

GEOmatik

Geomatik Dergisi
Cilt 5 / Sayı 1 - Nisan 2020



ISSN:2564-6761



Dergi Hakkında	Geomatik Dergisi bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak harita mühendisliği alanında yeni gelişmelerle ilgili yapılan çalışmalarını yayınlayan bir dergidir. Geomatik dergisi Tubitak Ulakbim TR Dizin’de Dizinlenmektedir
Amaç & Kapsam	<p>Geomatik Dergisi 2016 yılından beri yayın hayatını sürdüren uluslararası hakemli TÜRKÇE yayın yapan bir dergi olup hakem değerlendirme sistemi mevcuttur. Harita Mühendisliğine ait kuramsal ve uygulamalı araştırma, tarama-inceleme, bildiri, vaka çalışması, kısa rapor ve editöre mektup niteliklerinden birine uygun eserler hakem değerlendirmesinden yayınlanabilir olduğuna dair karar verildikten sonra yayımlanır. Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan eser, dergi editörlüğünce değerlendirme için hakemlere gönderilir. Geomatik Dergisinde KÖR HAKEMLİK uygulaması mevcuttur. Yayınlanmasına, hakemlerin görüşü doğrultusunda Dergi Editör ve Yayın Kurulu karar verir. Gönderilen makaleler yayımlansın veya yayımlanmasın iade edilmez. Dergimizde yayımlanan yazıların her türlü sorumluluğu (bilimsel, mesleki, hukuki, etik v.b.) yazarlara aittir. Yayımlanan yazıların telif hakkı dergiye aittir ve referans gösterilmeden aktarılamaz. Araştırmacılar arasındaki bilimsel iletişimi oluşturmak amacıyla aşağıda nitelikleri açıklanan, başka bir yerde yayımlanmamış makaleler Türkçe olarak kabul edilmekte ancak özetinin İngilizce de basılması zorunluluğu vardır.</p> <p>GEOMATİK dergisinin kapsamı;</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Fotogrametri ve Uzaktan Algılama,✓ Lidar , Yersel lazer tarama, Mobil lazer tarama,✓ GPS ve uygulamaları, Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları✓ Ölçme teknikleri - endüstriyel ölçmeler, deformasyon ölçmeleri,✓ Jeodezi✓ Hidrografik ölçmeler, navigasyon, madencilik ölçmeleri✓ Mühendislik ölçmeleri, Jeodezi, dengeleme,✓ Kartografik uygulamalar,✓ Arazi Toplulaştırma ve uygulamaları, Kadastro ve uygulamaları✓ İmar Bilgisi ve uygulamaları ve✓ Geomatik mühendisliği ve yerbilimleri ile bağlantılı multi disiplinler çalışmaları.
Yayımlanma Sıklığı	Yılda 3 sayı (Nisan, Ağustos, Aralık, aylarında sayı çıkarılır.)
e-ISSN	2564-6761
WEB	https://dergipark.org.tr/geomatik
İletişim	geomatikdersisi@gmail.com



EDİTÖR

Prof. Dr. Murat YAKAR
Mersin Üniversitesi,
Mersin

EDİTÖR YARDIMCILARI

Dr. Öğr. Üyesi Osman ORHAN
Mersin Üniversitesi,
Mersin

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT
Konya Teknik Üniversitesi,
Konya

EDİTÖR KURULU

- Prof. Dr. Reha Metin ALKAN, Hitit Üniversitesi
- Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ GÜL, Yıldız Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU, Gebze Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Haluk ÖZENER, Boğaziçi Üniversitesi
- Prof. Dr. Erkan BEŞDOK, Erciyes Üniversitesi
- Prof. Dr. Gönül TOZ, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU, İstanbul Üniversitesi
- Prof. Dr. Fevzi KARSLI, Karadeniz Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ, Selçuk Üniversitesi
- Prof. Dr. Sebahattin BEKTAŞ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi
- Doç. Dr. Çiğdem GÖKSEL, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Doç. Dr. Semra ALYILMAZ, Atatürk Üniversitesi
- Doç. Dr. Tekin SUSAM, Gaziosmanpaşa Üniversitesi
- Doç. Dr. İ. Rakıp KARAS, Karabük Üniversitesi
- Doç. Dr. Mevlüt YETKİN, Katip Çelebi Üniversitesi
- Doç. Dr. Şinasi KAYA, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Doç. Dr. İbrahim YILMAZ, Afyon Kocatepe Üniversitesi
- Doç. Dr. Ömer MUTLUOĞLU, Selçuk Üniversitesi
- Doç. Dr. Arzu ERENER, Kocaeli Üniversitesi
- Doç. Dr. Ramazan Cüneyt ERENOĞLU, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
- Doç. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU, Cumhuriyet Üniversitesi
- Doç. Dr. Yasemin ŞİŞMAN, Ondokuz Mayıs Üniversitesi
- Doç. Dr. Güler YALÇIN, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
- Yrd. Doç. Dr. Ayşe Yavuz ÖZALP, Artvin Çoruh Üniversitesi
- Yrd. Doç. Dr. Fatih TAKTAK, Uşak Üniversitesi
- Dr. Ali ULVİ, Selçuk Üniversitesi

DANIŞMA KURULU

- Prof. Dr. Dursun Zafer Şeker, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ, Aksaray Üniversitesi
- Prof. Dr. Cengiz ALYILMAZ, Atatürk Üniversitesi
- Prof. Dr. Abdurrahman Geymen, Erciyes Üniversitesi
- Prof. Dr. Ferruh YILDIZ, Selçuk Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

CİLT 5 / SAYI 1

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

** Türkiye ve Çevresinde SRTM Sayısal Yükseklik Modelinin Doğruluğu

İbrahim Öztüđ BİLDİRİCİ, Ramazan Alpay ABBAK 1

** CenterPoint RTX Teknolojisinin Tekrarlanabilirliğinin Araştırılması

Veli İLÇİ 10

** İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi

Ali ULVİ, Murat YAKAR, Abdurahman Yasin YİĞİT, Yunus KAYA 19

** PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 Lazer Sistemleri ve Kullanım Alanları

Müge AĞCA 27

** Burdur'da Güneş Enerjisi Santrali (GES) Yatırımına Uygun Alanların CBS Tabanlı AHP Yöntemiyle Tespiti

Cihan YALÇIN, Mustafa YÜCE 36

** Tarihi Yığıma Kiliselerde Hasarların Fotogrametrik Ölçme Tekniğiyle İncelenmesi: Artvin Tbeti Kilisesi Örneği

Mustafa ZEYBEK*, Ali KAYA 47

** Bir İmar Adasındaki Binaların Oluşturduğu Gölgelelerin Konum Bakımından İncelenmesi: Trakya Bölgesi Örneği

Hüseyin İNCE, Nuri ERDEM 58

** 6306 sayılı Kanun Kapsamında Yapısal Değişiminin Yıllara Göre Elektrik Tüketim Boyutuyla İncelenmesi: Uşak İli Örneği

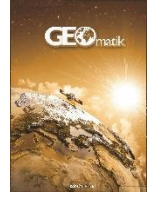
Fatih TAKTAK, Mehmet İLİ 72



GEOMATİK

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

e-ISSN 2564-6761



Türkiye ve Çevresinde SRTM Sayısal Yükseklik Modelinin Doğruluğu

İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ*, Ramazan Alpay ABBAK

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Sayısal yükseklik modeli
Topoğrafya
Doğruluk

ÖZ

Son yıllarda 1 yay saniye çözünürlüklü SRTM verileri yüksek çözünürlüklü global modeller içinde önemli bir veri kaynağı olarak ilgili alanlarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada topografik haritaların sayısallaştırılması yoluyla elde edilen yerel veriler ile SRTM SYM karşılaştırılmıştır. İki sistemin yükseklik başlangıcı da aynı olmadığından karşılaştırmalar düşey datum dönüşümü yapılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Türkiye ve yakın çevresini kapsayan SRTM verilerinin global doğruluk değerlerinden daha yüksek doğrulukta olduğu görülmüştür. SRTM'de iki paftada mevcut boşluklar da doldurulup, düşey datum EGM08'e dönüştürülmüştür.

Accuracy of SRTM DEM in Comparison to Local Data within Turkey and its Vicinity

Keywords

Digital elevation model
Topography
Accuracy

ABSTRACT

In recent years, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) one-arc-second data has been used in related areas as an important data source. In this study SRTM digital elevation model (DEM) is compared to local DEM created by contour lines of topographic quadrangles. Since the vertical datum of two data sets are different the comparisons are performed after an appropriate datum transformation. Results show that the accuracy of SRTM one-arc-second data in Turkey are higher than the global accuracy estimates. Void data that are presented in two tiles are filled from local data, and all tiles within and around Turkey are converted to EGM08 vertical datum.

1. GİRİŞ

Yeryüzü kara parçalarının büyük bölümlerini kapsayan global sayısal yükseklik modelleri, uzaktan algılama yöntemleri ya da var olan topografik haritaların sayısallaştırılması ile üretilmekte ve ticari ya da ticari olmayan biçimlerde kullanıcılara sunulmaktadır. Bu kapsamda ticari olmayan kategoride hayata geçen çalışmalardan biri *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), *Mekik Radar Topografya Görevi*'dir. NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından gerçekleştirilen projede yeryüzünün $\pm 60^\circ$ enlemleri arasındaki kara parçaları SAR (Synthetic-aperture radar) tekniği ile taranmıştır. Görev, 2000 yılı Şubat ayında 11 gün devam etmiştir. İyileştirme

çalışmalarından sonra SRTM Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üç değişik versiyonda dağıtılmaktadır.

Bu çalışmada SRTM Global olarak da adlandırılan SRTM 1" çözünürlüklü veri seti incelenmiş olup, bundan sonra SRTM1 olarak anılacaktır.

Ülke bazında yerel yükseklik verilerinden üretilen SYM çalışmaları da yapılmaktadır. Bu bağlamda Türkiye'de Harita Genel Müdürlüğü tarafından 1:25 000 ölçekli topografik haritaların eş yükseklik eğrilerinin sayısallaştırılması ile elde edilen bir SYM hazırlanmıştır (*Yerel SYM*).

Bu çalışmada Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından desteklenen ve yazarların gerçekleştirdiği "1 Yay Saniyesi Çözünürlüklü Türkiye Sayısal Yükseklik Modelinin

*Sorumlu Yazar

Kaynak Göster (APA)

*iobildirici@ktun.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-7717-586X
(raabbak@ktun.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-6944-5329

BİLDİRİCİ, İ., ABBAK, R. (2020). Türkiye ve Çevresinde SRTM Sayısal Yükseklik Modelinin Doğruluğu. *Geomatik*, 5 (1), 1-9. DOI: 10.29128/geomatik.551071
Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik/issue/48883/551071>

Oluşturulması ve Kullanım Olanaklarının Araştırılması” başlıklı proje sonuçlarının bir kısmı paylaşılacaktır (Bildirici ve Abbak, 2019). Bu projede global SYM'lerin doğrulukları daha doğru olduğu bilinen yerel SYM ve DGNSS izleri ile karşılaştırılarak analiz edilmiş, SRTM1 veri boşlukları yerel SYM'den yararlanılarak tamamlanmıştır. Veri seti daha sonra EGM08 datumuna dönüştürülerek TSYM1 olarak adlandırılmış ve İnternet üzerinden yayınlanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre Türkiye ve yakın çevresinde SRTM1 karesel ortalama hatası $\pm 7-9$ m arasında olup global doğruluğa göre (± 16 m) daha iyidir.

İkinci bölümde konu ile ilgili önemli kaynakların özeti verilmiş, üçüncü bölümde SRTM ve yerel SYM tanıtılarak doğruluk araştırması ve boşluk doldurma metodolojisi verilmiş, dördüncü bölümde doğruluk ve boşluk doldurma üzerine yapılan çalışmalar ve sayısal sonuçları verilmiştir. Sonuç ve öneriler son bölümde yer almaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Global SYM'lerin Türkiye'yi kapsayan veri setleri üzerinde yapılan ilk çalışmalara Bildirici vd. (2008) tarafından gerçekleştirilen proje örnek gösterilebilir. O dönemde ücretsiz kullanım olanağı bulunan tek global SYM, boşluklar içeren 3" çözünürlüklü SRTM idi. Bu veri seti yerel yükseklikler ile karşılaştırılmış, 10 m civarında doğruluğu olduğu bulunmuş, veri boşlukları yerel veri kaynaklarından yararlanılarak doldurulmuştur. Elde edilen yeni SYM ilgili kullanıcılara yayınlanmıştır (<http://galileo.ktun.edu.tr/tsym3>).

Abbak (2014) SRTM ve ASTER modellerinin jeoit modellemeye katkısını ele almıştır. Öncelikle Fransa'nın Auvergne test bölgesi için bu iki modelin doğruluk analizleri GPS-Nivelman verileriyle gerçekleştirilmiştir. ASTER modelinin daha düşük doğruluklu olduğu belirlenmiştir. Daha sonra ASTER ve SRTM modelleri kullanılarak gravimetrik jeoit belirlenmiştir. ASTER modeli doğruluk açısından daha düşük olmasına karşın jeoit belirlemede SRTM ile benzer sonuçlar vermiştir.

Luana vd. (2015) Çin'in Shandong eyaletinin kıyısı boyunca ASTER ve SRTM modellerinin doğruluk analizlerini gerçekleştirmiştir. Referans verisi olarak 1:50 000 ölçekli haritaların sayısallaştırılması sonucu elde edilen SYM kullanılmıştır. SRTM doğruluğu ± 13.74 m, ASTER 1. Versiyon ± 42.11 m, ASTER 2. Versiyon ise ± 12.12 m bulunmuştur.

Tibet'in güneydoğusundaki dağlık bir bölgede ASTER, SRTM ve TANDEM-X sayısal yükseklik modellerinin jeomorfolojik (eğim ve yükseklik) açıdan karşılaştırılması yapılmıştır (Pipaud vd., 2015). Sonuçlar, SRTM ve TANDEM-X'in daha uyumlu olduğunu ve TANDEM-X'in oldukça başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir.

ASTER sayısal yükseklik modeli jeomorfolojik çalışmalar açısından değerlendirilmiştir (White v.d.,

2015). Namibya ve Kalahari'de bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Metre altı doğruluklu DGNSS verileri ile yapılan karşılaştırmada ASTER oldukça iyi sonuçlar vermiştir.

SRTM'in düzey datumunun EGM96 yerine EGM08 kullanılması durumunda elde edilecek iyileşme miktarı Türkiye sınırları içerisinde incelenmiştir (Ustun v.d., 2018). Sonuçlar, Türkiye'nin Doğu Karadeniz bölgesinde ve Osmaniye-G. Antep yöresinde $\pm 5-6$ metreye varan doğruluk artışı olduğunu göstermiştir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. SRTM

SRTM projesinde Endeavour uzay mekiğine monte edilen radar sistemi, 2000 yılı Şubat ayında yeryüzü kara parçalarının $\pm 60^\circ$ enlemleri arasında kalan kısmında veri toplamıştır (JPL, 2018). Mekik üzerinde monte edilmiş olan C bant algılayıcısı NASA'ya X bant algılayıcısı ise Alman İtalyan uzay ajanslarına aittir. 2004 yılında NASA C bant verilerinden oluşturduğu SRTM sayısal yükseklik modelini ABD bölgesi için 1" diğer bölgeler için ise 3" çözünürlükte ücretsiz olarak kullanıma açmıştır. Daha sonra veriler üzerinde düzeltmeler ve boşluk doldurma çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalara paralel olarak vektör formatta su kütleleri verisi (SWBD: SRTM Water Body Data) oluşturulmuştur. Bu veriler SRTM1'den elde edilmiştir. Günümüzde SRTM kapsamında üç SYM bir çizgisel vektör veri olmak üzere 4 veri seti Earth Explorer veri portalı üzerinde kullanıma sunulmuş durumdadır (USGS, 2008). Bunlar,

- Boşluklu SRTM 1" çözünürlüklü (SRTM1),
- Boşlukları doldurulmuş SRTM 3" çözünürlüklü (SRTM3),
- Boşlukları doldurulmamış SRTM 3" çözünürlüklü (SRTM3),
- Su kütleleri verisi (SWBD), olarak sıralanır.

Veri toplama yönteminden kaynaklanan nedenlerle veri boşlukları oluşmuştur. Bu tür noktalarda yüksekliğin belirlenemediği -32768 tam sayısı ile ifade edilmiş olup, (void data) olarak adlandırılır.

Verilerin özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. SRTM1 verilerinin $\pm 50^\circ$ enlemleri dışındaki bölgelerde meridyen ve paraleller yönünde farklı çözünürlükte olduğuna dikkate edilmelidir.

Tüm SRTM verileri $1^\circ \times 1^\circ$ boyutlu bir bölgeyi içeren dosyalar halinde kullanıma sunulmuştur. Bu bölgeler kaynaklarda *tile* olarak adlandırılmış olup, burada *pafta* olarak anılacaktır.

SRTM verileri ile çalışılırken verilerin güncellik durumunun farkında olunmalıdır. SRTM, 2000 yılı Şubat ayındaki yeryüzü topoğrafyasını yansıtmaktadır.

3.2. Yerel SYM

Ülke bazında SYM elde etmek üzere Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından 1:25 000 ölçekli topografik haritaların eş yükseklik eğrilerinin otomatik vektörizasyonu ile YUKPAF adı verilen veriler oluşturulmuştur. Bu veriler 1:25 000'lik pafta bazında vektör CAD dosyaları biçiminde

düzenlenmiştir. Daha sonra global SYM çalışmalarında kullanılan DTED2 formatında 1" çözünürlüklü SYM haline getirilmiştir. Veri seti özellikleri düşey datumunun yerel olması (Antalya mareograf istasyonunun ortalama deniz düzeyi) dışında SRTM1 ile aynıdır. Hizmete özel statüde olan veriler kamu kurum ve kuruluşlarına ücret karşılığı sağlanmaktadır (HGM, 2018).

