOD1 level based on the number of floors. Shadow analyses were performed using the Ray-Tracing algorithm, considering the daily and hourly positions of the sun. The shadow effect between buildings in Artvin Çoruh University Seyitler Campus and Center Campus was found to be low. However, high-rise buildings in close proximity create a significant shading effect. It was determined that, in addition to rooftops, southern facades receive a significant amount of sunlight, revealing the potential for solar panel installation on building facades as well. This study demonstrates that 3D shadow analysis is an important tool in urban planning processes. Another key finding is that analyses should not be limited to rooftops but should also include building facades. This approach ensures the maximum utilization of building surfaces, facilitating sustainable urban development and optimal site selection.

Keywords: 3D GIS, Shadow analysis, Spatial analysis, Urban analytics

1. Giriş

Kentsel analizlerde 3B gölge analizi uygulamaları, şehirlerin büyümesi ve gelişmesiyle birlikte giderek daha önemli hale gelmiştir. Bina ve diğer yapılar ile doğal ışık arasındaki etkileşimi anlamak için daha sofistike yöntemler gerektiren 3B gölge analizi, binalar ve diğer yapıların oluşturduğu gölgelerin güneş enerjisi potansiyeli, yaya hareketi ve genel kentsel yaşanabilirlik gibi çeşitli dinamiklere etkisini değerlendirmek için üç boyutlu modellerden yararlanır. 3B gölge analizi sayesinde, şehir plancıları ve araştırmacılar, gölgelerin mekânsal dağılımına dair önemli bilgiler edinebilir ve bu da arazi kullanımını optimize etmek ve kentsel alanların sürdürülebilirliğini artırmak için kritik bir rol oynar. Artan kentleşme ve binaların karmaşık geometrileri göz önüne alındığında, geleneksel 2D analizler, güneş enerjisi kurulumlarının verimliliğini önemli ölçüde azaltabilecek gölgeleme etkilerini doğru bir şekilde tahmin etmekte genellikle yetersiz kalmaktadır (El-Hosaini, 2015; Alam vd., 2012). Özellikle binaların diğer binalar üzerinde oluşturduğu gölge etkisinin modellenmesi 2B veriler ile mümkün olmamaktadır. 3B modeller kullanılarak, araştırmacılar güneş ışığı ile kentsel peyzaj arasındaki dinamik etkileşimleri simüle edebilir ve potansiyel güneş enerjisi üretimini daha hassas bir şekilde değerlendirebilir.

Gölgeleme, fotovoltaiik (PV) sistemlerin aldığı güneş ışınımını önemli ölçüde azaltarak enerji üretiminin düşmesine neden olabilir. Çevredeki yapıların oluşturduğu gölgeleri doğru bir şekilde modellenerek, güneş enerjisi kurulumları için en uygun yerleri belirlenebilir, böylece enerji üretimi maksimize edilerek güneş enerjisine dayalı projelerinin ekonomik uygulanabilirliği artırılabilir (Alam vd., 2012; Ninsawat & Hossain, 2016). Bu durum, özellikle sınırlı çatı alanına sahip ve komşu binaların gölgeleme potansiyelinin yüksek olduğu yoğun nüfuslu bölgelerde büyük önem taşır (Vo & Laefer, 2019). Ayrıca, 3B gölge analizi, kentsel iklimi daha iyi anlamaya katkı sağlar. Gölgeleme, şehirlerdeki sıcaklık değişimlerini ve rüzgâr desenlerini etkileyerek enerji tüketimi ve sakinlerin konfor düzeyleri üzerinde rol oynar. Gölge dinamiklerini analiz ederek, şehir plancıları daha etkili yeşil alanlar tasarlayabilir ve doğal havalandırmayı optimize ederek ısı adalarını azaltabilir (El-Hosaini, 2015). Bu bütüncül kentsel tasarım yaklaşımı, yalnızca yaşam kalitesini artırmakla kalmaz, aynı zamanda enerji verimli bina uygulamalarını teşvik ederek çevresel sürdürülebilirliği destekler.

3B gölge analizinin kentsel planlama süreçlerine entegrasyonu, imar düzenlemeleri ve arazi kullanım politikalarına ilişkin daha bilinçli kararların alınmasını kolaylaştırabilir. Şehirler genişlemeye devam ederken, gölgelemenin kamusal alanlar ve yerleşim bölgeleri üzerindeki etkilerinin anlaşılması, kentsel yaşanabilirliği korumak açısından kritik bir önem taşır. Gölge etkilerini görselleştirerek, plancılar tüm sakinlerin ihtiyaçlarını göz önünde bulunduran daha adil ve işlevsel kentsel ortamlar oluşturabilir (El-Hosaini, 2015; Zhou & Gorte, 2017).

Önemine rağmen 3B gölge analizi literatürde detaylı bir şekilde incelenmemiş, yapılan analizlerin çoğunda 2.5B sayısal yüzey modelleri kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı, Artvin Çoruh Üniversitesi kampüsünün 3B gölge analizini gerçekleştirerek binaların gölge etkileri ve güneş ışığı potansiyellerinin belirlenmesidir. Böylece gölge analizinin 3B olarak yapıldığı Türkiye'deki ilk çalışma olacak ve aynı zamanda Artvin ili için de bir ilk teşkil edecektir.