Tablo 1. SRTM veri setlerinin özellikleri

Set	Yatay Koord.	Düş. Dat.	Çözü. n.	Dosya Formatı
SRTM 1" Global	WGS84, Coğrafi	EGM96	1"*	BIL, DTED, GeoTIFF
SRTM Doldurulmuş	WGS84, Coğrafi	EGM96	3"	BIL, DTED, GeoTIFF
SRTM Doldurulmamış	WGS84, Coğrafi	EGM96	3"	BIL, DTED, GeoTIFF
SWBD	WGS84, Coğrafi	EGM96		ESRIShape

*±50° enlemleri dışındaki bölgede $\Delta\varphi = 1''$, $\Delta\lambda = 2''$

3.3. Doğruluk Araştırması Metodolojisi

Global SYM'lerin doğruluğu daha yüksek doğruluklu yerel veriler ile karşılaştırarak araştırılabilir. Kullanılan her iki SYM veri setinin yatay datumu WGS84'tür. Düşey datum SRTM'de EGM96, yerel SYM'de Antalya mareograf istasyonunun ortalama deniz düzeyidir. Bu nedenle global verilerin yerel verilerle karşılaştırmasını düşey datum farklılığını gözetenerek yapmak daha doğru bir yaklaşımdır. Bu amaçla 4 parametrelilik datum dönüşümü yapılması öngörülmüştür. Geleneksel olarak datum dönüşümü,

$$H_B - H_A = c_0 \cos \varphi \cos \lambda + c_1 \cos \varphi \sin \lambda + c_2 \sin \varphi + c_3 \quad (1)$$

eşitliği ile ifade edilir. Bu şekilde A datumundan B datumuna dönüşüm tanımlanır. (1) eşitliğine alternatif olarak kaynaklarda daha fazla parametrelilik dönüşüm bağıntıları da yer almaktadır. Dengelemeli dönüşüm,

$$\begin{aligned} \Delta H &= A c \\ c &= (A^T A)^{-1} A^T \Delta H \\ A &= \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 \cos \lambda_1 & \cos \varphi_1 \sin \lambda_1 & \sin \varphi_1 & 1 \\ \cos \varphi_2 \cos \lambda_2 & \cos \varphi_2 \sin \lambda_2 & \sin \varphi_2 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \\ c &= \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} \\ \Delta H &= \begin{bmatrix} H_{B_1} - H_{A_1} \\ H_{B_1} - H_{A_1} \\ \dots \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

eşitlikleri ile bulunan parametrelerle (katsayılarla) gerçekleştirilir. Dönüşümün karesel ortalama hatası,

$$v = A c - \Delta H$$

$$m_0 = \sqrt{\frac{v^T v}{n - 4}} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada n SYM dosyasındaki geçerli nokta sayısı olup 1" çözünürlüklü dosyalarda yaklaşık 13 milyondur (3601²). Bu matris boyutu ile işlem yapılamayacağından hesaplamalar artımlı olarak yapılmalıdır. Belli bir nokta sayısı için belirlenen A^TA ve A^TΔH matrisleri sonraki her bir nokta için arttırılarak gidilir. Bu durumda v^Tv hesabı da çok zor olacağından Ansermet bağıntısı kullanılabilir. Buna göre düzeltmelerin kareleri,

$$v^T v = \Delta H^T \Delta H - (A^T \Delta H)^T c \quad (4)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

Doğruluk araştırması yapılırken araştırılan ve doğru kabul edilen SYM'ler arasında datum farklılığı yok ya da küçük ise doğrudan karşılaştırma da yapılabilir. Bu durumda yükseklik farklarının karesel ortalama hataları (m), standart hataları (s) ve ortalamaları ($\Delta \bar{H}$),

$$\begin{aligned} m &= \sqrt{\frac{\sum \Delta H^2}{n}} \\ s &= \frac{\sum |\Delta H|}{n} \\ \Delta \bar{H} &= \frac{\sum \Delta H}{n} \end{aligned} \quad (5)$$

bağıntıları ile hesaplanabilir.

Hem datum dönüşümünde hem de doğrudan karşılaştırmada verilerde kaba hataların bulunma olasılığına karşı tüm farklar hesaba alınmaz. Bu amaçla global bir doğruluk değeri biliniyor ise (σ) bunun üç katını aşan farklar kaba hatalı kabul edilebilir. Bu değer SRTM için 16 m verilmiş olup, $3\sigma = 50$ m alınabilir (JPL, 2018; LPDAAC, 2018).

Bu hesaplamaları gerçekleştirmek için Linux işletim sisteminde C dili ile kurum içi yazılımlar geliştirilmiştir. Bunlar SRTM formatlarını (HGT ya da BIL) işlediğinden farklı formatlardaki veriler (GeoTiff ya da DTED2) GDAL yazılım paketi ile dönüştürülmüştür (GDAL, 2018).

3.4. Veri Boşluklarının Doldurulması

Türkiye ve yakın çevresini kapsayan SRTM1 paftalarının ikisinde veri boşlukları bulunmaktadır. Bu boşluklar yerel SYM'den doldurulabilir. Doğrudan veri aktarmak yerine pafta bazında belirlenen datum dönüşümünün kullanılması doğru bir yaklaşım olacaktır.

Pafta bazında datum dönüşüm parametreleri farklı olduğundan boşluk doldurma işlemi sonunda paftalarda kenarlaşma problemleri oluşup oluşmadığı analiz edilmelidir. Veri boşlukları olan paftalarda boşluklar özellikle pafta kenarlarında olduğundan bu analiz önemlidir. Pafta kenarlarında aynı konuma sahip noktaların farklı yükseklikleri olması halinde aradaki fark yeterince küçük ise (3σ 'dan küçük) iki yüksekliğin ortalaması iki paftaya da atanarak kenarlaşma sağlanır.

4. ARAŞTIRMA

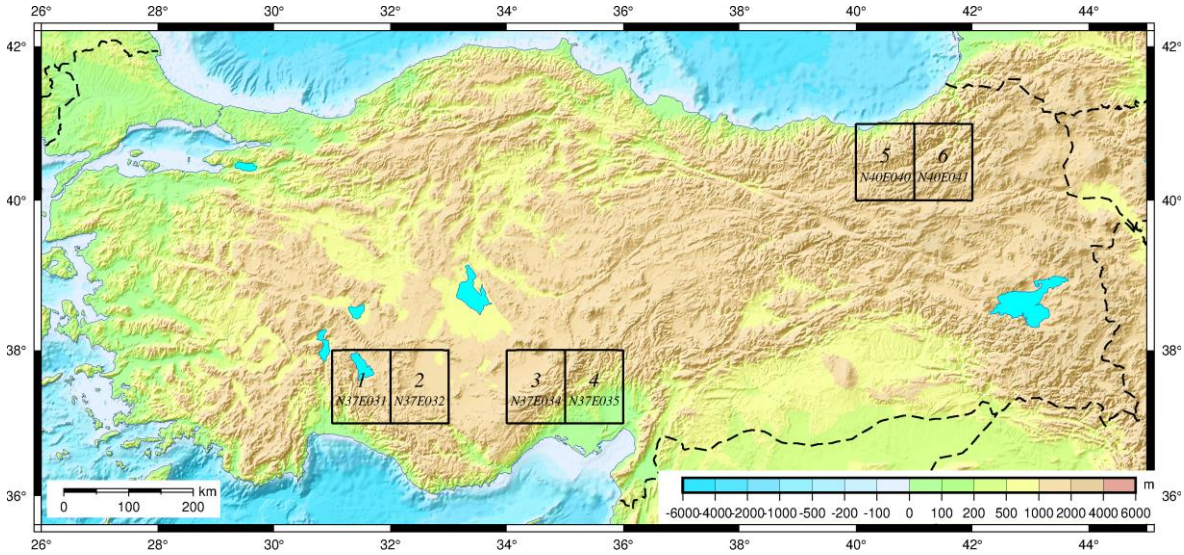
Proje kapsamında SRTM1 ile aynı çözünürlükte olan HGM tarafından üretilmiş yerel SYM veri setinden değişik topografik özelliklere sahip 6 pafta temin edilmiştir. Yerel SYM paftalarının güney batı köşe koordinatları Tablo 2'de konumları Şekil 1'de verilmiştir.

Makalede kullanılan haritalar ise GMT yazılım paketi ile hazırlanmıştır (GMT, 2018).

Tablo 2. Araştırmada kullanılan yerel SYM paftaları

SYM No	φ_0^*	λ_0^*	İsmlendirme
1	37°	31°	N37E031
2	37°	32°	N37E032
3	37°	34°	N37E034
4	37°	35°	N37E035
5	40°	40°	N40E040
6	40°	41°	N40E041

*Güney batı köşe koordinatı



Şekil 1. Proje kapsamında kullanılan yerel SYM paftaları

Tablo 3. Yerel SYM-SRTM1 datum dönüşümü

SYM No	φ_0°	λ_0°	c_0 (m)	c_1 (m)	c_2 (m)	c_3 (m)	m_0 (m)	Oran(%)
1	37	31	12406.689	7441.042	11143.120	-18257.713	±6.66	99.87
2	37	32	-5007.122	-3176.247	-4548.832	7475.918	±4.16	99.97
3	37	34	4534.629	3098.918	4157.177	-6886.497	±7.02	99.60
4	37	35	35867.189	25447.689	34277.574	-55752.095	±7.94	99.02
5	40	40	-20081.754	-16937.807	-22322.511	34475.950	±8.59	99.72
6	40	41	18312.221	16075.797	20775.454	-32017.113	±9.12	97.04

4.1. Yerel SYM ile SRTM1 Doğruluk Analizi

Tablo 2'de verilen 6 dosya için datum dönüşümü yapılmıştır. Dönüşüm dengelemeli olarak yapılmış, iki farklı datumdaki noktaların yükseklik farkları SRTM'nin global doğruluğunun ($\sigma = 16$ m) üç katının altında ise dengelemeye dahil edilmiştir. Bu değer 50 m alınmıştır. Farklar 50 m'den fazla ise ilgili noktalar kaba hatalı olarak değerlendirilmiştir. Tablo 3'de dönüşüm katsayıları

ve ortalama hataları, dengelemeye alınan noktaların oranı verilmiştir. Tablo 4'te ise farkların sınır değerleri görülmektedir.

Dönüşüm ortalama hata değerleri global doğruluk değerinin altındadır. 3σ dışında kalan noktaların oldukça az olduğu da dikkat çekmektedir. SYM 6'da diğerlerine göre daha fazla noktanın elimine olmasının nedeni SYM 5 ve 6'da veri boşluklarının olmasıdır. Göreceli olarak SYM 6 daha fazla boşluk içermektedir. SRTM'de veri

boşlukları -32768 değeri ile (yükseklik) temsil edilir.

Tablo 4. Yerel SYM-SRTM1 arası en büyük ve en küçük farklar (m)

SYM No	ΔH_{max}	ΔH_{min}
1	253	-272
2	209	-156
3	389	-247
4	422	-589
5	126	-110
6	221	-221

Tablo 5. Yerel SYM-SRTM1 doğrudan karşılaştırma istatistikleri (m)

SYM No	m	s	$\Delta \bar{H}$
1	± 7.09	± 5.02	2.36
2	± 4.95	± 3.82	2.68
3	± 7.17	± 4.88	1.47
4	± 8.92	± 6.12	3.36
5	± 9.16	± 6.63	3.07
6	± 9.89	± 7.37	3.79

Tablo 6. DGNSS izleri SRTM1 doğrudan karşılaştırma istatistikleri

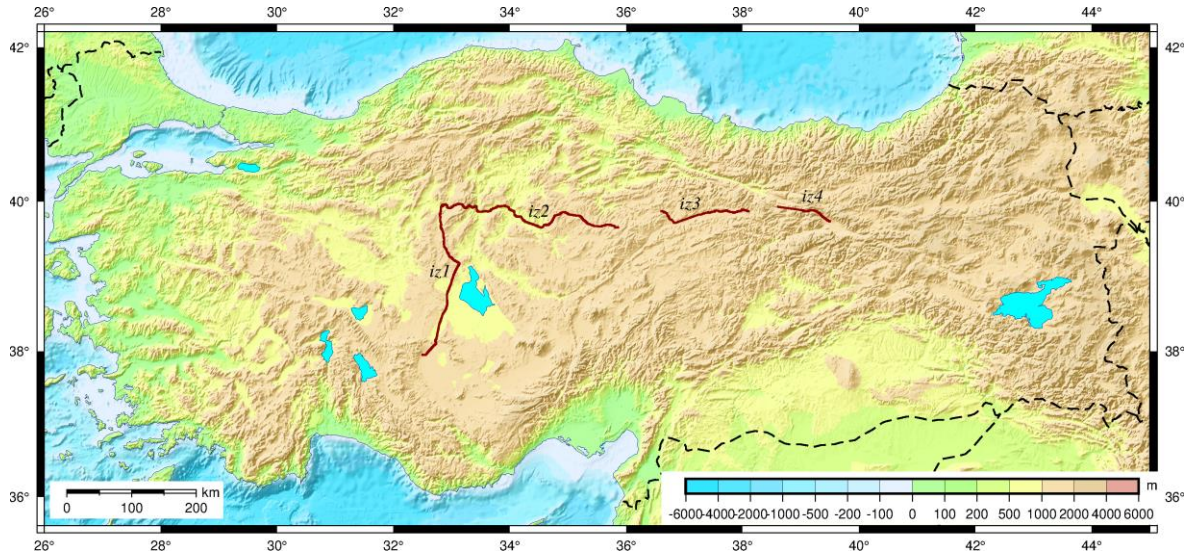
İz	m (m)	s (m)	$\Delta \bar{H}$ (m)	Nokta Sayısı
1	± 6.09	± 4.35	2.09	5744
2	± 5.00	± 4.06	3.92	8650
3	± 5.25	± 4.70	4.49	2574
4	± 7.59	± 6.04	5.68	1485

Datum farklılığının az olması düşüncesinden hareketle doğrudan yükseklik karşılaştırması da yapılmıştır. (Bkz. (5) eşitlikleri). Burada da $3\sigma = 50$ m üstü farklar hesaba katılmamıştır. Sonuçlar Tablo 5'te görülmektedir. Bu şekilde elde edilen karesel ortalama hata değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. $\Delta \bar{H}$ değerleri ortalama datum farklılığına işaret etmektedir.

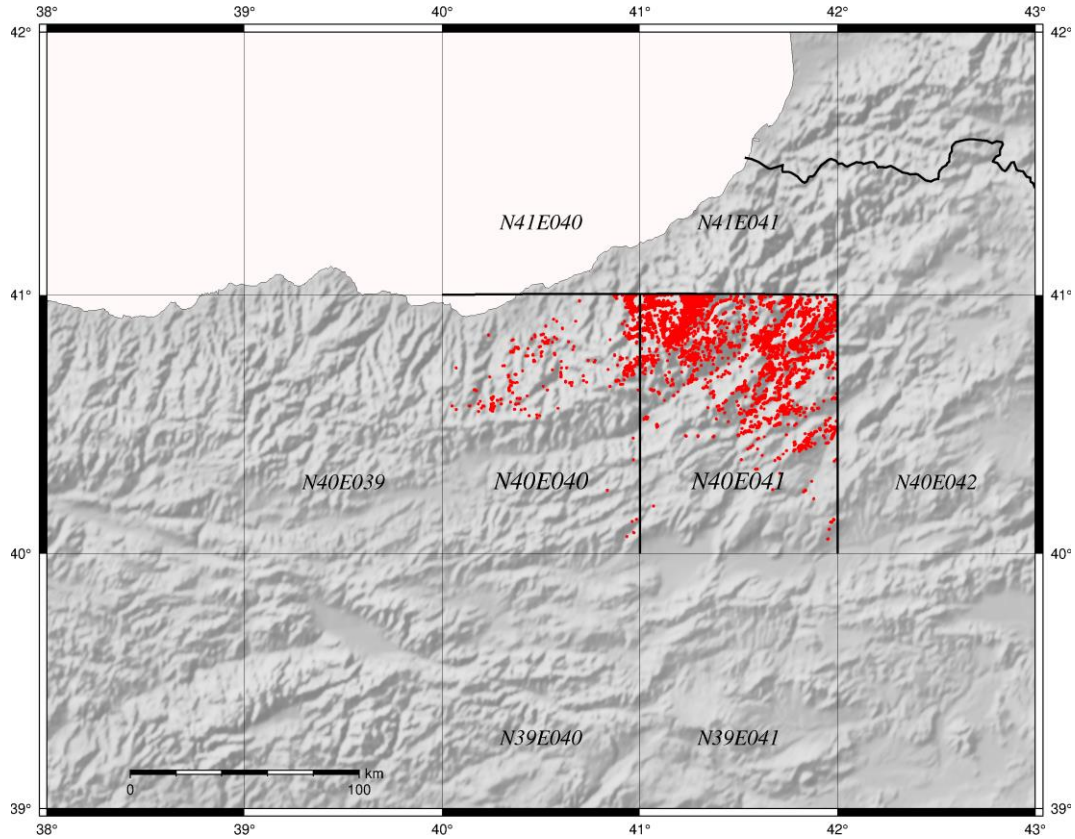
SRTM1'in yerel SYM'den 2-3 m arası daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu datum farkı global doğruluğun oldukça altındadır.

4.2. DGNSS İzleri ile Doğruluk Araştırması

Global SYM'lerde doğruluk araştırması belli güzergâhlar boyunca toplanmış izler (bir dizi nokta koordinatı) ile yapılabilir. Bildirici vd. (2008) DGNSS cihazı ile uzun izler toplayarak SRTM3 verilerini analiz etmiştir. Bu verilerden seçilen 4 iz SRTM1 ile karşılaştırılmıştır. Veriler araç ile toplandığından ortalama anten yüksekliği 1.5 m kabul edilerek tüm yüksekliklerden çıkartılmıştır.



Şekil 2. Proje kapsamında kullanılan DGNSS izleri



Şekil 3. Boşlukları doldurulan paftalar ve komşu paftalar (Boşluklar kırmızı noktalar ile gösterilmiştir.)

DGNSS verileri daha doğru olarak kabul edilmiş, $H_{SRTM1} - H_{DGNSS}$ farkları istatistiksel olarak analiz edilmiştir. DGNSS cihazlarının oluşturduğu NMEA standardı (NMEA, 2019) verilerde yükseklikler EGM96 jeoit modeline göre dönüştürülmüş olduğundan düşey datum dönüşümü gerekli değildir. Bu nedenle doğrudan karşılaştırma yapılmıştır (Bkz. (5) eşitlikleri). Burada da farklar 50 m altında ise değerlendirmeye alınmıştır. Karşılaştırma istatistikleri Tablo 6'da yer almaktadır. Tablodaki sonuçlar yerel SYM istatistiklerine yakın olup, yerel SYM sonuçlarını teyit etmiştir.

4.3. Veri Boşlukları

Türkiye'yi kapsayan SRTM1 verileri incelendiğinde N40E040 ve N40E041 paftalarında veri boşlukları olduğu tespit edilmiştir. Veri boşluklarının bir kısmı 41° paraleli üzerinde paftaların kuzey kenarındadır. Bu iki paftanın kuzeyindeki paftaların güney kenarlarında veri boşluğu bulunmamaktadır. Bu, aynı noktaların bir paftada yüksekliği varken diğerinde olmadığı anlamına gelmektedir.

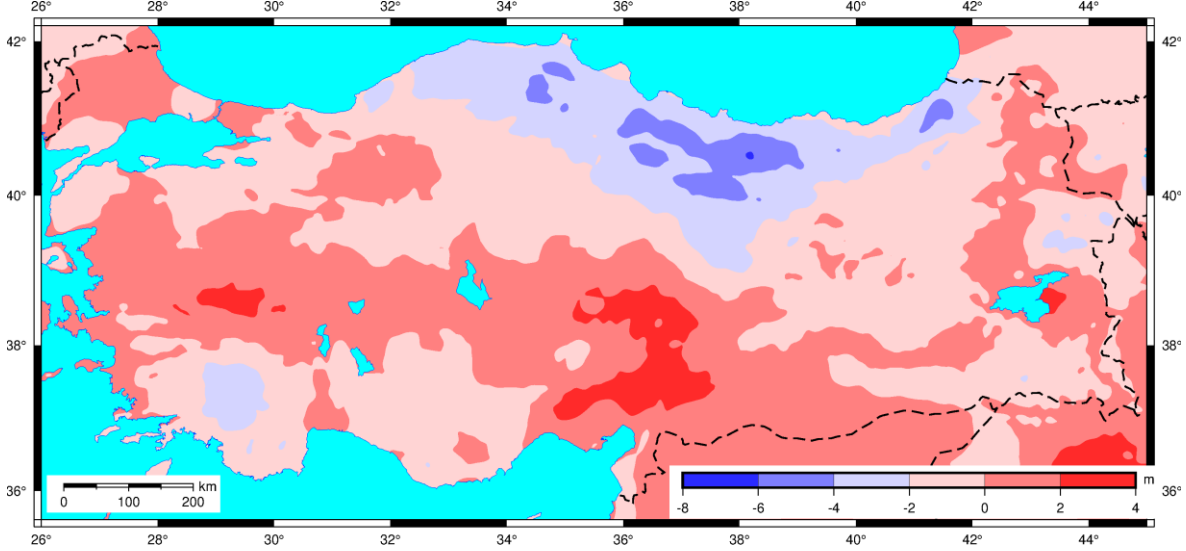
Aynı bölgeye ait DTED2 dosyaları ile yapılan datum dönüşümü parametreleri belirlenmiş olduğundan yüksekliği olmayan noktaların yükseklikleri DTED verilerinden datum dönüşümü yapılarak tamamlanmıştır. N40E040 ve N40E041 dosyaları için datum dönüşümü parametreleri farklı olduğu için iki dosya arasında ve komşu paftalarla

boşluk doldurma nedeniyle kenarlaşma problemleri ortaya çıkabilir. Bu amaçla proje kapsamında yazılım geliştirilerek N40E040 ve N40E041 paftalarına komşu paftalarda kenarlaşma analizi yapılmıştır (Şekil 3). Bu analiz sonucu pafta kenarlarında yüksekliği farklı olan noktalarda iki paftadan alınan yüksekliklerin ortalaması iki paftaya aktarılmıştır. Bu iki pafta ve komşu paftalar arasında yalnızca 4 kenarda uyumsuzluk görülüp, düzeltmeler yapılmıştır. Tablo 7'de pafta kenarlarında yüksekliği aynı olmayan nokta sayısı ve mutlak değer olarak maksimum farklar gösterilmiştir.

Tablo 7'de kenarlaşma farklarının özellikle N41E041 N40E041 paftaları arasında oldukça yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Daha önce de ifade edildiği gibi N41E041 güney kenarında bulunan noktalar N40E041 kuzey kenarında boş durumdadır. Bu bölge boşlukları doldurulmamış SRTM3 verilerinde de Türkiye'de en yoğun boşluk olan bölgedir (Bildirici vd., 2008). Radar gölgesi nedeniyle oluştuğu değerlendirilebilecek boşluklar bölgedeki sıra dağlara paralel çizgiler üzerinde toplanmaktadır. SRTM1'de bu bölgede boşluklar doldurulmuş, ancak iki paftada ilginç bir şekilde boşluklar bırakılmıştır. Bu çalışmada farklar yüksek olmasına rağmen ortalama alınarak kenarlaşma sağlanmıştır. Ancak bu bölgede SRTM verilerinin güvenli olmadığı da bilinmelidir.

Tablo 7. Veri boşlukları doldurulan paftalarda kenarlaşma analizi

Kenar	Kenarlaşmayan nokta	Maksimum fark
N40E040 N40E041	64	43 m
N40E041 N40E042	20	54 m
N41E040 N40E040	29	99 m
N41E041 N40E041	523	241 m

**Şekil 4.** ΔN değerlerinin dağılımı

4.4. Düşey Datumun EGM08'e Dönüşümü

Proje kapsamında oluşturulan boşlukları doldurulmuş veri setinin EGM08 datumuna dönüştürülerek yayınlanmasına karar verilmiştir. Uzaktan algılama teknikleri ile üretilen SYM'lerde ölçülen yükseklik elipsoidal yüksekliktir (h). Coğrafi koordinatlardan hesaplanan jeoit ondülasyonu (N) elipsoidal yükseklikten çıkartılarak ortometrik yüksekliğe (H) geçilir.

$$h = H + N \quad (6)$$

$$h = H_{EGM96} + N_{EGM96}$$

$$h = H_{EGM08} + N_{EGM08}$$

$$H_{EGM08} = H_{EGM96} + N_{EGM96} - N_{EGM08}$$

Buna göre SRTM yüksekliklerine $\Delta N = N_{EGM96} - N_{EGM08}$ toplanarak düşey datum dönüşümü gerçekleştirilir. EGM96'nın çözünürlüğü 30', EGM08'in çözünürlüğü 5' olup, SYM çözünürlüğüne göre çok daha kabardır. Bu çalışmada jeoit değişimi 3' çözünürlükte hesaplanmıştır.

Türkiye ve çevresinde ΔN farkları -6.19 ile 3.68 arasında değişmektedir. Şekil 4'te ΔN değerlerinin Türkiye'de dağılımı görülmektedir.

ΔN değerlerinden oluşan matris/dosya çözünürlüğü SRTM1 çözünürlüğünden düşük olduğundan, iki aşamada EGM08 datumuna geçiş öngörülmüştür:

- ΔN değerleri ile *gmt surface* yazılımı kullanılarak SRTM1 ile aynı çözünürlükte matrisler/dosyalar üretilmesi,
- Bu matrislerin TSYM1 ile toplanarak EGM08 datumuna geçiş yapılması

Bu işlem sonucunda *surface* yazılımı $1^\circ \times 1^\circ$ pafta bazında yüzey oluşturduğundan EGM08'e dönüştürülmüş paftalarda kenarlaşma kontrolleri ve gerekli ise düzeltmeleri yapılması gerekmektedir.

Datum dönüşümünün etkisini görebilmek için yerel SYM ile karşılaştırılmış olan 6 paftada (Tablo 2) EGM08 dönüşümü yapılmış ve bu paftaların tekrar yerel SYM karşılaştırması gerçekleştirilmiştir. Tablo 8'de yerel SYM'den EGM08'e datum dönüşümü sonrası karesel ortalama hatalar ile ΔN değerlerinin sınır değerleri tam sayı olarak görülmektedir. Buradaki datum düzeltmeleri global SYM doğruluğunun (16 m) çok altında olup, bu düzeltmelerin yapılması yerel yüksekliklerle uyum açısından dikkat çeken bir katkı sağlamamıştır. Tablo 8 ve 3 karşılaştırıldığında bu durum açık olarak görülmektedir.

Datum dönüşümü önemli bir katkı sağlamamakla birlikte gerçekleştirilmiş; TSYM1 olarak adlandırılan veriler, kenarlaşma durumları da kontrol edilerek <http://galileo.ktun.edu.tr/tsym1> adresinden yayınlanmaya başlanmıştır.

Tablo 7. Yerel SYM-TSYM1 farklarının karesel ortalama hataları ve ΔN istatistiği (m)

SYM No	m_0	ΔN_{max}	ΔN_{min}	ΔN_{ort}
1	6.66	0	-1	-0.06
2	4.16	0	-1	-0.05
3	7.02	2	-1	0.32
4	7.94	2	-1	1.02
5	8.58	0	-3	-1.44
6	8.99	0	-4	-1.31

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yeryüzü kara parçalarının büyük bölümlerini kapsayan global SYM verilerinden biri olan SRTM1 veri setinin Türkiye'yi içine alan paftaları yerel SYM ve DGNSS izleri ile karşılaştırılmıştır. SRTM1'in doğruluğu $\pm 7-9$ m olarak bulunmuştur. Buna göre Türkiye ve yakın çevresinde SRTM, global doğruluğuna göre daha iyi bir performansa sahiptir. Bu makalede değinilmeyen ancak ilgili projede incelenen ASTER SYM verilerinin doğruluğu ise $\pm 7-12$ m arasındadır. ASTER bu bölgede de Dünya genelindeki performansına sahiptir.

Doğruluk ve çözünürlük açısından 1" çözünürlüklü global sayısal yükseklik modelleri (SRTM ve ASTER) 1:50 000 ölçekli bir topografik harita ile eşdeğer yükseklik bilgisi sunmaktadır. Bu bağlamda bu verilerden 1:50 000 ölçekli topografik harita yapımında yararlanılabilir. Ölçek küçüldükçe çözünürlüğün düşürülmesi gerekir. Bu çalışma kapsamında sunulan şekillerdeki (Şekil 1, 2 ve 3) haritalarda çözünürlük 30" seçilmiştir.

SRTM ve yerel SYM verilerinin elde edilmiş yöntemi nedeniyle karşılaştırılmasının doğru bir yaklaşım olup olmadığı da düşünülebilir. Yöntem gereği SRTM bitki örtüsünün üzerinden, yerel SYM ise zeminden geçen yüzeylerdir. Ancak zeminde toplanan DGNSS izleri ile benzer sonuçlar alınması, karşılaştırmanın düşey datum dönüşümü ile yapılması bitki örtüsünün etkisinin önemsiz düzeyde olduğuna işaret etmektedir.

SRTM verilerinin yerel SYM'ye göre düşey yönde 2-3 m artı yönde bir datum farklılığı görülmüştür. Bu farklılık yukarıda değinilen bitki örtüsü etkisinden kaynaklanabilir. Ancak global doğruluk değerlerine göre küçüktür.

İstatistiksel analiz ve yerel-EGM96 datum dönüşümünün pafta bazında belirlenmesinden sonra SRTM1 verilerinde var olan boşluklar doldurulmuştur. Daha sonra EGM08 datumuna dönüştürülmüş veri seti (Türkiye için) kullanıma sunulmuştur.

TEŞEKKÜR

Yazarlar proje desteği nedeniyle Selçuk Üniversitesi BAP koordinatörlüğüne teşekkür eder.

KAYNAKÇA

- Abbak, R. A. (2014). Effect of ASTER DEM on the prediction of mean gravity anomalies: a case study over the Auvergne test region. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 49(4):491-502.
- Bildirici, İ.Ö., ve Abbak, R. A. (2019). 1 Yay Saniyesi Çözünürlüklü Türkiye Sayısal Yükseklik Modelinin Oluşturulması ve Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü 17401083 Numaralı Proje Raporu.
- Bildirici, İ. Ö., Üstun, A., Uluğtekin, N. N., Selvi, H. Z., Abbak, R. A., Buğdaycı, İ, ve Doğru, A. Ö. (2008). Yerel Yükseklik Bilgileriyle Desteklenmiş SRTM Verileri Kullanılarak Türkiye için 3x3 Çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modelinin Oluşturulması, Tübitak 106Y130 Proje Raporu.
- GDAL (2018). GDAL - Geospatial Data Abstraction Library . <https://www.gdal.org/>. Giriş: 01.10.2018.
- GMT (2018). The Generic Mapping Tools. <https://www.soest.hawaii.edu/gmt>. Giriş: 01.10.2018.
- HGM (2018). Sayısal Arazi Modeli 2'nci Düzey DTED. <https://www.harita.gov.tr>. Giriş: 01.10.2018.
- JPL (2018). Shuttle radar topography mission. <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Giriş: 18.1.2018.
- LPDAAC (2018). Routine aster global digital elevation model. https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/aster/aster_products_table/astgtm. Giriş: 01.10.2018.
- Luana, S., Hou, X., ve Wang, Y. (2015). Assessing the Accuracy of SRTM DEM and ASTER GDEM Datasets for the Coastal Zone of Shandong Province, Eastern China. *Polish Maritime Research*, 22(s1):15-20.
- NMEA (2019). NMEA 0183 Standard New Version 4.11. https://www.nmea.org/content/nmea_standards/v411.asp. Giriş: 06.02.2019.
- Pipaud, I., Loibl, D., ve Lehmkuhl, F. (2015). Evaluation of TanDEM-X elevation data for geomorphological mapping and interpretation in high mountain environments | A case study from SE Tibet, China. *Geomorphology*, 246:232-254.
- USGS (2018). Earth explorer. <https://earthexplorer.usgs.gov>. Giriş: 18.1.2018.

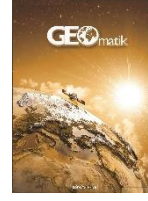
- Ustun, A., Abbak, R. A., ve Zeray Öztürk, E. (2018). Height biases of SRTM DEM related to EGM96: from a global perspective to regional practice. *Survey Review*, 50(358):26-35.
- White, K., Bullard, J., Livingstone, I., ve Moran, L. (2015). A morphometric comparison of the Namib and southwest Kalahari dunefields using ASTER GDEM data. *Aeolian Research*, 19:87-95.



GEOMATİK

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

e-ISSN 2564-6761



CenterPoint RTX Teknolojisinin Tekrarlanabilirliğinin Araştırılması

Veli İlçi*

Hitit Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Çorum, Türkiye

Anahtar Kelimeler

GNSS
CenterPoint RTX
Konum belirleme

ÖZ

Günümüzde IGS gibi uydu sistemlerine ait yörünge ve zaman düzeltme verilerini tüm GNSS kullanıcılarının hizmetine sunan servisler sayesinde yeni küresel konum belirleme algoritma, teknik ve teknolojileri ortaya çıkmaktadır. Bu çözümler mevcut konum belirleme tekniklerinin dezavantajlarını gidermek ve kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla geliştirilmektedir. Söz konusu yenilikçi teknoloji ürünlerinden biri de CenterPoint Real Time eXtended (RTX) teknolojisidir. CenterPoint RTX teknolojisi yüksek doğruluklu konum ve yükseklik bilgisini gerçek zamanlı olarak küresel ölçekte kullanıcılarına sağlamayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada CenterPoint RTX teknolojisinin sağladığı üç boyutlu koordinat bilgisinin doğruluğu ve tekrarlanabilirliği araştırılmaktadır. Belirlenen 120 km'lik bir güzergâh boyunca 20'şer km aralıklarla 7 test noktası tesis edilmiştir. Test noktalarında 2 farklı ölçme serisinde birer saniye ölçüm aralığında 75 dakika süresince GNSS gözlemleri gerçekleştirilmiştir. CenterPoint RTX teknolojisinin sağladığı anlık koordinat verileri noktaların referans koordinatlarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 1. ölçüm serisinde ortalama 2 cm konum ve 3 cm yükseklik doğruluğu elde edilirken, 2. ölçüm serisinde ortalama 2 cm konum ve 4 cm yükseklik doğruluğu elde edilmiştir. Ancak bu doğrulukların elde edilmesi için 50 dk'lık yakınsama süresine ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir.

Investigation of the Repeatability on CenterPoint RTX Technology

Keywords

GNSS
CenterPoint RTX
Positioning

ABSTRACT

Currently, new global positioning algorithms, techniques, and technologies are emerging thanks to services such as IGS that provide satellite orbit and time correction data for the entire GNSS community. These solutions are being developed to address the disadvantages of existing positioning techniques and to meet the needs of users. One of the most innovative technologies is CenterPoint Real Time eXtended (RTX) technology. CenterPoint RTX technology aims to provide users high accuracy position and height information on a global scale, in real time. In this study, the accuracy and repeatability of three-dimensional coordinate information provided by CenterPoint RTX technology are investigated. Seven test points have been installed along a 120 km long route, set at 20 km intervals. GNSS observations were performed at the test points for 75 minutes in one-second intervals in two differing measurement series. The real-time information provided by CenterPoint RTX technology was compared to the known coordinates of the points. According to the results obtained in the first measurement series, 2 cm position and 3 cm height accuracy was obtained, while in the 2nd measurement series 2 cm position and 4 cm height accuracy were obtained, on average. However, it was determined that a 50 min convergence time is needed to achieve these accuracies.

*Sorumlu Yazar

Kaynak Göster (APA)

(veliilci@hitit.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 9485 – 874X İLÇİ, V. (2020). CenterPoint RTX Teknolojisinin Doğruluk ve Tekrarlanabilirliğinin Araştırılması. Geomatik, 5 (1), 10-18. DOI: 10.29128/geomatik.560026
Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik/issue/48883/560026>

1. GİRİŞ

Her geçen gün gelişmekte olan uydu tabanlı konum belirleme ve sensör teknolojileri kullanıcıların ihtiyaç ve beklentilerini karşılamayı amaçlamaktadır. Sürdürülmekte olan bu çalışmalar cm seviyesinde doğruluk sağlayan, gerçek zamanlı ve olabildiğince ekonomik çözüm üretme üzerine odaklanmaktadır. Mevcut çözümlerin kullanıcıların tüm gereksinimlerini karşılayamamış olmaları sebebiyle, günümüzde hala yeni algoritma, teknik ve teknolojiler üzerine çalışmalar devam etmektedir.

Günümüzde klasik gerçek zamanlı kinematik (RTK) veya ağ-RTK teknikleri birkaç saniyelik yakınsama süresinde kullanıcılara cm seviyesinde, üç boyutlu ve gerçek zamanlı çözüm sunabilmeleri sebebiyle yoğun şekilde kullanılmaktadırlar. Klasik RTK tekniği referans ve gezen alıcı olmak üzere en az iki GNSS alıcısı kullanımı gerektirmektedir (Li, Feng, Shen, & Wang, 2010). Ayrıca, uydu yörünge hataları ve atmosferik hatalar sebebiyle bu iki alıcı arasındaki mesafe yaklaşık 20 km ile sınırlı kalmaktadır (Lambrou & Kanellopoulos, 2018; Li et al., 2010). Veri iletiminde radyo bağlantısı veya internet erişimine ihtiyaç duyması da bu yöntemin diğer önemli dezavantajlarından. Ağ-RTK tekniğinde ise atmosferik ve yörüngesel hatalar tüm ağ için hesaplanmakta ve düzeltme verileri ağ kullanıcılarına GSM hattı yoluyla iletilmektedir (Aponte, Meng, Burbidge, & Kingdom, 2008). Bu teknik kullanıcılara tek bir GNSS alıcısıyla çözüm sağlaması sebebiyle klasik RTK tekniğine kıyasla daha ekonomik çözüm sunmaktadır. Ancak, mevcut sistemin altyapı kurulum maliyetinin çok yüksek olması (Eissfeller, 2012), bazı sistemlerde kullanıcıların servis hizmeti alabilmesi için belirli bir ücret ödemek zorunda olması, tekniğin GSM hattına bağımlılığı (Alkan, Ozulu, & İlçi, 2017) ve kullanımın ağ ile sınırlı olması dolayısıyla küresel ölçekte çözüm sunamaması (Hutton et al., 2016) bu tekniğin dezavantajlarıdır.

RTK tekniklerinin bu dezavantajları araştırmacıları yeni çözümler bulmaya yönlendirmektedir. Bu amaçla Trimble firması tarafından geliştirilen Real Time RTX (URL1) teknolojisi ve NAVCOM firması tarafından geliştirilen STARFIRE (URL2) teknolojileri ortaya çıkmıştır. Bu teknolojiler dünya üzerinde farklı noktalara yerleştirilmiş olan yer istasyonları yardımıyla GNSS uydularının yörünge ve zaman düzeltmelerini hesaplamakta ve sabit (geostationary) uydular aracılığıyla kullanıcılara düzeltme bilgilerini iletirken kullanıcıların cm seviyesinde ve üç boyutlu çözüm elde etmelerini sağlamaktadırlar. Kullanıcılarına küresel çözüm sunan bu yenilikçi teknolojiler RTK tekniklerinin bazı dezavantajlarını ortadan kaldırmaları sebebiyle onlara önemli birer alternatif olarak karşımıza çıkmaktadırlar.

Kuzey Amerika, Avrupa ve Uzak Doğu'daki değişik bölgelerde CenterPoint RTX teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiş olan sınırlı sayıdaki

akademik çalışmalarda (Chen et al., 2011; Glocker et al., 2012; Krzyżek, 2013; Leandro et al., 2012; Nardo et al., 2015) bu teknolojinin performansı ve gerçek zamanlı konum belirleme tekniklerine alternatif olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu çalışmada ise ülkemizde yaklaşık 120 km'lik bir hat üzerinde 20'şer km aralıklarla tesis edilmiş 7 noktada iki farklı tarihte 75'er dakika boyunca RTX düzeltme verisi toplanmış ve bu veri test noktalarının referans konumlarıyla karşılaştırılmıştır. Böylelikle CenterPoint RTX teknolojisinin yatay ve yükseklik konum doğruluğu ve tekrarlanabilirliği belirlenmeye çalışılmıştır.