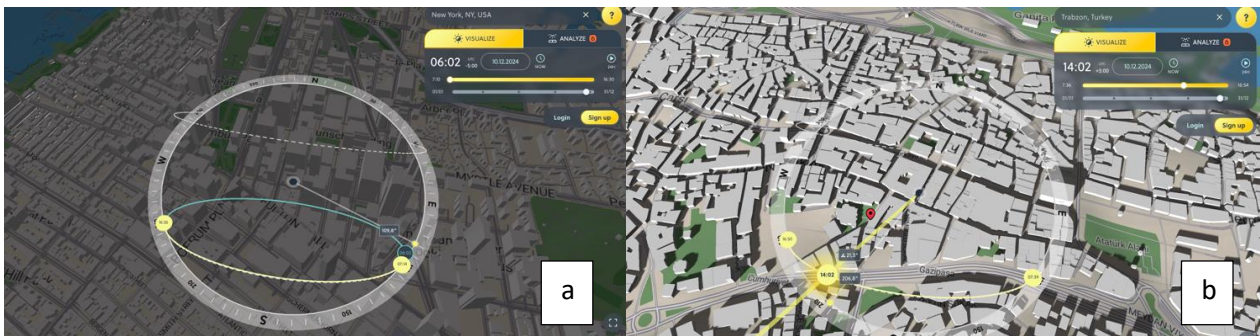
2. Literatür Özeti

Binalar nedeniyle oluşan gölgelerin tahmin edilmesi, kentsel planlama süreçlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu analizler, planlanan bir yapının çevresine olan etkilerinin değerlendirilmesi için uygulanır. Bazı belediyeler tarafından yasal olarak da zorunlu tutulmaktadır. Örneğin, Hollanda'da Lahey ve Kanada'da Mississauga gibi şehirlerde bu tür analizler gereklidir (Biljecki vd., 2015). Şenol (2022), gölge etkisi analizi kullanarak kentleşmenin yeşil alanlar üzerindeki etkisini araştırmış ve binaların bitki örtüsü üzerindeki gölgeleme etkilerinin değerlendirilmesinde CBS'nin nasıl kullanılabileceğini göstermiştir. Bu araştırma, gölge analizinin, güneş enerjisinin ötesine geçen daha geniş etkilerine dikkat çekerek, kentsel biyolojik çeşitliliğin ve yeşil altyapının korunmasındaki önemini vurgulamıştır. Diğer taraftan gölgelerin tahmini binaların güneş enerjisi potansiyelini tahmin etmek için de kritik bir öneme sahiptir, çünkü gölgeler, güneş panellerinin verimini dramatik şekilde düşürmektedirler. Bu bağlamda, gölge analizi binaların güneş ışınımı alımını değerlendirme amacıyla yapılan analizlerle yakından ilişkilidir ve genellikle birlikte değerlendirilirler (Biljecki vd., 2015).

Literatüre bakıldığında yapılan pek çok çalışmada gölge analizi ya da içinde gölge analizini içeren güneş enerjisi potansiyeli analizlerinin 3B değil de 2.5B yüzey modelleri kullanılarak yapıldıkları ve bu çalışmalarda da 3B temsil gerektiren dikey yüzeylerin göz ardı edildiği görülmektedir. Suprojo vd. (2022), binalar ve bitki örtüsünden kaynaklanan gölge etkilerini analiz etmişlerdir. Çalışmalarında, sayısal yüzey modeli kullanarak bina çatılarının güneş enerjisi potansiyelini analiz etmişlerdir. Potansiyel güneş enerjisi üretimini kapsamlı bir şekilde değerlendirebilmek için gölge analiziyle birlikte rüzgâr yönü ve eğim gibi çeşitli faktörlerin dikkate alınmasının önemini vurgulamıştır. Cenky vd. (2024) yaptıkları çalışmada Slovakya'nın Bratislava şehrindeki bina çatılarının güneş enerjisi potansiyelini analiz etmişlerdir. Güneş enerjisini hesaplamak için gölge analizi yapmış ve bunu yapmak için de açık kaynak kodlu CBS yazılımı olan GRASS'ın r.sun modülünden yararlanmışlardır. Adjiski vd. (2023) yaptıkları çalışma ile LiDAR verisinden üretilen sayısal yüzey modeli ve sayısal arazi modeli kullanılarak güneş potansiyeli analizi yapılmıştır. Binaların cepheleri olan dikey yüzeyler göz ardı edilmiştir.

Clementi vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada LiDAR verisinden üretilen sayısal yükseklik modeli kullanılarak güneş potansiyeli analizi yapılmış, dikey yüzeyler göz ardı edilmiştir. Soha vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada LiDAR verisi kullanılarak kent ölçeğinde binaların çatıları için güneş potansiyeli analizi yapılmıştır. Bina cepheleri dikkate alınmamıştır. Massano vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada CBS tabanlı güneş paneli elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesini sağlayan prosedürler geliştirmişlerdir. Bu çalışmada sayısal yüzey modeli kullanılmış ve dikey yüzeyler göz ardı edilerek sadece çatılar dikkate alınmıştır. Baghani (2023) tarafından yapılan çalışmada İHA kullanılarak kırsal alanlardaki çatıların güneş enerjisi potansiyelinin analizi yapılmıştır. Dış cepheler göz ardı edilmiştir. Bhattacharya vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada bina ayak izleri ve LiDAR nokta bulutu verisi kullanılarak binaların etraflarında oluşturduğu gölge etkisi analiz edilmiş, binaların kendi dikey yüzeyleri üzerinde oluşturdukları gölge etkisi göz ardı edilmiştir. Zaten bu eksiklik makalenin başlığındaki 2.5B ifadesinden de anlaşılmaktadır. Benzer şekilde Bhattacharya vd. (2021) LiDAR verisinden elde edilen sayısal yüzey modeli kullanarak 2.5B gölge haritası üretmiştir. Dikey yüzeyler göz ardı edilmiştir.