2. YÖNTEM

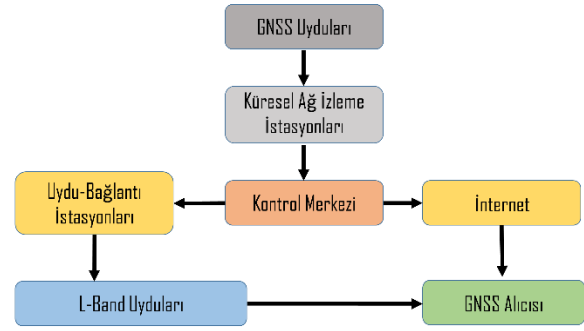
2.1. Centerpoint RTX Teknolojisi

Trimble firması tarafından 2011 yılında geliştirilen CenterPoint RTX teknolojisi 2012 yılında GNSS kullanıcıları tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Dünya üzerinde farklı bölgelerde bulunan 100 adet gözlem ağı istasyonları tarafından toplanan GNSS verileri internet yoluyla operasyon merkezlerine aktarılmaktadır (Doucet et al., 2012; Siejka, 2014). Bu merkezlerde hassas uydu konum, saat ve hız kestirimleri, atmosferik veriler, taşıyıcı faz tamsayı belirsizlikleri ve yer dönme parametreleri vb. belirlenmektedir (Glocker, Landau, Leandro, & Nitschke, 2012; Krzyżek, 2013). Elde edilen veriler kullanılarak hassas uydu yörünge, saat ve gözlem hataları gerçek zamanlı olarak elde edilmektedir (Hutton et al., 2016; Leandro et al., 2012). Düzeltme verileri CMRx mesaj formatında altı geostationary Sky Terra uyduları veya internet yoluyla GNSS alıcılara iletilmektedir (Brandl et al., 2014). Düzeltme verisinin uydu yoluyla iletilmesi durumunda gezen alıcı düzeltme verisini L-band yoluyla alır ve konumunu gerçek zamanlı olarak hesaplar (Chen et al., 2011). Veri iletiminin doğrudan uydu vasıtasıyla yapılması durumunda internet ihtiyacı ortadan kalkmaktadır. Veri iletiminin internet yoluyla iletilmesi durumunda ise kullanıcı konumunu yine gerçek zamanlı olarak belirleyebilmektedir, ancak bu yöntemin internete bağımlılığı kısıtlayıcı bir etken olarak görülebilmektedir. Bu teknoloji düzeltme verilerinin kullanılabilmesi için GNSS alıcısının bu düzeltme verisini çözebilecek teknolojiye sahip olması ve sistem üyeliğinin bulunması gerekmektedir. Sonuçta kullanıcı International Terrestrial Reference Frame (ITRF) 2008 veya 2014 datum, 2005.0 epogunda üç boyutlu konum bilgisini elde etmiş olur. CenterPoint RTX teknolojisi genel çalışma prensibi Şekil 1'de özetlenmiştir.

Dünyanın her yerinde kullanılabilen CenterPoint RTX teknolojisi belirsizlikleri çözebilmesi ve cm seviyesinde konum doğruluğu sağlayabilmesi için belirli bir yakınsama süresine ihtiyaç duymaktadır. Bu yakınsama süresi ve elde edilecek doğruluk GNSS alıcı ve antenin özellikleri, çevresel özellikler, atmosferik koşullar, uydu sayısı

ve dağılımını, multipath düzeyi gibi bazı koşullara bağlı olarak değişebilmektedir. Multipath etkisi düzeltme verilerinin bölgesel ve küresel ölçekte hesaplanıyor olması sebebiyle önemli ölçüde giderilebilmektedir. Yüksek doğruluk ve düşük yakınsama süresinin elde edilmesinde GPS, GLONASS, Galileo, Beidou ve QZSS uydu sistemlerinin kullanılması ve geliştirilmiş olan iyonosfer düzeltme modelleri önemli katkı sağlamaktadır (Nardo et al., 2015). Referans GNSS istasyonu ve radyo bağlantısı gerektirmeyen bu sistem 200 saniyeye kadar veri kesintilerinde bile kullanıcılarına veri sağlamaya devam edebilmektedir. Avrupa ve Amerika'nın bazı kısımlarında bulunan bölgesel destek ağları ile yüksek doğruluklar daha düşük yakınsama süresinde elde edilebilmektedir.

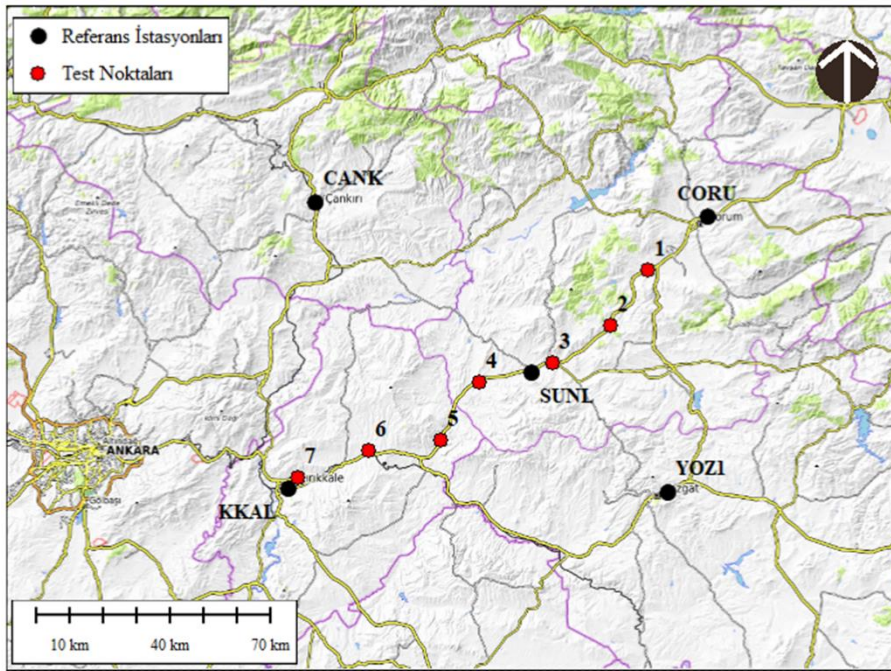
Sonuçta CenterPoint RTX teknolojisi kullanıcılara referans istasyonu gerektirmeden (Carballido, Perez-Ruiz, Emmi, & Agüera, 2014), cm seviyesinde, üç boyutlu ve gerçek zamanlı konum bilgisini sağlamaktadır (İlçi, 2019).



Şekil 1. CenterPoint RTX Teknolojisi Genel Çalışma Prensi (URL1)

2.2. Çalışma Alanı

Bu çalışma Çorum ve Kırıkkale illerini kapsayan yaklaşık 120 km uzunluğundaki bir güzergâh boyunca gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de görüleceği üzere test noktaları kırmızı renk, çözümde kullanılan TUSAGA-Aktif referans istasyon noktaları ise siyah renk ile gösterilmiştir. Test noktaları Çorum – Kırıkkale istikametinde 20'şer kilometre aralıklarla seçilmiştir ve 1'den 7'ye kadar numaralandırılmıştır. Bu güzergâh ulaşımın kolaylığı sağlaması ve düz bir hat olması sebepleriyle seçilmiştir.



Şekil 2. Çalışma Alanı, Test Noktaları (kırmızı), Referans İstasyonları (siyah)

2.3. Veri Toplama ve Değerlendirme

Tüm test noktalarında GNSS gözlemleri çift frekanslı Trimble R10 alıcısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilecek yatay ve yükseklik konum doğruluk değerlerinin tekrarlanabilirliğinin belirlenmesi amacıyla ölçümler 24 Mayıs 2018 (Seri-1) ve 2 Haziran 2018 (Seri-2) tarihlerinde iki seri şeklinde gerçekleştirilmiştir. GNSS alıcısının test noktaları üzerine hassas bir şekilde konumlandırılması sonrasında RTX düzeltme

verisinin yakınsama süresinin olabildiğince doğru belirlenebilmesi amacıyla alıcılar öncelikle RTX sistemine bağlanmış ve sonrasında ise statik GNSS verisi toplanmaya başlanmıştır. RTX düzeltmeleri 1 sn veri toplama aralığında 75 dakika süresince doğrudan uydu üzerinden alınacak şekilde ayarlanmıştır. Statik GNSS verileri ise test noktalarının referans yatay ve yükseklik konumlarının doğru ve hassas belirlenebilmesi amacıyla 1 sn veri toplama aralığında minimum 100 dakika süresince toplanmıştır. Bu süre TUSAGA-

Aktif referans istasyonlarının test noktalarına olan mesafeleri, geometrik dağılımları ve sayıları dikkate alınarak belirlenmiştir. Ölçümlerde uydu yükseklik açısı 10 derece olarak seçilmiş ve GPS, GLONASS, GALILEO ve BEIDOU uydu sistemlerinin verileri toplanmıştır. Her ölçüm noktasında GNSS alıcısı tamamen kapatıldıktan sonra yeniden başlatılarak (cold-start) bu işlemler tekrarlanmıştır.

Test noktalarının üç boyutlu referans yatay ve yükseklik konum bilgileri statik GNSS verilerinin NovAtel firması tarafından geliştirilen GrafNet statik ağ dengeleme yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. CORU, SUNL, YOZ1, CANK ve KKAL referans istasyonlarının ölçüm günlerine ait 1 saniyelik GNSS verileri TUSAGA-Aktif'in ilgili web-arayüzü kullanılarak elde edilmiştir (URL3). Referans verileri olarak GPS ve GLONASS uydu takım verilerinin desteklediği TUSAGA-Aktif istasyon verilerinin kullanılmış olması sebebiyle referans koordinat verilerinin elde edilmesinde sadece GPS ve GLONASS uydu sistemlerinin verileri kullanılmıştır. Ölçüm günlerine ait uydu final efemeris bilgileri ise IGS servisinin ilgili web-arayüzünden elde edilmiştir (URL4). Test noktaları yakınındaki 3 veya 4 referans noktalarına ait veriler kullanılarak ağ-dengelemesi ile test noktalarının referans yatay ve yükseklik konumları elde edilmiştir. CenterPoint RTX sisteminden elde edilen gerçek zamanlı konum bilgileri noktaların referans yatay ve yükseklik konum bilgileri ile karşılaştırılarak CenterPoint RTX teknolojisinin yakınsama süreleri ve konum doğrulukları belirlenmiştir. CenterPoint RTX teknolojisi ölçüm noktalarına ait konum verilerini gerçek zamanlı olarak enlem, boylam ve elipsoidal yükseklik verilerinin yanı sıra kullanıcı tarafından tanımlanan bilgiler doğrultusunda yine gerçek zamanlı olarak sağa, yukarı ve yükseklik şeklinde de sağlamaktadır. Bu çalışmada test noktalarına ait referans ve CenterPoint RTX yatay konum doğrulukları kuzey ve doğu farklarından, yükseklik konum doğrulukları ise elipsoit yükseklikler arasındaki farklardan elde edilmiştir. Ayrıca, CenterPoint RTX verileri ITRF 2008, 2005.0 epoğunda elde edilmiştir. Dolayısıyla TUSAGA-Aktif referans istasyonları kullanılarak elde edilen referans koordinatlar ITRF96, 2005 epoğundan gerekli dönüşüm ve epok kaydırma işlemleri yapılarak ITRF 2008, 2005.0 epoğunda hesaplanmış ve karşılaştırmalar bu datum ve epokta yapılmıştır (URL5).

3. BULGULAR

Trimble RTX teknolojisinin sağlamış olduğu verilerin analizi iki kısımda gerçekleştirilmiştir. Bölüm 3.1 'de ölçümlerin ilk 50 dk'lık kısmı yakınsama süresinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Sonraki 25 dk'lık kısmı ise Bölüm 3.2'de yatay ve yükseklik konum hatalarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır.

3.1. Yakınsama Süresi

Trimble RTX teknolojisini kullanılarak elde edilecek yatay ve yükseklik konum doğrulukların cm seviyesinde belirlenebilmesi amacıyla GNSS alıcısının çalışmaya başlaması sonrasında yakınsama süresi denilen belirli bir sürenin geçmesi gerekmektedir.

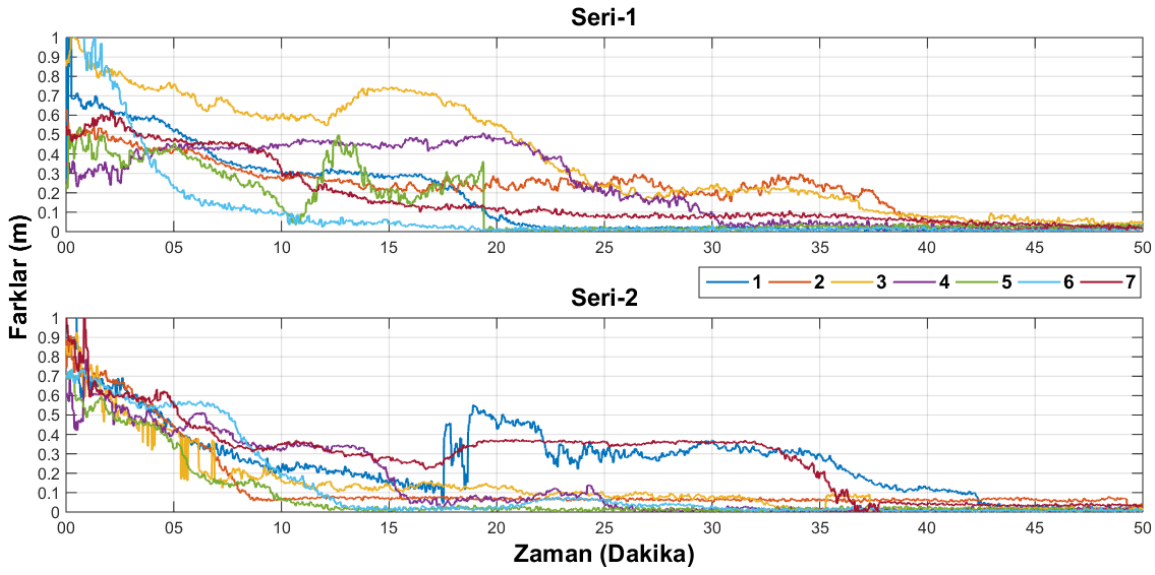
Şekil 3'de GNSS alıcısının veri toplamaya başladığı ilk andan itibaren test noktalarının referans yatay konum değeri ile RTX teknolojisi kullanılarak gerçek zamanlı olarak elde edilen yatay konum değerleri arasındaki fark değerleri görülmektedir. Seri-1 ve Seri-2'deki yatay konum fark değerlerinin 30 cm ila 1 metre arasında başladığı görülmektedir. Bazı noktalarda yaklaşık 10 dk sonra bazı test noktalarında cm seviyesinde yatay konum doğruluğu elde edilebilmektedir. Seri-1'de 40 dk sonrasında tüm test noktalarında cm seviyesinde yatay konum doğrulukları elde edildiği görülürken, Seri 2'de aynı sürede 6 numaralı test noktası haricinde cm seviyesinde yatay konum doğrulukları elde edilmiştir. 6 numaralı noktada ise yaklaşık 43. dk'da cm seviyesinde doğruluk elde edilmiştir.

Şekil 4'de referans yükseklikler ile RTX servisinden alınan yükseklik konum farkları verilmektedir. Fark değerlerinin başlangıçta metre seviyesinde olduğu, bazı noktalarda 10-15 dakika süresinde cm seviyesine indiği ve Seri-2 deki iki numaralı nokta haricinde tüm noktalarda cm seviyesinde yükseklik konum doğruluklarının elde edildiği, 2 numaralı test noktasında ise 49. dakikada cm seviyesinde yükseklik konum doğruluk değerlerinin elde edildiği görülmektedir.

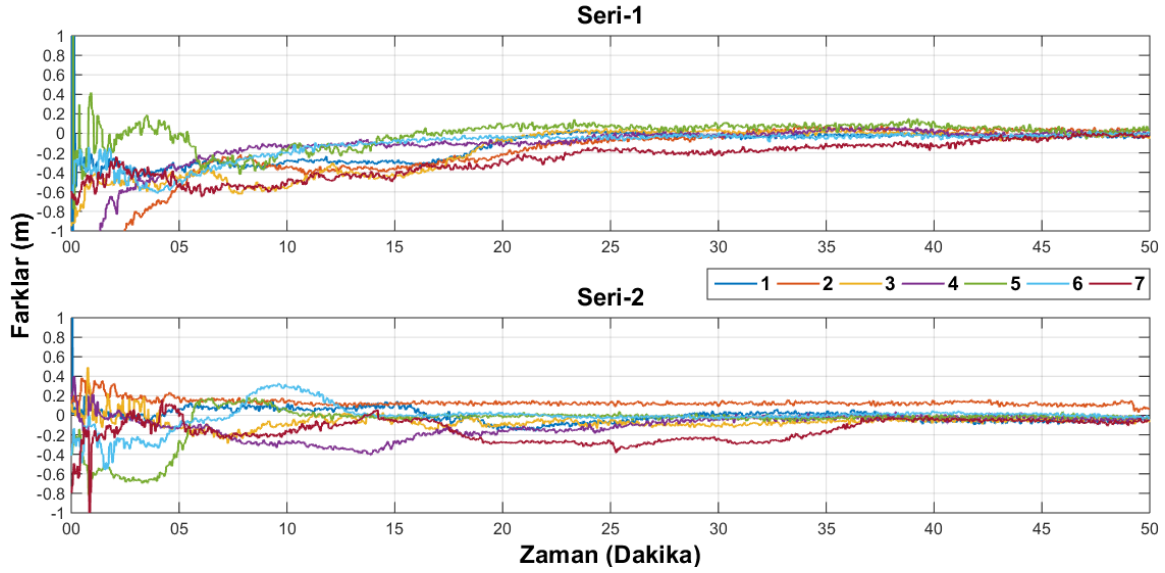
3.2. Yatay ve Yükseklik Konum Doğruluğu

Bu bölümde ölçümlerin 50-75 dk arasındaki (yakınsama süresi sonrasında) fark değerleri incelenmektedir. Şekil 5'de yatay konum farklarının yüzdelerle dağılımlarını belirlemek amacıyla kümülatif dağılım fonksiyonu kullanılmıştır. Seri-1 ve Seri 2'de yatay konum doğruluklarının 1'er test noktaları haricinde %95 üzerinde bir olasılıkla 4 cm ve daha iyi olarak elde edildiği görülmektedir. Seri-1'deki 3 numaralı test noktasında ise verilerin %70'inin 4 cm ve daha iyi sonuç vermiş iken tamamının ise 10 cm ve daha yüksek yatay konum doğrulukları sağladığı görülmektedir. Seri-2'de ise 2 numaralı noktada sonuçların %80'i 4 cm ve daha iyi, tamamı ise 7 cm ve daha yüksek yatay konum doğruluğu vermektedir.

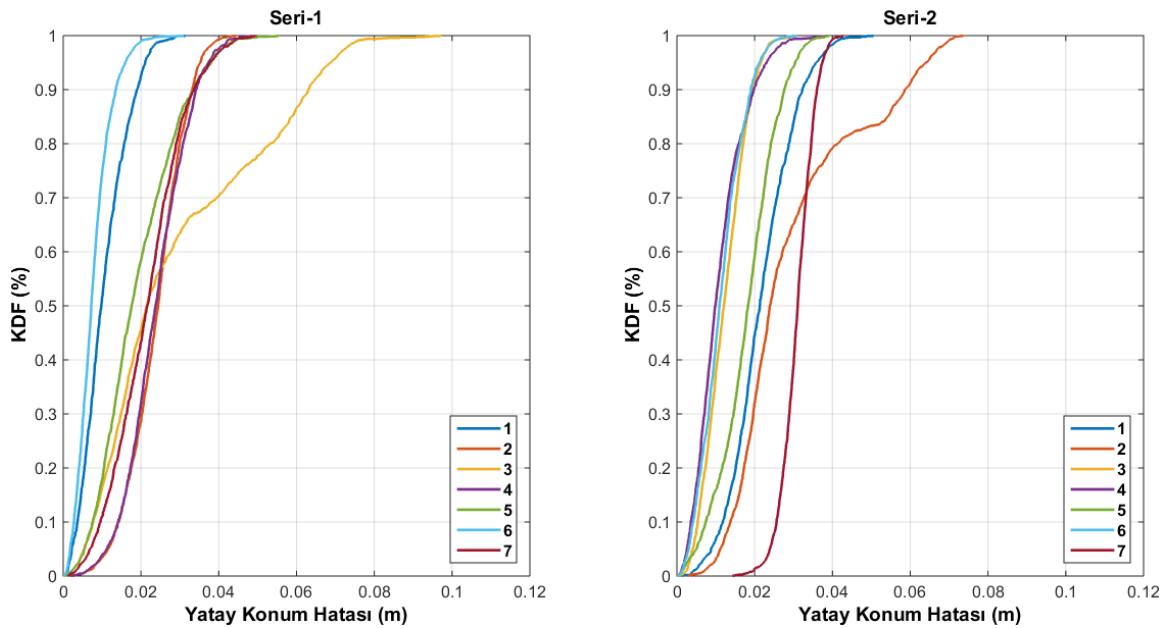
Yükseklik konum farklarının yüzdelerle dağılımları ise Şekil 6'da verilmektedir. Her iki seri göz önüne alındığında yükseklik konum fark değerlerinin tamamının bazı test noktalarında 6 cm ve daha iyi, bazı test noktalarında ise 12 cm ve daha iyi değerler aldığı görülmektedir.