Rai ve Trivedi (2024), yaptıkları çalışmada Shadowmap isimli web tabanlı yazılım bileşenini kullanarak 3B olarak güneş potansiyeli analizi yapmışlardır. Bu yazılım bileşeni, konumsal veri olarak OpenStreetMap (OSM) verisini kullanmaktadır. OSM verisindeki binalar, yükseklik bilgisi özneteliği kullanılarak yükseltilmekte (extrude) ve 3B binalar oluşturulmaktadır (Şekil 1a). Yükseklik bilgisi bulunmayan binaların ise tümü, sabit bir değer ile aynı yüksekliğe yükseltilmektedir (Şekil 1b). Bu da yükseklik bilgisi olmayan binaların yanlış modellenmesine ve gölge etkisinin de yanlış hesaplanmasına neden olmaktadır. Yükseklik bilgisi olmayan binaların yükseklik değeri başka kaynaklardan elde edilerek ya da yapay zeka modelleri ile tahmin edilerek veri, modelleme öncesi zenginleştirilmelidir. Gölge analizinin 3B geometri kullanılarak gerçekleştirildiği bir diğer çalışma Xu vd. (2024) tarafından yapılan oldukça yeni bir çalışmadır. Bu çalışmada bina yüzeyleri üzerinde bir grid oluşturularak bu grid noktaları için gölge analizi ışın izleme algoritması ile aynen bu makaledeki gibi yapılmıştır. Ancak arada küçük bir fark vardır o da grid noktaları oluşturulurken bu çalışmada yüzeyler üzerinde 1m aralıklı düzenli dağılmış noktalardan oluşan bir grid oluşturulurken bahsi geçen çalışmada üçgen yüzeylerin orta noktaları kullanılarak düzensiz dağılmış bir grid oluşturulmaktadır. Bu çalışmadaki düzenli dağılmış noktalar bina yüzeyini daha doğru temsil etmekte ve analiz doğruluğuna pozitif yönde etki etmektedir. Aynı şekilde Alam vd. (2012) çalışmasında da grid düzensiz oluşturulmaktadır. 3B gölge analizi konusunda Türkiye’de yapılmış çalışmalar ise Konakoğlu ve Usta (2019), Usta ve Cömert (2015) ile Erbil ve Altay (2022)’dir. Konakoğlu ve Usta (2019) yaptıkları çalışmada bina yüzeyleri değil bina yüzeylerinin üzerinde gölge etkisi oluşturduğu peyzaj alanları analiz edilmiştir. Bahsi geçen çalışmada ShadowAnalysis isimli bir yazılım bileşeni kullanılmıştır. Bu bileşen, gölge analizi için zaman aralıklarını kullanıcıdan istemekte ve her bir saat için ışın izleme ile gölgeyi belirlemektedir. Yazılımın en büyük eksiği, kullanıcının girdiği zaman aralığını kontrol etmemesidir. Yıl boyunca güneşin doğuşu ve batışı her gün değişmektedir. Kullanıcının güneşin doğuş ve batışı arasındaki saatler dışında bir zaman aralığı girmesi halinde yazılım o zaman aralığını da analiz içine katmaktadır. Bu durum hem fazladan ışın yüzey kesişim testine neden olarak performansı kötü etkilemekte, hem de gün ışığının olmadığı karanlık saatlerin de gölge olarak değerlendirilmesine neden olmaktadır. Mevcut çalışmada bahsi geçen çalışmadan farklı olarak yılın her bir günü için sadece güneşin doğuş ve batışı arasında kalan saatler dikkate alınarak analiz gerçekleştirilmiştir. Usta ve Cömert (2015) tarafından yapılan çalışmada da aynı yazılım bileşeni kullanılmıştır. Aynı şekilde Erbil ve Altay (2022) aynı yazılım bileşenini kullanmışlardır ve yaptıkları çalışma, aynı sınırlamalara sahiptir.



Şekil 1. Shadowmap isimli 3B CBS aracı (Rai & Trivedi, 2024)

Panel kurulumları için uygun yer seçimi analizlerinde de gölge etkisi dikkate alınmıştır. Albraheem ve Alabdulkarim (2021), Riyad'da PV panellerin kurulumu için en uygun yerleri belirlemek amacıyla CBS tabanlı çok kriterli karar verme tekniklerini kullanmıştır. Bu çalışma, mekânsal analizlerin PV (fotovoltaik) kurulumları için saha seçimini nasıl yönlendirebileceğini göstermektedir.