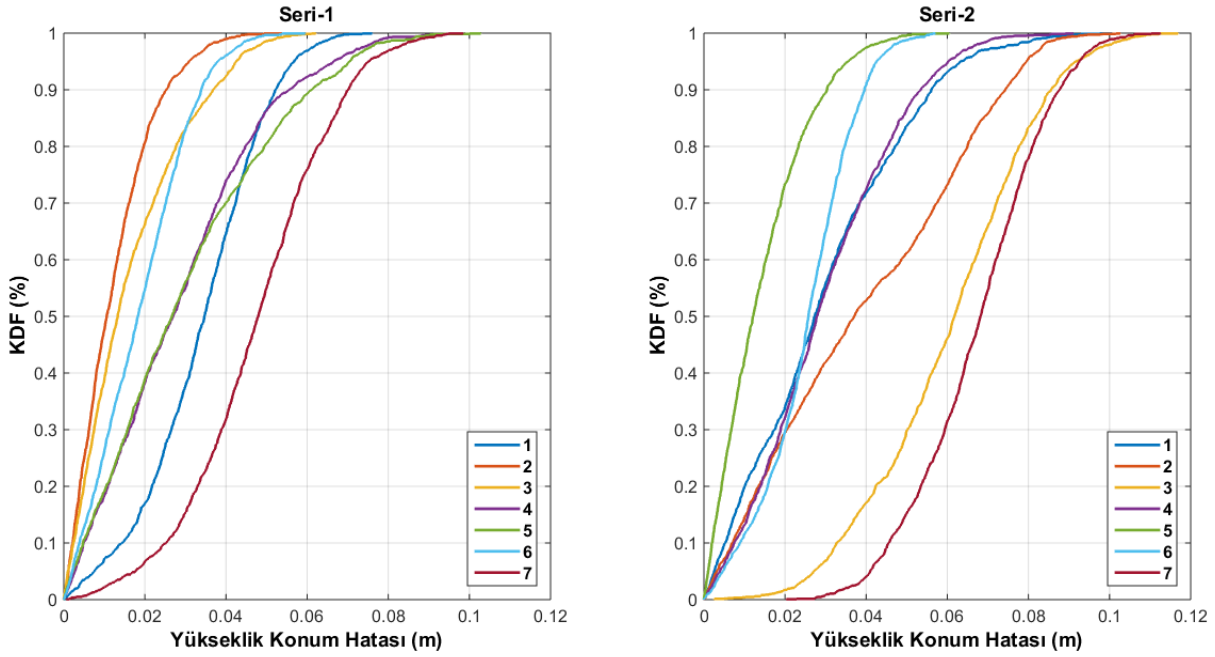
Şekil 3. RTX Teknolojisi Yakınsama Süresi (Yatay Konum Hatası)



Şekil 4. RTX Teknolojisi Yakınsama Süresi (Yükseklik Konum Hatası)



Şekil 5. Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (Yatay Konum Hatası)



Şekil 6. Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (Yükseklik Konum Hatası)

Şekil 7’de yine 50 dakikalık yakınsama süresi sonrası için elde edilen yatay konum fark değerlerinin ortalamaları gösterilmektedir. Seri 1 ve Seri 2’deki yatay konum ortalama hata değerlerinin 1 ila 3 cm arasında elde edildiği görülmektedir.

Şekil 8’de ise ortalama yükseklik konum hataları verilmektedir. Her iki ölçme serisinde yer alan 7 şer noktadaki yükseklik konum hatalarının 1 ila 7 cm arasında değiştiği görülmektedir.

Ayrıca yakınsama süresi sonrasında elde edilmiş olan yatay ve yükseklik konum doğruluk değerlerine ait standart sapma (std.) ve karesel ortalama hata (RMS – Root Mean Square) verileri Tablo 1’de verilmektedir. Söz konusu istatistik veriler aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmaktadır. X_1, X_2, \dots, X_n verileri için ortalama hata (\bar{x}) ve standart sapma (σ_x);

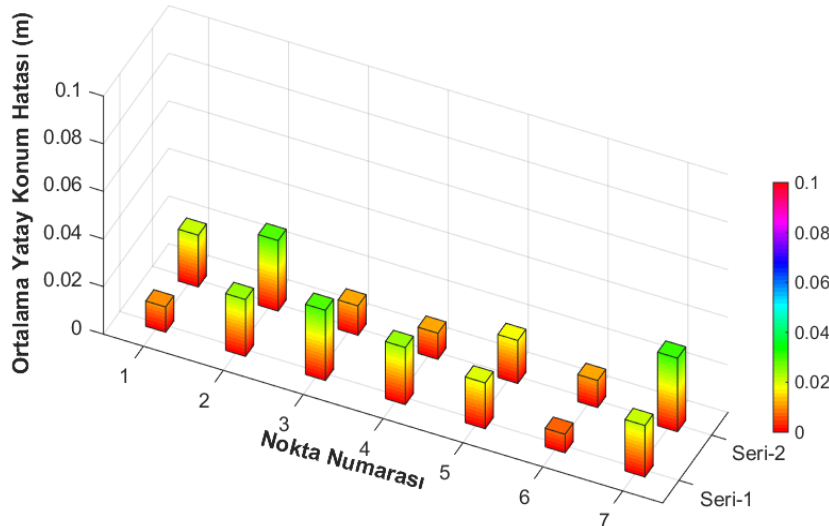
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

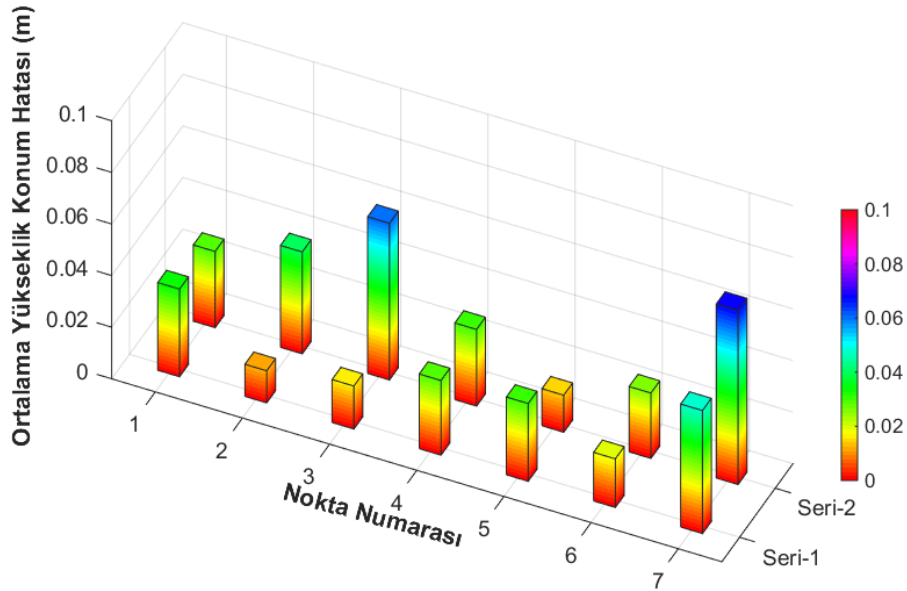
formülleriyle hesaplanmaktadır. Noktaların bilinen konumları $\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n$ olmak üzere karesel ortalama hatalar (RMS) ise;

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2} \quad (3)$$

formülüyle hesaplanmaktadır. Tablo 1’de yer alan veriler değerlendirildiğinde yatay konum doğruluklarına ait standart sapma değerlerinin 0-2 cm aralığında, karesel ortalama hatalarının ise 1-4 cm aralığında olduğu görülmektedir. Yüksek konum doğruluklarına ait standart sapma değerlerinin 1-3 cm, karesel ortalama hata değerlerinin ise 2-7 cm aralığında olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Ortalama Yatay Konum Hatası



Şekil 8. Ortalama Yükseklik Konum Hatası

Tablo 1. Yatay ve Yükseklik Konum Doğruluklarına Ait Standart Sapma (Std.) ve Karesel Ortalama Hata (RMS – Root Mean Square) Verileri

Nokta No	Yatay Konum Doğruluğu (m)				Nokta No	Yükseklik Konum Doğruluğu (m)			
	Seri-1		Seri-2			Seri-1		Seri-2	
	Std.	RMS	Std.	RMS		Std.	RMS	Std.	RMS
1	0.01	0.01	0.01	0.02	1	0.01	0.04	0.02	0.04
2	0.01	0.02	0.02	0.03	2	0.01	0.02	0.03	0.05
3	0.02	0.04	0.01	0.01	3	0.01	0.02	0.02	0.06
4	0.01	0.03	0.01	0.01	4	0.02	0.03	0.02	0.03
5	0.01	0.02	0.01	0.02	5	0.02	0.04	0.01	0.02
6	0.00	0.01	0.01	0.01	6	0.01	0.02	0.01	0.03
7	0.01	0.02	0.00	0.03	7	0.02	0.05	0.02	0.07

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Günümüzde klasik RTK ve ağ-RTK gibi GNSS kullanıcılarına gerçek zamanlı ve üç boyutlu konum bilgisi sağlayan konum belirleme yöntemlerinin mevcut dezavantajlarını giderebilecek yeni teknolojilerden bir tanesi olarak CenterPoint RTX teknolojisi ortaya çıkmaktadır. Bu teknoloji doğrudan uydu aracılığıyla düzeltme verisini alıcıya göndererek tek bir GNSS alıcısıyla konum bilgisi elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

Söz konusu teknolojinin cm seviyesinde yatay ve yükseklik konum bilgisi sağlayabilmesi için yakınsama süresi gerektirmesi bu teknolojinin en önemli dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır. Söz konusu yakınsama süresinin hem yatay hem de yükseklik konum hataları dikkate alındığında 15 ila 50 dakika arasında olduğu görülmektedir. Bu çalışmada belirlenen test noktalarının açık alanlarda tesis edildiği göz önüne alındığında, söz konusu yakınsama sürelerinin kısmen kapalı alanlarda daha da uzayabileceği öngörülebilir. Bu sürelerin ölçümün

başladığı ilk andan itibaren cm seviyesinde doğruluk değerlerini kullanıcılara sağlayan ağ-RTK tekniğine oranla yeterli görülmemeyebilir. Ancak, ağ-RTK yönteminin GSM bağlantısına ihtiyaç duyması dolayısıyla her yerde kullanılamamasına karşın RTX teknolojisi açık gökyüzü koşulunun sağlandığı her alanda kullanılabilir. Ayrıca, RTX sisteminin yer destek sistemleriyle desteklendiği bölgelerde yakınsama sürelerinin daha da kısaldığı bilinmektedir.

50 dakikalık yakınsama süresi sonrasında 1. ölçüm serisinde ortalama 2 cm yatay ve 3 cm yükseklik konum doğruluğu elde edilirken, 2. ölçüm serisinde ise ortalama 2 cm konum ve 4 cm yükseklik konum doğruluğu elde edilmiştir.

Seri 1 ve Seri 2 verileri karşılaştırıldığında yakınsama sürelerinin güvenilir olduğu ve cm seviyesinde yatay ve yükseklik konum doğruluğu sağladığı belirlenmiştir. Bu veriler ışığında CenterPoint RTX teknolojisinin gerçek zamanlı, doğru, güvenilir ve tekrarlanabilir olması ve GSM veya radyo bağlantısı olmadan da çözüm

sunabilmesi sebepleriyle günümüzde sıklıkla kullanılan gerçek zamanlı konum belirleme tekniklere alternatif olabileceği ve kullanımının yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Alkan, R. M., Ozulu, I. M., & İlçi, V. (2017). Performance evaluation of Single Baseline and Network RTK GNSS. *MyCoordinates*, December, 11–15.
- Aponte, J., Meng, X., Burbidge, M., & Kingdom, U. (2008). Performance Assessment of a GPS Network RTK Service Performance Assessment of a GPS Network RTK Service. *Generations Journal Of The American Society On Aging*.
- Brandl, M., Chen, X., Drescher, R., Glocker, M., Landau, H., Nardo, A., ... Zhang, F. (2014). Advancing Trimble RTX Technology by adding BeiDou and Galileo. In *ESA European Navigation Conference (ENC2014)*.
- Carballido, J., Perez-Ruiz, M., Emmi, L., & Agüera, J. (2014). Comparison of Positional Accuracy Between RTK and RTX GNSS Based on the Autonomous Agricultural Vehicles Under Field Conditions. *Applied Engineering in Agriculture*, 30(3), 361–366. <https://doi.org/10.13031/aea.30.10342>
- Chen, X., Allison, T., Cao, W., Ferguson, K., Grünig, S., Gomez, V., ... Talbot, N. (2011). Trimble RTX, an Innovative New Approach for Network RTK. In *24th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation 2011, ION GNSS 2011 (Vol. 3, pp. 2214–2219)*. Portland, OR.
- Doucet, K., Herwig, M., Kipka, A., Kreikenbohm, P., Landau, H., Leandro, R., ... Pagels, C. (2012). Introducing ambiguity resolution in web-hosted global multi-GNSS precise positioning with trimble RTX-PP. *25th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation 2012, ION GNSS 2012, 2*, 1115–1125.
- Eissfeller, B. (2012). Real Time Kinematic and Precise Point Positioning: Status and Trends. *Ger. J., GPS 87*, 131–148.
- Glocker, M., Landau, H., Leandro, R., & Nitschke, M. (2012). Global precise multi-GNSS positioning with trimble centerpoint RTX. In *6th ESA Workshop on Satellite Navigation Technologies: Multi-GNSS Navigation Technologies Galileo's Here, NAVITEC 2012 and European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing*. <https://doi.org/10.1109/NAVITEC.2012.6423060>
- Hutton, J. J., Gopaul, N., Zhang, X., Wang, J., Menon, V., Rieck, D., ... Pastor, F. (2016). Centimeter-Level, Robust GNSS-Aided Inertial Post-Processing for Mobile Mapping Without Local Reference Stations. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 41(July), 819–826. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B3-819-2016>
- İlçi, V. (2019). Accuracy Comparison of Real-Time GNSS Positioning Solutions: Case Study of Mid-North Anatolia. *Measurement*, 142(August), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.04.067>
- Krzyżek, R. (2013). Verification of applicability of the Trimble RTX satellite technology with xFill function in establishing surveying control networks. *Geodesy and Cartography*, 62(2), 217–233. <https://doi.org/10.2478/geocart-2013-0014>
- Lambrou, E., & Kanellopoulos, N. (2018). Check and calibration of a single GNSS receiver by using the VRS RTN positioning method. *Measurement*, 117, 221–225. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.12.001>
- Leandro, R., Landau, H., Nitschke, M., Glocker, M., Seeger, S., Chen, X., ... Kipka, A. (2012). Real-Time Extended GNSS Positioning: A New Generation of Centimeter-Accurate Networks. *GPS World*, July, 36–42.
- Li, B., Feng, Y., Shen, Y., & Wang, C. (2010). Geometry-specified troposphere decorrelation for subcentimeter real-time kinematic solutions over long baselines. *Journal of Geophysical Research*, 115, B11404. <https://doi.org/10.1029/2010JB007549>
- Nardo, A., Drescher, R., Brandl, M., Chen, X., Landau, H., Rodriguez-solano, C., ... Weinbach, U. (2015). Experiences with Trimble CenterPoint RTX with Fast Convergence. In *ESA European Navigation Conference (ENC2015)*.
- Siejka, Z. (2014). Verification of the Usefulness of the Trimble RTX Extended Satellite Technology with the xFill Function in the Local Network Implementing RTK Measurements. *Artificial Satellites*, 49(4), 191–209. <https://doi.org/10.2478/arsa-2014-0015>
- URL1. Trimble CenterPoint RTX. Retrieved April 26, 2019, from

<https://www.trimble.com/Positioning-Services/CenterPoint-RTX>

URL2. STARFIRE. Retrieved May 1, 2019, from <https://www.navcomtech.com/en/product/globalcorrectionsservice/>

URL3. TUSAGA-AKTIF. Retrieved May 2, 2019, from <https://www.tkgm.gov.tr/tr/icerik/tusaga-aktif-0>

URL4. IGS. Retrieved May 2, 2019, from <http://www.igs.org/>

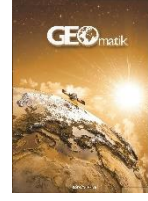
URL5. ETRF/ITRF Transformation. Retrieved May 2, 2019, from http://www.epncb.oma.be/_productservices/coord_trans/



GEOMATİK

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

e-ISSN 2564-6761



İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi

Ali Ulvi*¹, Murat Yakar¹, Abdurahman Yasin YİĞİT², Yunus Kaya³

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği ABD, Afyonkarahisar, Türkiye

³Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği ABD, Şanlıurfa, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Kızıl Kilise
İHA
Fotogrametri
Belgeleme
Kültürel Miras

ÖZ

Ülkemizin her bir karış toprağı birçok uygarlığa ev sahipliği yapmıştır. Bu topraklarda yaşayan bütün uygarlıklar bıraktıkları eserler ile kendi sosyal, kültürel vb. birçok alanda miraslarını gelecek nesillere en somut haliyle aktarmayı başarmışlardır. Anadolu'nun zenginliğini gösteren eserleri koruyup sahip çıkmak, gelecek nesillere orijinal haliyle aktarabilmek bizlerin kültürel görevlerindedir. Türkiye sahip olduğu kültürel miras nedeni ile tarihi eser koruma, yenileme ve belgeleme çalışmalarının olduğu bir konumdadır. Günümüzde veri elde etme teknolojilerinin gelişmesiyle beraber mimari eserlerin dijital ortama aktarılıp belgelenmesi ve başta restorasyon projeleri olmak üzere birçok alanda altlık olmaktadır. Tarihi kültürel mirasların belgelenmesinde sayısal fotogrametri tekniği belgelenme çalışmalarında kullanılan yöntemlerden biridir. Bu çalışma Kapadokya'nın batısında, Aksaray ili sınırlarındaki Güzelyurt ilçesi, Sivrihisar köyü içerisinde bulunan Kızıl Kilise'nin belgeleme amaçlı fotogrametrik rölevo çalışmasını içermektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda Kızıl Kilise'nin dış cephesinin ölçekli çizimleri, üç boyutlu modeli ve nokta bulutları elde edildi. Sayısal fotogrametri tekniği teknolojiyle beraber kendini sürekli yenilemekte olup bize kültürel mirasların belgelenmesi çalışmalarında zaman ve maliyet olarak donanım ve yazılımlar yardımıyla çok büyük kolaylıklar ve imkânlar sağlamaktadır.