Bu yaklaşım, yalnızca enerji üretim verimliliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda gölgeleme etkilerini en aza indirecek yerleri belirleyerek sürdürülebilir kentsel gelişimi de desteklemektedir. Diğer bir çalışmada Kuru (2023) tarafından güneş panellerinin kurulumu için uygun yer seçimi analizi yapılmıştır. Güneş potansiyeli değerleri NREL veri tabanından alınmış herhangi bir analiz yapılmamış ve bina dış cepheleri kapsam dışı bırakılmıştır.

Son yıllarda yapay zekâ kullanımının yaygınlaşmasıyla gölge analizi ya da güneş enerjisi potansiyeli analizi gibi konularda da yapay zekadan yararlanılmaya başlandığı görülmektedir. Ni vd. (2024) yaptıkları çalışmada yapay zekâ ve CBS'yi kullanarak güneş enerjisi için çatılardaki uygun alanları belirlemişlerdir. Bu çalışmada çatılar dışındaki dış cepheler dikkate alınmamıştır. Başka bir çalışmada Gui vd. (2024) yapay zekâ ve CBS'yi kullanarak güneş enerjisi için çatılardaki uygun alanları belirlemişlerdir. SYM kullandıkları için dikey yüzeyleri dikkate almamışlardır. Omar vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada OSM verisi ile GAN kullanılarak gölge analizi yapılmıştır. Bu çalışmada kenti modellemek için OSM verisi kullanılmıştır. Ancak yükseklik bilgisi dünya genelinde OSM verisinde bulunmamaktadır. Dolayısıyla yöntem her yer için uygulanabilir değildir.

3. Materyal ve Metot

3.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Artvin ilinde yer alan Artvin Çoruh Üniversitesi Seyitler Yerleşkesi ve Merkez Yerleşkesi seçilmiştir. Artvin ili $40^{\circ} 35'$ ile $41^{\circ} 32'$ kuzey enlemleri ve $41^{\circ} 07'$ ile $42^{\circ} 00'$ doğu boylamları arasında yer almaktadır ve 7.367 km^2 yüzölçümüne sahiptir. Artvin ili Kuzey Yarım Küre'de yer almasından ötürü güneşi güneyden gören bir yerleşim yeridir. Şekil 2'de Güneşin yıl boyunca izlediği yol ve çalışma alanı ile ilişkisi gösterilmiştir.

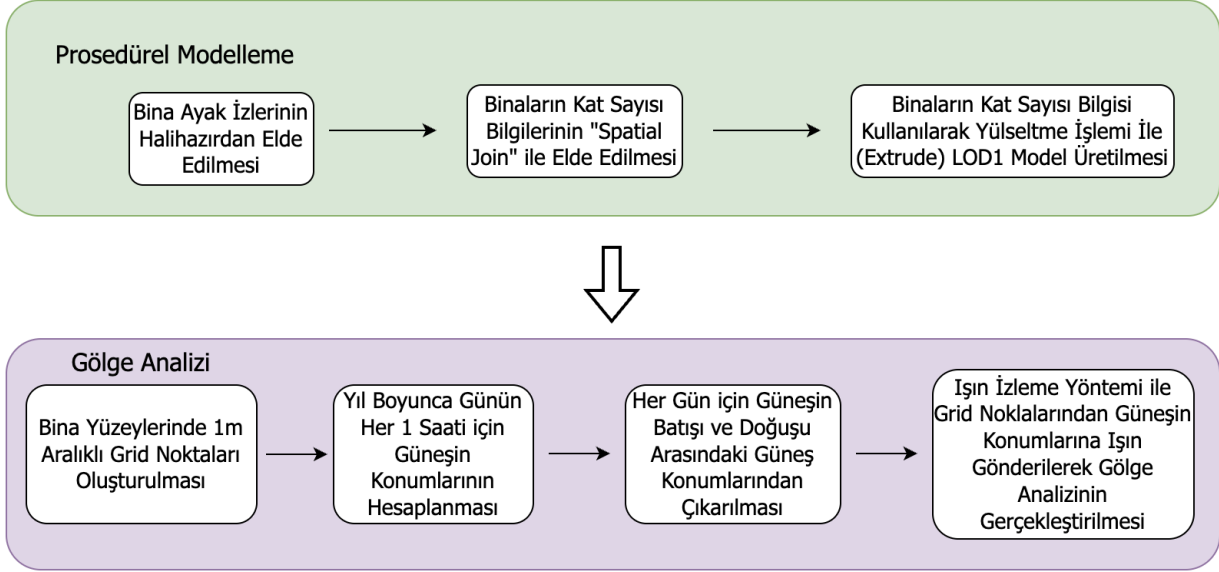


Şekil 2. Seyitler yerleşkesi ve merkez yerleşkesinde güneşin yıl boyunca izlediği yol

3.2 Seyitler ve Merkez Yerleşkelerinin 3B Modellenmesi

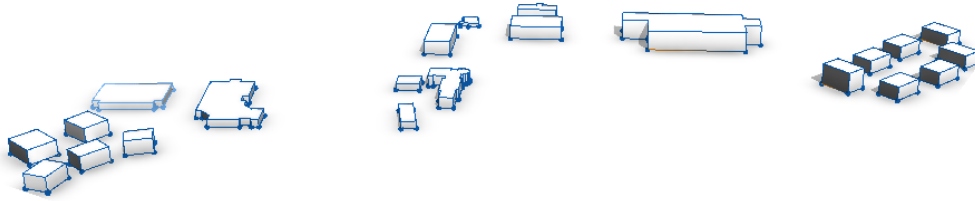
Çalışmanın uygulama kısmı 3B modelleme ve 3B Gölge Analizi olmak üzere 2 ana bölümden oluşmaktadır. Çalışmaya ait iş akışı Şekil 3'te verilmiştir. Seyitler yerleşkesinin ve Merkez yerleşkesinin 3B modellenmesi için prosedürel modelleme yönteminden yararlanılmıştır. Prosedürel modelleme yönteminde önceden tanımlanmış kurallar ya da algoritmalar kullanılarak 3B modelleri ya da sahneleri otomatik olarak oluşturulmaktadır Birden fazla model ya da sahne önceden tanımlı kurallarla minimum kullanıcı etkileşimi ile üretilebilmektedir (Usta vd. 2023). Böylelikle hem zamandan tasarruf sağlanmakta hem de doğru şekilde kodlanmış bilgisayar algoritmaları ile gerçekleştirilen model üretim süreçleri ile kişisel hataların önüne geçilebilmektedir (Şenyurdusev & Doğru, 2021). Bir şehirdeki, mahalledeki ya da kampüsteki binaları tek tek manuel olarak modellemek yerine, belirli parametreler ve kurallar tanımlayarak prosedürel olarak üretebilirsiniz.

İnteraktif modelleme, tek tek nesnelere düzenlemeyi gerektirdiğinden büyük ölçekli projelerde zaman alıcı ve hataya açık olabilir. Prosedürel modelleme, geniş alanlara yayılan çok fazla sayıda benzer özelliklere sahip objeleri, tekrarlayan yapıları daha interaktif modellemeye göre çok daha hızlı üretir. Bu bahsi geçen avantajlarından ötürü bu çalışmada prosedürel modelleme kullanılmıştır.



Şekil 3. Çalışmaya ait iş akışı

Öncelikle çalışma alanına ait halihazır verisi kullanılarak, her bir bina için, halihazırda yazı olarak yer alan kat sayısı verisi, "spatial join" analizi kullanılarak binaların öznitelik tablosuna otomatik olarak yazdırılmıştır. Daha sonra bu kat sayısı öznitelik verisi kullanılarak bina yükseklikleri kat sayısı * 3 olacak şekilde elde edilmiştir. Her bir bina için hesaplanan bu yükseklik verisi kullanılarak binalar yükseltilmiş ve LOD1 ayrıntı düzeyindeki 3B modeller elde edilmiştir (Şekil 4). Modelleme işlemi için Python programlama dilinde bir program yazılmış olup, oluşturulan 3B model CityJSON (Ledoux, 2019) formatında program tarafından kaydedilmiştir. Bunun için açık kaynak kodlu Python kütüphanesi "cjo" kullanılmıştır.