Production of 3 Dimensional Point Clouds and Models of Aksaray Kızıl Kilise by Using UAVs and Photogrammetric Techniques

Keywords

Red Church
UAV
Photogrammetry
Documentation
Cultural Heritage

ABSTRACT

All Lands of our country hosted to many civilizations. All civilizations that lived on these lands managed to show the works they inherited and their heritages in the social, cultural, and so many areas to the next generations in the most tangible states of them. Conserving and adopting the works showing the richness of Anatolia and being able to transfer them to the next generation in their original states are of our important duties. Turkey, due to cultural heritage it has, is in a position, in which there are intensive studies related to conserving, restoring, and documenting historical buildings. This study includes documentation- aimed photographic relief studies of Red Church (Kızıl Kilise), located in Sivrihisar village of the district Güzelyurt in the borders of the province Aksaray. As a result of the study, the scaled pictures of outer front, 3-dimensional model, and point clouds of Kızıl Kilise were obtained. Digital photogrammetry technique, together with the developing technology, is continuously renewing itself and presents many easiness and possibilities to us as time and cost by means of hardware and software.

*Sorumlu Yazar

Kaynak Göster (APA)

(aliulvi@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-3005-8011
(myakar@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-2664-6251
(abdurahmanyasinyigit@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-9407-8022
(yunuskaya@harran.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-2319-4998

ULVI, A, YAKAR, M, YİĞİT, A, KAYA, Y. (2020). İha Ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilisenin 3b Modelinin Ve Nokta Bulutunun Elde Edilmesi. Geomatik, 5 (1), 19-26. DOI: 10.29128/geomatik.560179
Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik/issue/48883/560179>

1. GİRİŞ

Tarihi eserlerin gelecek kuşaklara hasara uğramadan aktarılması için ilk olarak dokümantasyonunun yapılması gereklidir. Kültürel varlıkların mevcut halleriyle veya günümüzdeki durumlarından elde edilecek verilerle üretilecek özgün halleriyle dokümantasyonunu yapmak; oluşmuş ve oluşacak hasarları görmede oldukça önemlidir (Duran, 2003).

Kızıl Kilise; Kapadokya'nın batısında, Güzelyurt bölgesi, Sivrihisar köyü yakınlarında, Melendiz Dağlarının karşısında büyük bir düzlüğün ortasındadır (Şekil 1). Hıristiyanlığın en önemli üç azizinden biri olan ve burada gömülen Nazianzlı Gregorius'a (330-390) ithaf edilmiştir.

VI. yüzyılın sonlarına tarihlenen Kızıl Kilise, serbest haç plan şemasına sahiptir. Üç kollu haç planlı kilisenin kuzey ve batı haç kolları arasında bir paralelzyon bulunmaktadır. Kızıl Kilise çatı örtüsü ayakta olan bu döneme ait bölgedeki tek kilisedir. Dış duvarlar ve kubbe ayakta iken haç kollarını örten tonozların büyük bir bölümü ise yıkılmıştır (Çelebioğlu ve Ağarıılmaz, 2008).



Şekil 1. Kızıl Kilise'si Genel Görünümü (URL-1)

Kızıl Kilise, 2008 yılında Dünya Anıtlar Fonu tarafından "Dünyanın En Fazla Tehlike Altında Bulunan 100 Tarihi Eseri Listesi" içerisinde yer almıştır. 2011 yılında restorasyonuna başlanan kilisenin kubbe kısmı tamamlanmış olup restorasyon çalışmaları devam etmektedir (URL-2).

Kızıl Kilise'nin dijital ortamda dokümantasyonunu yapmak için sayısal fotogrametri yöntemi ve İHA teknolojilerinden yararlanılmıştır.

Fotogrametrik yöntemde; istenilen formatta ürün alınabilmesi, hızlı olması, doğruluk olarak kıyaslanamayacak derecede üstün olması, verilerin dijital ortamlarda olması gibi nedenlerinden dolayı fotogrametrik yöntem rölöve çalışmalarında kullanımı kaçınılmaz olmuştur (Yakar vd., 2005).

Teknolojinin gün geçtikçe ilerlemesi ile birçok alanda kullanılmakta olan İHA'lar rölöve ve dokümantasyon çalışmalarında sıkça tercih edilmeye başlanmıştır. İHA'lar özellikle yersel fotogrametri çalışmalarında çatı gibi ulaşılması güç

alanların verilerinin elde edilmesinde büyük kolaylık sağlamıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Kızıl Kilise (Haçlı Kilise) İHA ile Çekilmiş Fotoğrafı

2. KÜLTÜREL MİRAS ve DÖKÜMANTASYON

Kültürel miras, bir toplumun üyelerine ortak geçmişlerini anlatan, aralarındaki dayanışma ve birlik duygularını güçlendiren bir hazinedir. İnsanların tarih boyunca biriktirdikleri deneyimlerin ve geleneklerin devamlılığını, geleceğin doğru kurulmasını sağlar. Tarihi ve kültürel miraslar sadece sahip olduğu önem nedeniyle değil aynı zamanda geçmişte yaşayan toplumların kültürlerinin öğrenilmesi açısından korunmalıdır (URL-3).

Türkiye birçok uygarlığa ev sahipliği yapmış olmasından dolayı tarihi ve kültürel bakımından dünyanın en zengin ülkelerinden biridir. Bu özelliğinden dolayı dünyanın birçok kesiminden tarihi yapıları ziyaretler yapılmaktadır. Tarihi eserlerde zamanla ortaya çıkan doğal ya da yapay yollardan oluşan tahribatları restore etmek ve bundan sonraki gelecek olan nesillere aktarmanın en güncel ve doğru yapılmasının yolu belgeleme çalışmaları ile başlamaktadır. Bu nedenle tarihi eserlerin belgelenmesi amaç doğrultusunda yapılacak çalışmalara başlamadan önceki ilk aşamadır.

Bu kapsamda literatürde birçok kültürel mirasın belgelenmesi çalışmalarında fotogrametrik teknikler kullanılmıştır.

Arca vd. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada Safranbolu tarihi kenti içerisinde özelliklerine göre seçilen farklı binaların yersel fotogrametri tekniği ile rölöveleri hazırlanmış ayrıca bu binalara ilişkin 3 boyutlu modeller üretilmiştir.

Grussenmeyer vd. (2008) yaptıkları bir çalışmada kültürel miras dokümantasyon projelerinde sıklıkla tercih edilen takeometri, fotogrametri ve yersel lazer tarama gibi farklı veri toplama yöntemlerinin avantajlarını ve dezavantajlarını ele almışlardır.

Arias vd. (2005) fotogrametri tekniğini İspanyol tarihi mirasına ait bir grup anıta ait bazı yapısal problemlerin zamansal değişimini tespit etmeyi, ölçmeyi, izlemeyi ve ayrıca kullanılan malzemelerin korunma derecesini değerlendirmeyi sağlayan önleyici bir yöntem olarak önermektedir.

Literatürde fotogrametri tekniği farklı disiplinlerin kültürel mirasın belgelenmesi çalışmalarında sıkça tercih edildiği görülmektedir.

2.1. Belgelemenin Önemi

Bir tarihi eserin belgelenmesinin faydaları şunlardır:

- Kayıt altına alınır
- Eserin fiziksel tanımı yapılabilir
- Güncel tahribat durumu ortaya çıkarılır
- Yapının günümüzde ne amaçlar için kullanılabilirliği değerlendirilebilir
- Mimari çalışmalar için rölöve örnekleri için veri toplanmış olur
- Restorasyon çalışmalarında altlık oluşturulur
- Dijital ortamda farklı amaçlar doğrultusunda işlenebilir
- Bu alanda çalışma yapacak araştırmacılara örnek teşkil eder

Kültürel mirasın belgelenmesinde doğru verilerin elde edilmesine yönelik yapılan çalışmalar teknolojinin de yardımıyla yeni tekniklerin ortaya çıkmasını sağlamıştır.

2.2. Belgeleme Teknikleri

Geleneksel yöntemler ve güncel yöntemler olarak ikiye ayrılabilir.

2.2.1. Geleneksel yöntemler

- Çizimsel Belgeler
- Yazılı Belgeler
- Görsel Belgeler
- Grafik(çizimle) Belgeleme
- Bilgi fişi/formların doldurulması olarak bilinmektedir.

2.2.2. Güncel yöntemler

- İleri Belgeleme Teknikleri
- Total station, Fotogrametrik ve Lazer Tarama Ölçme Yöntemi ile Arkeolojik ve Mimari Belgeleme
- Hava Fotogrametrisi (Balon, Uçak, Model Uçak, Model Helikopter) ve LIDAR (Hava Lazeri) Ölçme Yöntemi ile Arkeolojik ve Mimari Belgeleme
- Yer Altı Radarı (GPR) ile Ölçme Yöntemi ile Arkeolojik Belgeleme
- Batimetrik (Denizaltı) Ölçme Yöntemi ile Arkeolojik Belgeleme olarak bilinmektedir. (URL-4)

3. YERSEL FOTOGRAMETRİ ve İHA FOTOGRAMETRİSİ

Fotogrametri, fiziksel cisimler ve oluşturdukları çevreden yansıyan ışınların şekillendirdiği görüntülerin ve yaydıkları elektromanyetik enerjilerin kayıt, ölçme ve yorumlama işlemleri sonucu güvenilir bilgilerin elde edildiği bir teknoloji, bilim ve sanat dalıdır (Öksüz vd., 2011, Sönmez E.ve Şeker D.Z.,2014). Daha kısa bir tanım yapacak olursak; 2 boyutlu resimlerden 3 boyutlu model ve

üzerinden her türlü ölçü ve bilgi alınabilecek harita üretebilen bir sistemdir. Fotogrametri Resim çekim noktasına göre yersel ve hava fotogrametrisi olmak üzere sınıflandırılır.

Yersel fotogrametri yakın ve uzak mesafeli alanlarda üç boyutlu çizimlerin yapılmasını sağlayan bir yöntemdir. Farklı odak uzaklıklarındaki kameralar ve özel yazılımlar kullanılarak, gerekli yönlendirmeler yapılır ve fotoğraf yüzeyinden üç boyutlu modeller üretilir. Bu yöntem ile modelleri oluşturulan nesnelerin üç boyutlu konum bilgileri elde edilmektedir (Şanlıoğlu vd., 2013).

Yersel fotogrametri çok fazla uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Bu alanlar, mimarlık, arkeoloji, endüstri, arazi ölçmeleri, tıp, kriminoloji, trafik kazaları ve bunların dışında birçok alanda tercih edilmektedir. Yazılımcılar tarafından geliştirilen CAD tabanlı programlar sayesinde yersel fotogrametrinin uygulama alanları kişinin hayal gücüne göre farklı alanlara kaymaktadır.

Hava Fotogrametrisi, havadan çekilmiş resimlerin değerlendirilmesi işlemi hava fotogrametrisi ile yapılır. Fotogrametri, harita yapımında geniş ölçüde hava fotogrametrisi ile gerçekleştirilmektedir. Bunun yanı sıra farklı alanlarda herhangi bir amaç doğrultusunda havadan çekilmiş resimlerden yararlanılmaktadır.

Teknolojinin gelişmesi ile özellikle harita, inşaat, arkeoloji ve mimari eserlerin restorasyon projelerine altlık olması için yapılan rölöve çalışmalarında yersel fotogrametriye ek olarak İHA teknolojisi gün geçtikçe daha etkin bir şekilde kullanılmaktadır. İnsansız hava araçları özel amaçlar için tasarlanmış, herhangi bir alandan kalkış ve iniş yapabilen, uzaktan kumandalı, yarı otomatik veya tam otomatik uçuş yeteneğine sahip araçlardır. Bu araçlar uçuş yeteneklerine göre uçak, helikopter veya zeplin olabilir (Eisenbeiss, 2009, Cömert R. vd.,2012).

Tarihi yapının yerden ve havadan resimlerinin çekilmesi ile rölöve planları, ortofoto, kesitler ve üç boyutlu modelleri elde edilebilmektedir. Yeterli veri elde edilebildiği ve bu veriler işlenip sonuç ürünü çıkarılabildiği takdirde tarihi bina ve yapıların dijital ortamdaki 3 boyutlu modellerinden üç boyutlu koordinatlar (X,Y,Z) yardımıyla tekrar inşası, koruma veya restorasyon çalışmaları için altlık oluşturulabilir.

Yersel fotogrametri ile çekilen resimlerde yakın resim çekme teknolojisi kullanıldığı için belgelenmek istenen yapının bazı kısımlarından istenilen ölçüde veri toplanamamaktadır. Bu noktada İHA teknolojisinden yararlanmak hem maddi hem de zaman açısından avantajlı olmaktadır. Bir İHA aracı ile proje alanının (Kızıl Kilise) etrafının 360° olacak şekilde fotoğraflanması kullanıcının bazı dezavantajları lehine olacak şekilde çevrilmesini sağlamaktadır. Özellikle mimari yapılarda yerden resim çekmenin en büyük dezavantajı çatı gibi yerden görüntülenmesi güç olan kısımlarda yaşanmaktadır. Bu ve bunun gibi yerden veri

toplaması zor olduğu durumlarda İHA teknolojisi kullanılması uygundur.

4. ÇALIŞMA ALANI

Mülkiyeti hazineye ait L32-b-24-c pafta, 207 parselde bulunan tescilli Kızıl Kilise VI.yy sonuna tarihlenir. Kilise, Kapadokya'nın batısında, Güzelyurt bölgesi, Sivrihisar köyü yakınlarında, Melendiz Dağlarının karşısında büyük bir düzlüğün ortasındadır. 1830 m. rakımlı Sivrihisar köyü, Aksaray'a 51 km. Güzelyurt'a 5 km. mesafede yer alan (Şekil 3), üzerinde Helenistik döneme ait bir kalenin yer aldığı Şahin Tepe Dağı'nın (2050 m) eteklerinde kurulmuş yarı-trogloditik bir yerleşimdir (Çelebioğlu ve Ağaryılmaz, 2008).



Şekil 3. Kızıl Kilise (Haçlı Kilise) Konumu
38°15'35.32"K, 34°25'42.65"D

Kilisenin kuzeyinden geçen antik yol, H. Rott'a göre Bizans döneminde Konstantinopolis'ten Antioche' a ulaşmak için, askerlerin kullandığı bir güzergâhtır (Roth, 1908).

Yapının etrafında eseri fotoğraflamaya engel olabilecek herhangi bir doğal ya da yapay unsur bulunmaması, ulaşımın kolay olması ve etrafının açık olması çalışma alanının olumlu yanlarını oluşturmaktadır.

5. UYGULAMA

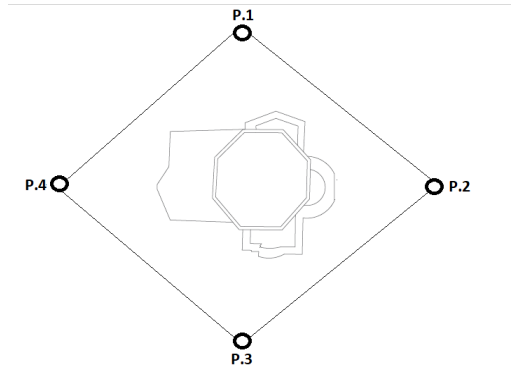
5.1. Veri Toplama

Bu bölümde yapıya ait detay noktaları ve fotoğrafların toplanmasına değinilmiştir.

Detay noktalarının alımı için ilk olarak çalışma alanında sabit nokta tesisi için gerekli olan istikşaf çalışmaları yapılmıştır. İstikşaf çalışmaları sonucunda belirlenen 4 noktaya poligonların tesisi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5). Tesis edilen poligonlar ve detay noktaların ölçümünde 7003i-İmaging-Total-Station jeodezik ölçme aleti (Şekil 4) kullanılmıştır. Kilise yüzeyi üzerinde homojen bir şekilde 18 adet kontrol noktası seçilerek bunların jeodezik koordinatları (X,Y,Z) lokal olarak hesaplanmıştır. Detay noktaların alımında yapı üzerinde kolay tespit edilebilen ve yapının karakteristik özelliklerini yansıtan keskin kırık noktalar tercih edilmiştir.



Şekil 4. Arazide Kullanılan Ölçüm Cihazı (Prizmasız : $\pm (5\text{mm})$ mse Prizmalı : $\pm (3\text{mm} + 2\text{ppm} \cdot D^*)$ mse (MSE: Mean Square Error: Karesel Ortalama Hata)



Şekil 5. Poligon Noktalarının Konumu

Kiliseye ait fotoğraflar, yer bazlı (yersel) ve havadan çekim sureti ile toplanmıştır. Yersel resimlerin çekiminde çözünürlüğü 18 MP, Piksel boyutu 4.29 μm olan Canon EOS 100D makinesi kullanılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Canon EOS 100D Dijital Fotoğraf Makinesi

Havadan çekilen resimlerde ise Phantom 3 Professional İnsansız Hava Aracında (İHA) entegreli olan 12.76 MP çözünürlüğe sahip Sony EXMOR kamera kullanılmıştır (Şekil 7).

Fotoğraflar 30m yükseklikten farklı açılardan ve bindirmeli olarak elde edilmiştir.



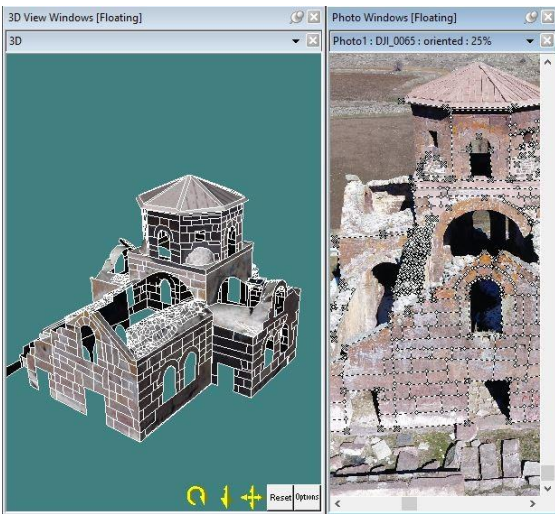
Şekil 7. Phantom 3 Professional İHA (url-5)

5.2. Verilerin Fotogrametrik Değerlendirilmesi

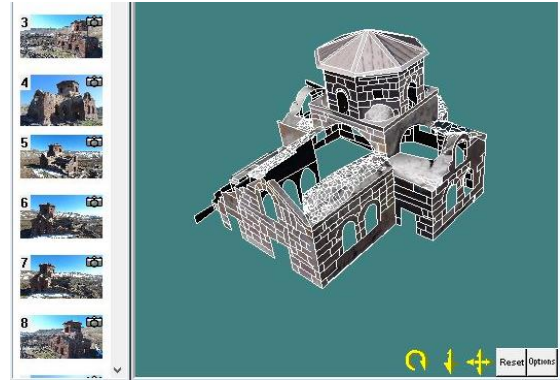
Toplanan fotoğraf ve detay nokta verilerinin değerlendirilmesi Photomodeler UAS ve Agisoft Photoscan yazılımlarında gerçekleştirilmiştir.

5.2.1 Verilerin Photomodeler UAS Yazılımında Değerlendirilmesi

Photomodeler yazılımında Canon EOS 100D makinesi ile yer bazlı çekilen 27 adet fotoğraf ve 18 adet detay noktası kullanılmıştır. İlk olarak yazılıma yapıya ait fotoğraf ve detay nokta verileri tanıtılmıştır. Detay noktalar kullanılacak olan fotoğraflar üzerine manuel olarak işaretlenerek birleştirme ve dengeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Fotoğraflar dengelendikten sonra her bir detay tek tek çizilmesi suretiyle yapıya ait temel iskeletin 3 boyutlu çizimi elde edilmiştir. Bu çizimler kullanılarak yapıya ait katı model elde edilmiştir. Son olarak katı modele araziden çekilen fotoğraflar vasıtasıyla yüzey giydirilmiş ve yapının 3 boyutlu modeli elde edilmiştir. Modele ait 429 adet manuel nokta, 377 çizgi (line), 44 eğri (curve), 166 yüzey (surface) ve 1024x1024 piksel kalitesinde doku bulunmaktadır.