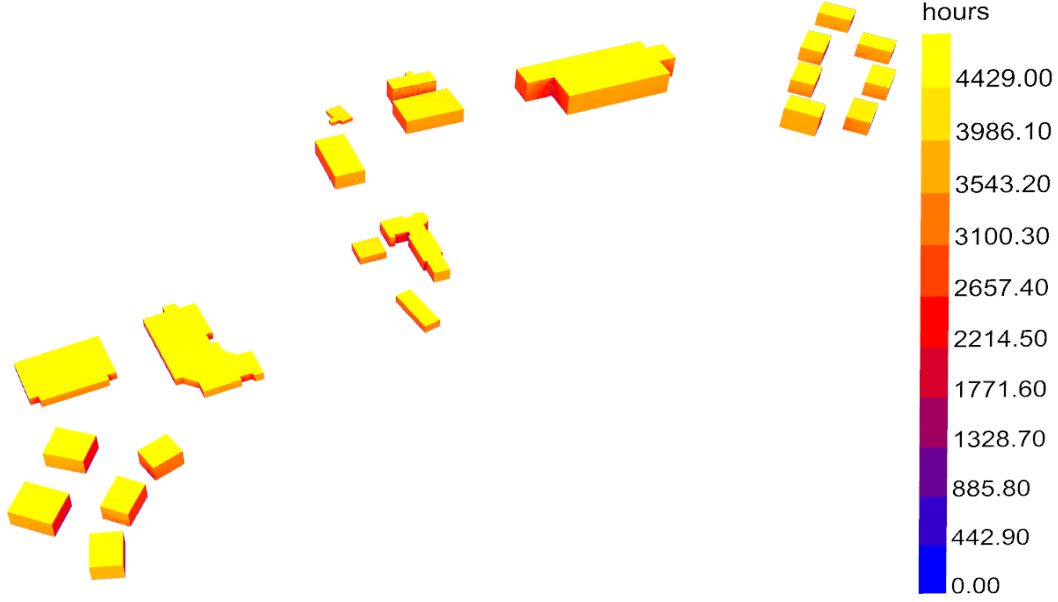


Şekil 4. Seyitler yerleşkesinin 3B modeli

3.3 3B Gölge Analizi

Gölge analizi için Işın izleme algoritmasından yararlanılmıştır. Işın izleme, bilgisayar grafiklerinden simülasyona pek çok alanda kullanılan bir algoritmadır. Işın izleme algoritmasının seçilmesinin nedeni raster tabanlı yöntemler gibi 2.5B ile sınırlı olmaması, Gökyüzü görünürlük faktörü (sky view factor) yöntemi kadar yüksek performans gerektirmemesidir (Xu vd., 2024). Işın izleme, noktalar arasındaki görünürlüğü hesaplamak için kullanılan bir tekniktir. Bu algorithmada ışın, başlangıç noktası ve doğrultusu olan vektörel bir büyüklüktür. Görülebilirlik analizlerinde, ışın bir noktadan diğerine doğru gönderilir ve yol boyunca ışın yüzey kesişim testleri yapılarak iki nokta arasında başka bir objenin varlığı araştırılır. Eğer ışın yüzey kesişim testi sonucu iki nokta arasında obje algılanırsa bu iki nokta birbirini görmemektedir sonucuna varılır. Gölge analizi de aslında bir görülebilirlik problemidir. Güneşin anlık konumundan bakıldığında görülebilen yerler güneş almakta görülemeyen yerler ise gölgede kalmaktadır. Bu nedenle bu problem ışın izleme ile çözülebilmektedir. Güneşin konumu, dünyanın güneş ve kendi etrafında dönmesi sebebiyle sürekli değişmektedir. Önceki aşamada elde edilen CityJSON dosyası kullanılarak gölge analizi için bina yüzeyleri üzerinde 1m aralıklı grid noktaları oluşturulmuştur.

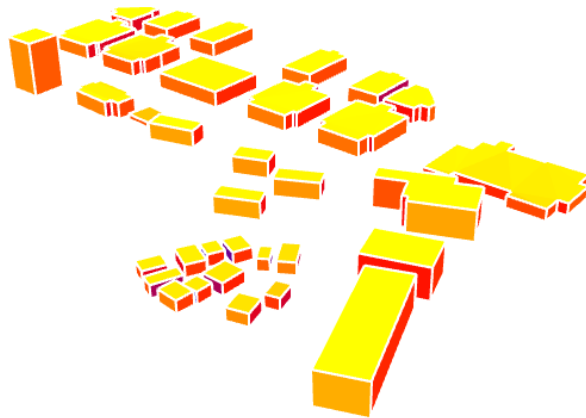
Güneşin konumu, 1 saatlik zaman aralıklarında her saat için grid noktalarının enlem ve boylam bilgisi kullanılarak tüm yıl için hesaplanmıştır. Daha sonra Işın İzleme (Ray-Tracing) algoritması kullanılarak güneşin saatlik konumlarından bina yüzeyi üzerindeki gridlerin orta noktasına ışınlar gönderilmiş ve ışın-yüzey kesişim testi kullanılarak ışınların bina yüzeyleri ile kesişip kesişmediğine bakılmıştır. Eğer kesişim varsa o saat için yüzey gölge etkisindedir. Eğer kesişim yoksa o saat için yüzey doğrudan güneş ışığı almaktadır. Bu şekilde binanın çatı ve dış yüzeyleri için yıllık 3B gölge analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5). Bu işlem için Python programlama dilinde program yazılmıştır.



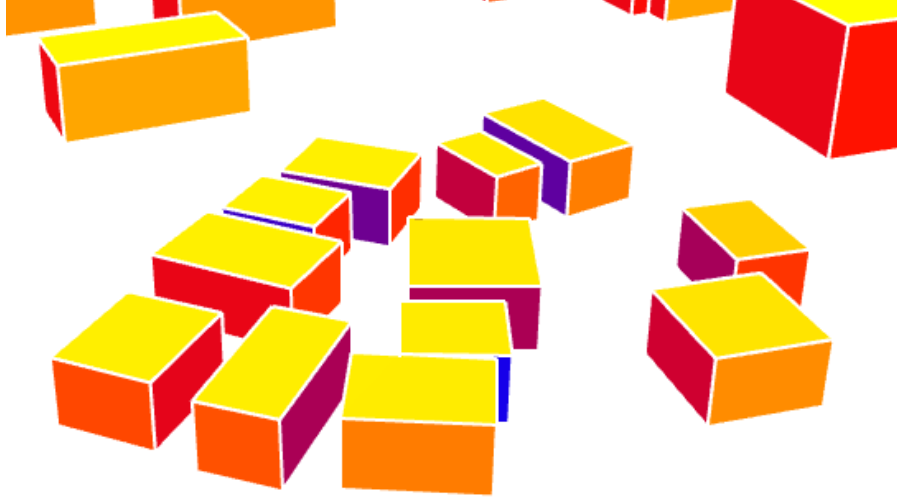
Şekil 5. 3B Gölge analizi sonucu bina yüzeyleri ve toplam yıl boyunca aldıkları güneş ışığı süresi

4. Bulgular ve Tartışma

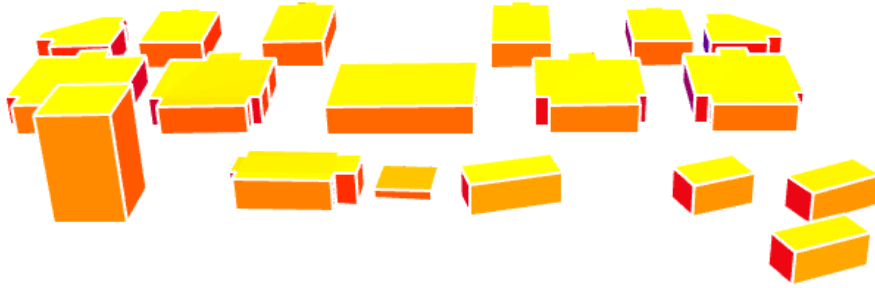
Yapılan 3B gölge analizi sonucunda, Seyitler ve Merkez Yerleşkelerindeki binaların sadece çatılarının değil dış cephelerinin de yeterli miktarda güneş ışığı aldığı görülmüştür. Seyitler Yerleşkesindeki binalar büyük çoğunluğu arasında yeterli mesafe olduğu ve bu nedenle birbirleri üzerinde çok fazla gölge etkisi oluşturmadıkları belirlenmiştir. Gölge etkisinin Merkez Yerleşkesindeki birbirlerine yakın mesafedeki yüksek binalar arasında olduğu görülmektedir (Şekil 6) ve (Şekil 7). Ayrıca aralarındaki yükseklik farkları fazla olan binaların komşu alçak binaların çatı yüzeylerinde dahi gölge etkisi oluşturduğu görülmüştür (Şekil 8). Oysa bu durumun Shadowmap adlı tüm binaların eşit yükseklikte modellendiği yazılım ile tespit edilmesinin mümkün olmadığı net bir şekilde ortaya konmuştur. Buradan hareketle, imar planları hazırlanırken 3B gölge analizlerinin kullanılması gerektiği ve özellikle bina yükseklikleri ve çekme mesafeleri gibi gölge etkisini belirleyici nitelikteki parametrelerin belirlenmesinde analiz sonuçlarının da dikkate alınması gerektiği görülmüştür.



Şekil 6. Merkez yerleşke gölge analizi sonucu

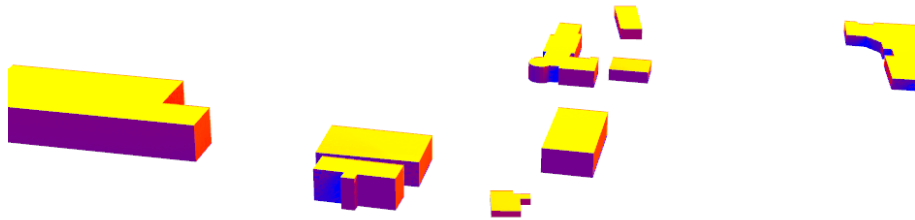


Şekil 7. Merkez yerleşkedeki birbirine yakın binalar ve aralarında artan gölge etkisi



Şekil 8. Merkez yerleşkede iki yüksek binanın aralarındaki alçak binanın çatısında oluşturdukları gölge etkisi

Artvin ilinde güneşin doğuş ve batış süreci arasında izlediği yol Güney yönelimli olduğundan Güneydeki bina cephelerinin Kuzey cephelere göre çok daha fazla güneş ışığı aldığı görülmektedir (Şekil 9). Buna göre en çok çatılar, daha sonra Doğu ve Batı yönlü cepheler ve son olarak da Kuzey yönlü cepheler güneş ışığına maruz kalmaktadır. Çatılar daha yüksek güneş ışığı alsa da dış cephelerin de anlamlı miktarda güneş ışığı aldığı, gerektiğinde dış cephelere de güneş paneli kurulumu yapılabileceği ve dolayısıyla gölge analizlerinde çatılar dışında dış cephelerin de dikkate alınması gerektiği görülmüştür.



Şekil 9. Bina cephelerinin Kuzey yönünden görünümü

5. Sonuç

Bu çalışmada 3B gölge analizinin bir kent analitiği aracı olarak nasıl kullanılabilceği gösterilmiştir. Bu amaçla öncelikle çalışma alanı olan Artvin Çoruh Üniversitesi Seyitler Yerleşkesinin 3B modeli üretilmiştir. Üretilen bu 3B model kullanılarak gölge analizi sadece çatıları değil dış cepheleri de dikkate alacak şekilde 3B olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda dış cephelerinde oldukça güneş ışığı aldığı ve güneş paneli kurulumu için potansiyel taşıdığı görülmüştür. Bu çalışma göstermiştir ki gölge analizi bir kent analitiği aracı olarak planlama çalışmalarında dikkate alınmalı sadece çatıların değil dış cephelerin de analizi yapılmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma, Artvin Çoruh Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (AÇÜBAP) tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2023.F40.02.01).