Şekil 8. (Sol): Detay Çizimin 3 Boyutlu Model Üzerindeki Görünümü, (Sağ): Fotoğraf Üzerindeki Detay Çizim



Şekil 9. Yüzey Giydirilmiş ve Detay Çizimin Olduğu 3 Boyutlu Model

5.2.2. Verilerin Agisoft Photoscan Yazılımında Değerlendirilmesi

Agisoft PhotoScan yazılımında Phantom 3 Professional İnsansız Hava Aracı'nda entegreli olan Sony EXMOR kamerasından elde edilen RGB (Red/Kırmızı-Green/Yeşil-Blue/Mavi) fotoğraflar kullanılmıştır.

Agisoft PhotoScan yazılımı yöntem olarak Hareket ile Nesne Oluşturma (Structure from Motion-SFM) yöntemini kullanmaktadır. SFM, fotoğraflanan nesneyi yeniden oluşturmak için birçok konum ve yönden üst üste binen iki boyutlu fotoğraflardan bir özellik veya topografyanın üç boyutlu modellerini oluşturmak için kullanılan fotogrametrik bir yöntemdir.

Bu teknoloji 1979'dan bu yana çeşitli biçimlerde var olmuştur (Ullman, 1979), ancak 2000'lerin başlarına kadar uygulamalar yaygın değildi. SFM tekniği, üç boyutlu bir nesnenin farklı açılardan çekilmiş çok sayıda görüntülerini kullanarak, nesneyi sayısal ortamda üç boyutlu olarak modelleyebilen bir yöntemdir.

Geleneksel fotografik teknikler geometrik modelleme için kamera ve kontrol noktalarının hassas 3 boyutlu konum ve oryantasyon bilgilerine ihtiyaç duyarken, SFM yönteminde model geometrisi ve kamera pozisyon ve oryantasyon bilgisi aynı anda ve otomatik olarak hesaplanabilir (Snavely vd., 2008, Önal vd., 2017).

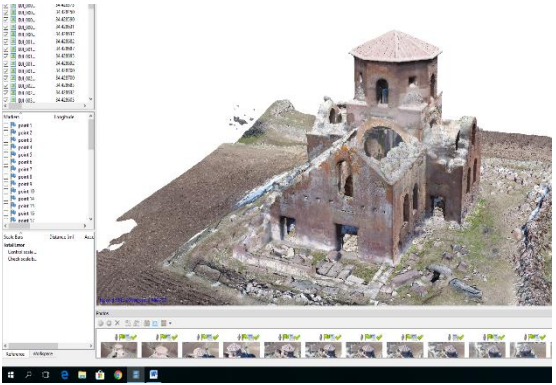
SFM'nin uygulamaları, birçok jeoloji alt alanından (jeomorfoloji, tektonik, yapısal jeoloji, jeodezi, madencilik) arkeolojiye, mimarlığa ve tarıma kadar geniş bir yelpazededir. Ortorektife edilmiş görüntülere ek olarak, SFM, havadan veya karasal lidar tarafından üretilenlere benzer şekilde yoğun bir nokta bulutu veri kümesi üretir.

İlk olarak yazılıma fotoğraflar eklenmiştir. Yazılımın eklenen fotoğrafları algılaması için hizalama işlemi (Align Photos) yapılmıştır. Hizalama işleminde program, fotoğrafların modelleneyecek olan kiliseye uzaklıklarını ve çekim konum noktalarının hesaplanmasına yardımcı olacak olan bağ noktaları kümesini (Tie Points-152,147 adet) oluşturur. Bu işlemden sonra kilise üzerinden alımı gerçekleştirilen 18 adet detay noktası işaretlenmiştir. Detay noktaları ile beraber 3 boyutlu

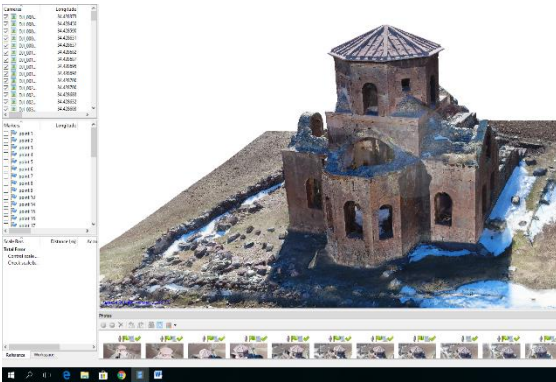
olarak kilisenin nokta bulutu oluşturulmuştur (Build Dense Cloud-24,957,738 adet). Kilisenin nokta bulutu oluşturulduktan sonra 3 boyutlu yüzeyler oluşturulur (Build Mesh-4,991,490 yüzey). Son olarak oluşturulan 3 boyutlu yüzeylere kilisenin fotoğrafları kaplanır (Texture-8196*8196 piksel). Yapılan işlemler sonucunda Kızıl Kilise'nin 3 boyutlu modeli 5.46 mm/pixel yer örnekleme aralığı ile elde edilmiştir.



Şekil 10. Yoğun Nokta Bulutu (24,957,738 Point)



Şekil 11. 8196x8196 Piksel Kalitede 3 Boyutlu Model (Kızıl Kilise'nin Giriş Tarafı)



Şekil 12. 8196x8196 Piksel Kalitede 3 Boyutlu Model (Kızıl Kilise'nin Arka Tarafı)

6. DOĞRULUK ANALİZİ

Elde edilen 3 boyutlu modele yönelik konumsal hatayı tespit etmek için doğruluk analizi yapılmıştır. Bu işlem için jeodezik ölçme aleti ile elde edilen arazi koordinatları ile 3 boyutlu model üzerinden alınan

test verileri değerlendirilmiştir. Ölçme aleti ile alınan koordinatlar kesin koordinat olarak kabul edilmiştir. Aynı koordinat değerleri her iki yazılımda da değerlendirilerek farkları hesaplanarak noktaların x,y,z yönündeki karesel ortalama hataları hesaplanmıştır.

Şekil 13'te Photomodeler yazılımına ilişkin şekil 14'te ise Agisoft PhotoScan yazılımına ilişkin değerler verilmiştir. Elde edilen modelin karesel ortalama hataları dikkate alındığında x,y,z koordinatlarında ortalama konum hatası; Photomodeler yazılımında ± 20.4 mm ve Agisoft yazılımında ± 17.1 mm olarak bulunmuştur (Şekil 15).

N.N	Elektronik Uzaklık Ölçer (Kesin Koordinatlar)			Photomodeler Yazılımından Elde Edilen Koordinatlar		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	1007.051	1999.675	301.597	1007.059	1999.691	301.61
4	1004.62	2006.486	303.703	1004.609	2006.469	303.712
5	1004.431	2006.671	304.894	1004.442	2006.665	304.877
8	1007.051	1999.667	304.231	1007.042	1999.654	304.225
13	1009.975	1996.731	306.524	1009.962	1996.72	306.515
17	1018.397	1994.414	298.622	1018.408	1994.428	298.611
19	1023.198	1991.621	300.182	1023.195	1991.638	300.2
22	1022.323	1994.291	306.99	1022.308	1994.304	307.001
29	1053.967	2006.151	304.052	1053.985	2006.156	304.04
33	1058.125	2005.288	303.36	1058.119	2005.283	303.377
38	996.368	2023.973	300.863	996.377	2023.957	300.872
47	979.029	2028.84	304.788	979.022	2028.835	304.801
50	979.068	2029.957	301.206	979.078	2029.953	301.201
56	983.284	2032.226	301.133	983.274	2032.228	301.148
61	987.567	2032.707	301.681	987.555	2032.716	301.673
63	987.971	2031.39	300.476	987.959	2031.403	300.46
65	991.952	2031.622	302.039	991.961	2031.617	302.036
69	991.158	2027.031	301.668	991.175	2027.021	301.659

Şekil 13. Photomodeler Yazılımına ait değerler

N.N	Elektronik Uzaklık Ölçer (Kesin Koordinatlar)			Agisoft PhotoScan Yazılımından Elde Edilen Koordinatlar		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	1007.051	1999.675	301.597	1007.039	1999.67	301.587
4	1004.62	2006.486	303.703	1004.63	2006.474	303.698
5	1004.431	2006.671	304.894	1004.423	2006.68	304.887
8	1007.051	1999.667	304.231	1007.036	1999.657	304.238
13	1009.975	1996.731	306.524	1009.97	1996.716	306.51
17	1018.397	1994.414	298.622	1018.404	1994.405	298.632
19	1023.198	1991.621	300.182	1023.187	1991.617	300.171
22	1022.323	1994.291	306.99	1022.333	1994.278	306.982
29	1053.967	2006.151	304.052	1053.985	2006.156	304.04
33	1058.125	2005.288	303.36	1058.117	2005.306	303.365
38	996.368	2023.973	300.863	996.356	2023.979	300.855
47	979.029	2028.84	304.788	979.034	2028.835	304.792
50	979.068	2029.957	301.206	979.059	2029.961	301.201
56	983.284	2032.226	301.133	983.291	2032.22	301.128
61	987.567	2032.707	301.681	987.563	2032.719	301.675
63	987.971	2031.39	300.476	987.984	2031.398	300.471
65	991.952	2031.622	302.039	991.944	2031.631	302.049
69	991.158	2027.031	301.668	991.152	2027.018	301.652

Şekil 14. Agisoft PhotoScan Yazılımına ait değerler

Photomodeler							Agisoft PhotoScan						
Vi Farklar (mm)							Vi Farklar (mm)						
N.N	Vx	Vy	Vz	VxVx	VyVy	VzVz	N.N	Vx	Vy	Vz	VxVx	VyVy	VzVz
1	8	16	13	64	256	169	1	-12	-5	-10	144	25	100
4	-11	-17	9	121	289	81	4	10	-12	-5	100	144	25
5	11	-6	-17	121	36	289	5	-8	9	-7	64	81	49
8	-9	-13	-6	81	169	36	8	-15	-10	7	225	100	49
13	-13	-11	-9	169	121	81	13	-5	-15	-14	25	225	196
17	11	14	-11	121	196	121	17	7	-9	10	49	81	100
19	-3	17	18	9	289	324	19	-11	-4	-11	121	16	121
22	-15	13	11	225	169	121	22	10	-13	-8	100	169	64
29	18	5	-12	324	25	144	29	18	5	-12	324	25	144
33	-6	-5	17	36	25	289	33	-8	18	5	64	324	25
38	9	-16	9	81	256	81	38	-12	6	-8	144	36	64
47	-7	-5	13	49	25	169	47	5	-5	4	25	25	16
50	10	-4	-5	100	16	25	50	-9	4	-5	81	16	25
56	-10	2	15	100	4	225	56	7	-6	-5	49	36	25
61	-12	9	-8	144	81	64	61	-4	12	-6	16	144	36
63	-12	13	-16	144	169	256	63	13	8	-5	169	64	25
65	9	-5	-3	81	25	9	65	-8	9	10	64	81	100
69	17	-10	-9	289	100	81	69	-6	-13	-16	36	169	256

Vi farklar (mm)			Vi farklar (mm)				
	Vx	Vy	Vz		Vx	Vy	Vz
Vmin	3	2	3	Vmin	4	4	4
Vmax	18	17	18	Vmax	18	18	16
Vort	10.6	10.1	11.2	Vort	9.3	9.1	8.2
m	11.5	11.5	12.3	m	10.3	10.2	9.1
mxyz	20.4			mxyz	17.1		

Şekil 15. Photomodeler ve Agisoft PhotoScan yazılımına ait hata değerleri

7. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada Aksaray ilinde bulunan Kızıl Kilisenin 3 boyutlu modeli Yersel fotogrametrikler ve İHA kullanılarak elde edilmiştir. Fotogrametri tekniği uzun yıllardır tarihi ve kültürel eserlerin belgelenmesinde ve röleve çalışmalarında klasik yöntemlere göre kullanıcıya zaman, maliyet, hassasiyet ve görsellik olarak avantajlar sağlamaktadır. Çalışmada 2 farklı fotogrametrik yazılım kullanılmıştır. Photomodeler yazılımının çizimsel yeteneği ön plana çıkarırken Agisoft yazılımının ise nokta bulutu üretim özelliği ön plana çıkmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen hassasiyet değerleri göz önünde bulundurulduğunda, çalışmaya ait 3B model restorasyon çalışmalarında altlık olarak kullanılabilir. Ayrıca tarihi eserlerin sayısal verilerinin dijital kütüphanelerde bulundurulması çeşitli disiplinlerin daha sonraki çalışmalarında ve gelecek nesillere aktarılmasında büyük kolaylık sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Arca, D., Bayık, Ç., Acar, H., Alkan, M., ve Şeker, D.Z. (2011). Safranbolu Tarihi Kenti Örneğinde Dökümantasyon Çalışmalarında Fotogrametri Ve Cbs'nin Birlikte Kullanımı. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 18-22 Nisan, Ankara.

Arias, P., Herráez, J., Lorenzo, H., ve Ordóñez, C. (2005). Control of Structural Problems in Cultural Heritage Monuments Using Close-Range Photogrammetry and Computer Methods Control of Structural Problems in Cultural

Heritage Monuments Using Close-Range Photogrammetry and Computer Methods. Computers and Structures Volume 83, Issues 21-22, Pages 1754-1766.

Cömert R., Avdan U., ve Şenkal E. (2012). İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları Ve Gelecekteki Beklentiler. IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012), 16-19.

Çelebioğlu, B., ve Ağaryılmaz, İ. (2008). Kapadokya'da Kızıl Kilise. YTÜ Mim. Fak. E-Dergisi, 3(2), 155-161.

Duran Z. (2003). Tarihi Eserlerin Fotogrametrik Olarak Belgelenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemine Aktarılması. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Eisenbeiss, H. (2009). UAV Photogrammetry. ETH Zurich for the degree of Doctor of Science, ISSN 0252-9335 . ISBN: 978-3-906467-86-3.

Grussenmeyer, P., Landes, T., Voegtle, T., ve Ringle, K. (2008). Comparison Methods of Terrestrial Laser Scanning, Photogrammetry and Tacheometry Data for Recording of Cultural Heritage Buildings. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing.

Büyükmıhçı, G., Kozlu, H., Kılıç, A., Ve Karahan, S. (2015). Çepni Surp Sarkis Ermeni Kilisesi Restorasyon Çalışmaları. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi (39), 42-66.

Korumaz, A.G., Dülgerler, O.N., ve Yakar, M. (2011). Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Dijital Yaklaşımlar. S.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(3), 67-83.

Maraş, E.E., Hacıfendioglu, K., Birinci, F., ve Uslu, G. (2016). Tarihi Köprülerin Dokümantasyonu İçin Dijital Fotogrametri ile 3B Modellerinin Oluşturulması ve Dinamik Analizlerinin Yapılması (Tarihi Kurt Köprüsü Örneği). Harita Dergisi (155).

Öksüz, M., Yıldırım, Ç., Sağlam, Ö., Karaarslan, Y., Görmüş, K., ve Kutoğlu, Ş.H. (2011). Zonguldak Kozlu Bölgesi'nin Su Baskınlarına Yönelik Risk Araştırması. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. Ankara.

Önal, O., Bozdağ, Ö. ve Ersoy, A. (2017). İzmir Agorası'ndaki Roma Dönemine Ait Hamam Yapısının SFM Tekniği İle 3 Boyutlu Katı Modelinin Oluşturulması. Uluslararası Katılımlı

6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu.

Rott, H., Michel, K., Messerschmidt, L., Weber, W. (1908). Kleinasiatische Denkmäler aus Pisidien, Pamphylien Kappadokien und Lykien. Leipzig.

Snavely, N., Seitz, S.M., ve Szeliski, R. (2008). Modeling the World from İnternet Photo Collections. International Journal of Computer Vision 80, 189-210

Sönmez E. ve Şeker D.Z. (2014). İzmir Havagazı Fabrikası 4 Nolu İdari Binasının Yersel Fotogrametri Yöntemiyle Modellenmesi. V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), İstanbul.

Şanlıoğlu İ., Zeybek M., ve Karauğuz G. (2013). Photogrammetric Survey and 3D Modeling of İvriz Rock Relief in Late Hittite Er. Mediterranean Arhaeology and Archaeometry, Vol. 13, No 2

Ullman, S. (1979). The interpretation of structure from motion. Sydney Brenner The interpretation of structure from motion 203 Proc. R. Soc. Lond. Bhttp://doi.org/10.1098/rspb.1979.0006

Yakar, M., Yıldız, F., ve Yılmaz, H. (2005). Tarihi Ve Kültürel Mirasların Belgelemede Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. Ankara.

URL1-

https://tr.wikipedia.org/wiki/K%C4%B1z%C4%B1l_Kilise#/media/File:K%C4%B1z%C4%B1l_kilise.jpg

URL2-

<http://kuvvetlitabanlar.com/kapadokya/>

URL3-

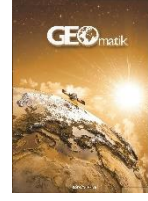
<http://www.cekulvakfi.org.tr/proje/cekulun-kulturel-miras-anlayisi>

URL4-

<http://www.akropol.com.tr/mimarlik/rolove.html>

URL5-

<https://www.dji.com/phantom-3-pro>



PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 Lazer Sistemleri ve Kullanım Alanları

Müge Ağca*

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Lazer
PALS
ICESat/GLAS
ICESat-2

ÖZ

Günümüzde bilim ve uzay teknolojilerinin hızlı bir şekilde gelişmesi uzaktan algılama ve fotogrametrik yöntemlerin uygulama ve kullanım alanlarını arttırmıştır. Özellikle lazer sistemleri ve lazer platformlarındaki gelişmeler ile yeryüzüne ait veriler daha hızlı, hassas, bölgesel ve küresel ölçekte toplanabilmektedir. Bu çalışmada PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 lazer sistemleri açıklanmış, bu sistemlerden elde edilen veri türlerinin tanıtımı yapılmış ve kullanım alanları hakkında bilgiler verilmiştir. Geliştirilen her bir lazer sisteminin teknik özellikleri, kapsama alanı ve veri yapısı birbirinden farklılık göstermektedir. Var olan tüm sistemlerin bilinmesi yapılacak olan bilimsel çalışmalarda doğru sistemin ve verinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılmayan bu sistemlerin tanıtımı araştırmacılara farklı bakış açıları yaratma açısından büyük önem taşımaktadır.

PALS, ICESat / GLAS and ICESat-2 Laser Systems and Applications

Keywords

Laser
PALS
ICESat/GLAS
ICESat-2

ABSTRACT

Nowadays, the rapid development of science and space technologies has increased the application and usage areas of remote sensing and photogrammetric methods. Especially with the developments in laser systems and laser platforms, the data related to earth surface can be collected on a faster, more sensitive, regional and global scale. In this study, PALS, ICESat / GLAS and ICESat-2 laser systems are described and data types obtained from these systems are introduced and information about their usage areas is given. Each developed laser system's technical features, coverage area and data structure differs from each other. Knowing all existing systems allows the use of the correct system and data in scientific studies. The introduction of these systems, which are not widely used in our country, is of great importance in terms of creating different perspectives to researchers.