Kaynaklar

- Albraheem, L., & Alabdulkarim, L. (2021). Geospatial analysis of solar energy in Riyadh using a GIS-AHP-based technique. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(5), Article 291. <https://doi.org/10.3390/ijgi10050291>
- Adjiski, V., Kaplan, G., & Mijalkovski, S. (2023). Assessment of the solar energy potential of rooftops using LiDAR datasets and GIS-based approach. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(2), 188–199.
- Alam, N., Coors, V., Zlatanova, S., & Oosterom, P. J. M. (2012). Shadow effect on photovoltaic potentiality analysis using 3D city models. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39, 209–214.
- Baghani, A. (2023). Assessment of rooftop solar power potential in rural areas using UAV photogrammetry and GIS. *Renewable Energy Research and Applications*, 4(2), 251–258.
- Bhattacharya, S., Braun, C., & Leopold, U. (2019, May 3–5). A novel 2.5D shadow calculation algorithm for urban environment [Conference presentation]. 5th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management (GISTAM 2019), Heraklion, Crete, Greece.
- Bhattacharya, S., Braun, C., & Leopold, U. (2021). An efficient 2.5D shadow detection algorithm for urban planning and design using a tensor-based approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(9), Article 583. <https://doi.org/10.3390/ijgi10090583>
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., & Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D city models: state of the art review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842–2889.
- Cenky, M., Bendik, J., & Lazarenko, I. (2024, October 16–18). Rooftop photovoltaic potential estimation using QGIS and simple building shadow analysis [Conference presentation]. 2024 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST), Osijek, Croatia.
- Clementi, M., Dessi, V., Podestà, G. M., Chien, S. C., Wei, B. A. T., & Lucchi, E. (2024). GIS-based digital twin model for solar radiation mapping to support sustainable urban agriculture design. *Sustainability*, 16(15), Article 6590. <https://doi.org/10.3390/su16156590>
- El-Hosaini, H. (2015). Locating and positioning solar panels in a 3D city model: A case study of Newcastle, UK. *Journal for Geographic Information Science*, 3, 147-157. <https://doi.org/10.1553/giscience2015s147>
- Erbil, Z. C., & Altay, B. (2023). The relationship between shadow analysis and sustainability in university campuses: The example of Selcuk University Alaeddin Keykubat Campus. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 11(2), 343–347.
- Gui, B., Sam, L., & Bhardwaj, A. (2024). From roofs to renewables: Deep learning and geographic information systems insights into a comprehensive urban solar photovoltaic assessment for Stonehaven. *Energy* 360, 1, Article 100006. <https://doi.org/10.1016/j.energ.2024.100006>
- Konakoğlu, S. S. K., & Usta, Z. (2019, 23–25 Ekim). *Ekolojik sürdürülebilirlik kavramının 3B gölge analizi ile KTÜ Kanuni Kampüsü örneğinde irdelenmesi* [Bildiri sunumu]. TMMOB 6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Ankara, Türkiye.
- Kuru, A. (2023). Solar power plant site selection modeling for sensitive ecosystems. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 25(8), 2529–2544.
- Massano, M., Macii, E., Lanzini, A., Patti, E., & Bottaccioli, L. (2023). A GIS open-data co-simulation platform for photovoltaic integration in residential urban areas. *Engineering*, 26, 198–213.
- Ni, H., Wang, D., Zhao, W., Jiang, W., Mingze, E., Huang, C., & Yao, J. (2024). Enhancing rooftop solar energy potential evaluation in high-density cities: A deep learning and GIS-based approach. *Energy and Buildings*, 309, Article 113743. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113743>
- Ninsawat, S., & Hossain, M. D. (2016). Identifying potential areas and financial prospects of rooftop solar photovoltaics (PV). *Sustainability*, 8(10), Article 1068. <https://doi.org/10.3390/su8101068>
- Omar, K. S., Moreira, G., Hodczak, D., Hosseini, M., Colaninno, N., Lage, M., & Miranda, F. (2024). Deep Umbra: A generative approach for sunlight access computation in urban spaces. *IEEE Transactions on Big Data*, 11(2), 388–401.
- Rai, B., & Trivedi, R. (2024, February 21–23). Analysis of effects on solar energy generation due to mountain shadow on Sikkim Manipal Institute of Technology, Sikkim using Shadowmap 3D GIS mapping tool [Conference presentation]. 4th International Conference on Innovative Practices in Technology and Management (ICIPTM), Noida, India.

- Soha, T., Sugár, V., & Hartmann, B. (2024). City-scale analysis of PV potential and visibility in heritage environments using GIS and LiDAR. *Energy and Buildings*, 311, Article 114124. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114124>
- Suprojo, B., Utami, W., Saraswati, L. A., Nabila, D. A., & Salim, M. N. (2022). Digital earth surface model for the estimation of solar panel electric power towards renewable energy. *Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning*, 9(2), 103–120.
- Şenol, H. İ. (2022). Investigation of the shadow effect of urbanization on green areas with shadow impact analysis. *Mugla Journal of Science and Technology*, 8(1), 26–30.
- Şenyurdusev, G., & Doğru, A. Ö. (2021). Akıllı şehir uygulamaları için prosedürel 3B kent modeli oluşturulması ve fotorealistik 3B görselleştirme. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 2(2), 67–75.
- Usta, Z., Akın, A. T., & Cömert, Ç. (2023). Deep learning-aided web-based procedural modeling of LOD2 city models. *Earth Science Informatics*, 16(3), 2559–2571.
- Usta, Z., & Cömert, Ç. (2015, September 18–20). *Deriving solar energy potential of buildings in a 3D city model* [Conference presentation]. First International Conference on Sea and Coastal Development in the frame of Sustainability, Trabzon, Turkey.
- Xu, L., León-Sánchez, C., Agugiaro, G., & Stoter, J. (2024). Shadowing calculation on urban areas from semantic 3D city models. In T. H. Kolbe, A. Donaubaue, & C. Beil (Eds.), *Recent Advances in 3D Geoinformation Science* (pp. 31–47). Springer.
- Vo, A. V., & Laefer, D. F. (2019). A big data approach for comprehensive urban shadow analysis from airborne laser scanning point clouds. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, 131–137.
- Zhou, K. L., & Gorte, B. G. H. (2017). Shadow detection from VHR aerial images in urban areas by using 3D city models and a decision fusion approach. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 579–586.