*Sorumlu Yazar

Kaynak Göster (APA)

*(mugekaan@gmail.com) ORCID ID 0000 – 0003 – 0190 – 7280

AĞCA, M. (2020). PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 Lazer Sistemleri ve Kullanım Alanları. Geomatik, 5 (1), 27-35. DOI: 10.29128/geomatik.560344
Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik/issue/48883/560344>

1. GİRİŞ

Son yıllarda, uydu teknolojisinde yaşanan gelişmeler ile yeryüzünün periyodik olarak görüntülenmesi, izlenmesi, kontrolü ve erişilmesi zor hatta imkânsız olan alanlarla ilgili verilerin toplanması giderek kolaylaşmıştır. Son teknolojik gelişmeler ile yeryüzüne ait bilgiler daha hızlı, güncel, yüksek doğruluklu, kapsama alanı daha geniş, tekrarlanabilen, küresel ve yerel ölçekli veriler elde edilebilmektedir. Veri hesaplama, veri saklama kapasitesindeki artışlar, yazılım ve programlamadaki ilerlemeler ile son teknolojik sistemlerden elde edilen veriler kolaylıkla işlenebilmektedir.

Günümüzde lazer verileri yeryüzü ile ilgili hassas bilgilerin toplanmasında giderek artan önemde kullanılmaktadır. Lazer tarama sistemlerinden elde edilen lazer verilerinin bilimsel çalışmalara olan katkısı kendini kanıtlamış durumdadır. Lazer verilerinin diğer verilerle (uydu görüntüleri, hava fotoğrafları gibi) entegre edilebilmesi bu verilerin kullanım ve uygulama alanını artırmaktadır. Günümüzde lazer verileri çok hassas sayısal yükseklik/arazi modellerinin oluşturulması, detaylı üç boyutlu modelleme, restorasyon, hassas yükseklik (bina, ağaç, vb) ölçümleri, hacim hesaplama, farklı bitki örtüsü (kapalılık örtüsü, tür belirleme, vb) haritalarının oluşturulması ve şehir modellemesi gibi çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Genel olarak, lazer enerji kaynaklı sensörler yersel, havasal ve uzaysal olmak üzere üç ana platforma monte edilmektedir. PALS (Portable Airborne Laser System), ICESat/GLAS (Ice, Cloud and Land Elevation Satellite/Geoscience Laser Altimeter System) ve ICESat-2 enerji kaynağı lazer olan sistemlerdir. Bu sistemler ile yeryüzünde tanımlanması, ulaşılması zor olan alanlardan farklı veri türleri elde edilebilmekte, yüzeyler üzerindeki objelerin formları ve yükseklik değerleri belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 lazer sistemleri, sistemlerin birbirinden farkı, veri türleri ve kullanım alanları anlatılmaktadır. Genel olarak, PALS sistemi veri toplama yöntemi ile klasik havasal lidar (Light Detection and Ranging) sistemlerine benzerlik göstermektedir. ICESat/GLAS ve ICESat-2 lazer sistemleri yörüngeye gönderilen ilk uzaysal lidar sistemleridir. Bu sistemlerden elde edilen lazer verileri dalga formu (GLAS) ve foton sayma (ICESat-2) yönleri ile klasik lazer nokta bulutu verilerinden farklılık göstermektedir. Bu sistemler, yeryüzüne ilişkin bilgilerin farklı ölçeklerde toplanması ve haritalanmasına olanak sağlamaktadır.

2. İLERİ FOTOTOGRAFETİK SİSTEMLER

2.1. PALS Sistemi ve Veri Türü

Türkçe karşılığı Portatif Havasal Lazer Sistemi olarak adlandırılan PALS (Portable Airborne Laser System) sistemi birçok yönü ile mevcuttaki lazer sistemlerinden farklılık göstermekte ve araştırmacılara alternatif veri sunmaktadır. PALS sistemi NASA (National Aeronautics and Space Administration)'da çalışan Dr. Ross Nelson tarafından 1999 yılında geliştirilmiştir. PALS sisteminin taşınabilir olması, kompleks bir yapıya sahip olmaması, düşük maliyetli olması, kullanım kolaylığı ve profil verilerinin elde edilebilmesi özellikleri ile araştırmacılara birçok avantaj sağlamaktadır. Sistem geliştirilirken özellikle bu kriterler göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, PALS sistemi dizayn edilirken bileşenlerinin piyasada rahatça bulunan parçalardan olmasına dikkat edilmiştir. Sistem bileşenleri (Nelson vd., 2003);

- Kızılötesi lazer vericisi/alıcısı,
- Diferansiyel Küresel Konumlandırma Sistemi (dGPS) alıcısı,
- CCD (charge-coupled device) video kamera ve GPS'li video kayıt sistemi
- Lazer ve GPS verilerini kaydetmek için kullanılan dizüstü bilgisayar
- dGPS ve lazer veri akışlarını kontrol etmek, izlemek ve kaydetmek için ticari bir yazılım paketi (LABView).

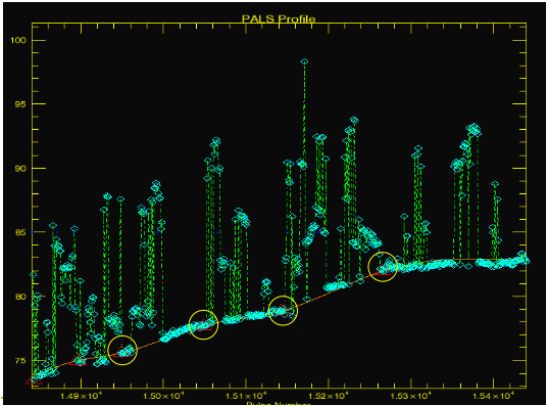
Şekil 1 PALS sisteminin bileşenlerini göstermektedir (Nelson vd., 2003). Oldukça basit ve hafif olan bu sistem küçük uçaklara veya helikopterlere monte edilebilmektedir. Sistem tarafından elde edilen lazer ve GPS verileri depolama ünitelerine kaydedilir. Verileri kontrol etmek ve toplamak için LABView yazılımı kullanılmıştır. Bu sistem ile maksimum 300m yükseklikten veri toplanabilmektedir.



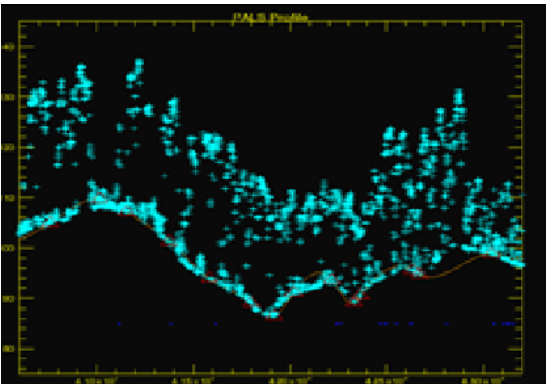
Şekil 1. PALS sisteminin bileşenleri (Nelson vd., 2003).

PALS sisteminin enerji kaynağı lazer olduğu için bu sistemden elde edilen veriler “lazer nokta bulutu” olarak adlandırılır. PALS verileri .LAS, .TXT ve ASCII formatında kaydedilebilir. Aslında PALS sistemi bir tür havasal lidar sistemidir. Bu iki sistem arasında benzerlikler olsa da birçok farklılıklarda mevcuttur. Havasal lidar sistemi “wall to wall” yani tüm alanı enine ve boyuna uçuşlar gerçekleştirerek kaplar ve çalışma alanına ait yoğun nokta bulutu toplar. PALS sistemi ise çalışma alanını belirli aralıklarla uçarak sadece profil verisi toplar. Bu durum her iki sistem arasındaki en büyük farktır.

PALS verilerinin işlenmesinde zemin bilgisi oldukça önemlidir. Öncelikle bu tür verileri işlemek için geliştirilen Zemin Bulma (ground finding) yazılımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yazılımda sistem geliştiricisi tarafından geliştirilmiştir. Çalışma alanından toplanan veriler uygun yazılımda açıldıktan sonra zemin bilgisindeki problemler gerekli nokta ekleme ve/veya çıkarmalar yapılarak çözülmektedir. Şekil 2 PALS profil verisini ve verinin ön-işlem (Pre-processing) aşamasından bir görünümü vermektedir. Daha çok profil verilerinin gereksinim duyulduğu çalışmalarda bu sistem kullanılmalıdır. Sayısal yükseklik modeli ve sayısal arazi modeli üretmek için uygun bir sistem değildir.



Şekil 2. (a) ve (b) PALS verilerinin ön-işlem aşamasından görüntüleri.

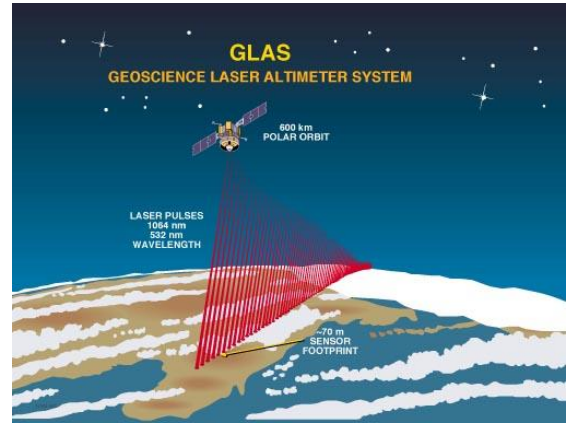


Şekil 2-Devam. (a) ve (b) PALS verilerinin ön-işlem aşamasından görüntüleri.

2.2. ICESat/GLAS Sistemi ve Veri Türü

ICESat/GLAS sistemi NASA tarafından geliştirilen ve Ocak 2003 yılında yörüngeye (Şekil 3) gönderilen sürekli olarak Dünya'nın küresel gözlemini elde etmek için kullanılan ilk uzaysal lidar sistemidir (Simard vd., 2008; Pang vd., 2008; Nelson vd., 2009; Neuenschwander vd., 2008). GLAS lazer sensörü ICESat uydusu üzerinde yer almaktadır. ICESat uydusu üzerine takılan lazer güç kaynağından (GLAS) yeryüzüne güçlü lazer enerji dalgası gönderilir. Yeryüzüne çarpıp geri yansıyan enerji dalgasının yoğunluğu sistem tarafından kaydedilir. Bu sistem bölgesel ve küresel ölçekte veri sağlamaktadır.

ICESat/GLAS sistemi 33 günlük dönemlerde Ekim 2009 yılına kadar veri toplamıştır (Hilbert ve Schullius, 2012). GLAS sistemin ilk geliştirilme amacı, buz tabakasındaki yükseklik değişimlerini ve yeryüzünün topografik özelliklerini belirlemektir. Fakat daha sonra kullanım alanı oldukça genişlemiştir.



Şekil 3. ICESat/GLAS sisteminin yörüngedeki görünümü (URL-1).

GLAS sistemine entegre LASER 1 (L1), LASER 2 (L2) ve LASER 3 (L3) olarak toplamda üç adet aynı anda veri toplayan lazer sistemleri bulunmaktadır. L1, L2 ve L3 sistemlerinin yörüngedeki operasyon günleri ve veri toplama süreleri Tablo 1'de verilmiştir. Sistem yörüngeye yerleştikten kısa bir süre sonra L1'den veri temin edilememiştir. L1, L2 ve L3 lazer sistemlerinin hedefe gönderdiği izdüşümlerin genel ismine GLAS ayakizi (GLAS footprint) adı verilir. ICESat/GLAS sistemi yeryüzüne saniyede yaklaşık 70 m nominal çapa sahip ayak izi şeklinde 40 darbe gönderir. İki ayak izi arasındaki mesafe yaklaşık 172 m'dir (Zwally vd., 2002; Nelson vd., 2009). L1 ve L2 lazer sistemlerinden elde edilen ayak izlerinin şekli elipsoide benzerken L3 sisteminde elde edilen ayak izinin şekli daha çok daireye benzemektedir (Neuenschwander vd., 2008).

Tablo 1. L1, L2 ve L3 lazer sistemleri ve veri temini periyotları (URL-2).

Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Faaliyet Günleri	Lazer Sistemi
20.02.2003	29.03.2003	38	Laser-1AB
25.09.2003	19.11.2003	55	Laser-2A
17.02.2004	21.03.2004	34	Laser-2B
18.05.2004	21.06.2004	35	Laser-2C
03.10.2004	08.11.2004	37	Laser-3A
17.02.2005	24.03.2005	36	Laser-3B
20.05.2005	23.06.2005	35	Laser-3C
21.10.2005	24.11.2005	35	Laser-3 boyutlu
22.02.2006	28.03.2006	34	Laser-3E
24.05.2006	26.06.2006	33	Laser-3F
25.10.2006	25.11.2006	34	Laser-3G
12.03.2007	14.04.2007	34	Laser-3H
02.10.2007	05.11.2007	37	Laser-3I
17.02.2008	21.03.2008	34	Laser-3J
04.10.2008	19.10.2008	16	Laser-3K
25.11.2008	17.12.2008	23	Laser-2D
09.03.2009	11.04.2009	34	Laser-2E
30.09.2009	11.10.2009	12	Laser-2F

GLAS izdüşümlerinin yeryüzünde kapladığı alanın temsili gösterimi Şekil 4'te verilmiştir. ICESat/GLAS verileri National Snow and Ice Data Center (NSIDC) web sitesinden ücretsiz olarak indirilebilmektedir. L1, L2 ve L3 sistemleri ile farklı dönem ve tarihlerde temin edilen verilerin kalibrasyon/doğrulama ve ön işlemleri Goddard Space Flight merkezindeki ICESat Science Investigator-led Processing Sistem (I-SIPS) araştırmacıları tarafından yapıldıktan sonra kullanıcıya sunulmaktadır. GLAS sisteminden elde edilen verilerin listesi Tablo 2'de özetlenerek verilmiştir.

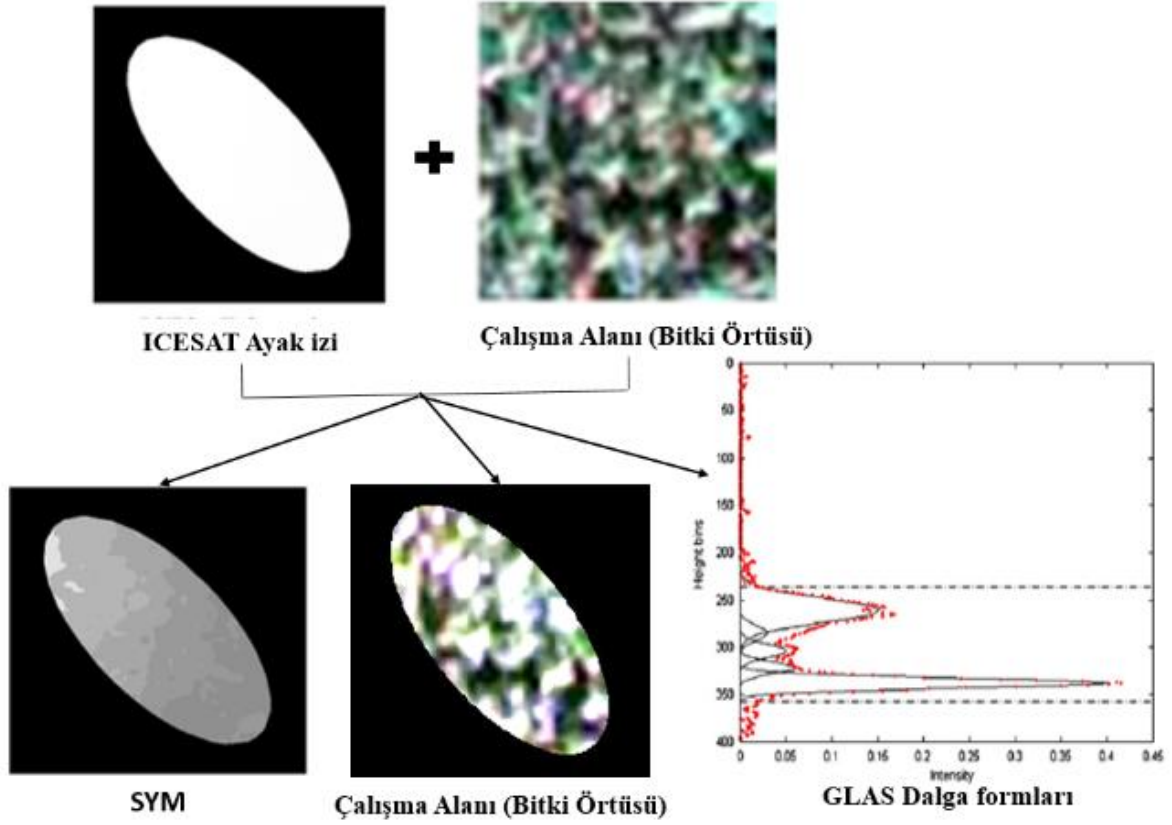
**Şekil 4.** GLAS ayak izlerinin yeryüzündeki temsili gösterimi.**Tablo 2.** GLAS verileri (Zwally vd., 2002).

Veri Kodu	Verinin Adı ve İçeriği
GLA01	L1A Global Altimetre
GLA02	L1A Global Atmosfer
GLA03	L1A Global Mühendislik
GLA04	L1A Global Lazer Nokta Bulutu
GLA05	L1B Global Dalga Formu Tabanlı Mesafe Düzeltmeleri
GLA06	L1B Global Yükseklikler
GLA07	L1B Global Geri Yansıma
GLA08	L2 Global Planet Sınır ve Yükseltmiş Aerosol Tabakaları Yüksekliği
GLA09	L2 Global Çok Katmanlı Bulutlar için Bulut Yükseklikleri
GLA10	L2 Global Aerosolların Düşey Yapısı
GLA11	L2 Global İnce Bulut / Aerosol Optik Derinlikler
GLA12	L2 Polar Buz Tabakası Altimetrisi
GLA13	L2 Deniz Buzulları Altimetrisi
GLA14	L2 Global Arazi Yüzeyi Altimetrisi
GLA15	L2 Okyanus Altimetrisi
GLA16	L3 Global Yükseklik ve Atmosfer (HDF-EOS)

ICESat sistemi, 40 Hz frekans ve 1.064 μm dalga boyunda lazer ışınlarını 5 ns veya 1 ns olmak üzere iki farklı örnekleme aralığında yeryüzüne gönderir. GLAS sistemi dalga formunda (waveform) 1,92 milyar lazer verilerini küresel ölçekte toplamıştır (Narine vd., 2019). Yeryüzünden geri yansıyan enerji, 544 birimde ayak izi şeklindeki sınırlar içinde dikey bir profil olarak sistem tarafından kaydedilir. Örnekleme aralıklarına göre bu sistemden elde edilen veriler 15 cm (1 ns) ve 75 cm (5 ns) çözünürlüğe sahiptir. Sistem yüzeyden yansıyan enerjiyi zamanın bir fonksiyonu olarak kaydeder.

Şekil 5 bitki örtüsü üzerinden elde edilen GLAS verisinin ayak izini, ayak izi sınırları içerisindeki sayısal yükseklik verisini ve o alana ait dalga formu verisini göstermektedir. GLAS verisindeki dalga formunun şekillenmesinde GLA14 (level 2) verisinden yararlanılmaktadır.

GLAS dalga formları farklı yüksekliklerde Gauss pikleri kullanılarak yumuşatılmıştır. GLA14 verisi dalga formlarının şeklini sağlayan altı Gauss dağılım eğrisini içermektedir. GLAS dalga formu verilerinde, ilk sinyal (son Gauss pik) maksimum yüksekliği, son sinyal (ilk Gauss pik) zemin verilerini ve HOME adı verilen meydan enerji bilgileri mevcuttur. GLAS verilerini yeryüzünde yapılan çalışmalarda kullanırken istatistiksel analizler uygulamak gerekmektedir. GLAS dalga formu enerjisinden elde edilen farklı yükseklik yüzdeleri (% 0 (RH0), % 25 (RH25), % 50 (HOME-medyan), % 75 (RH75), % 90 (RH90) ve % 100 gibi) istatistiksel analizlerde (regresyon analizleri) girdi parametreleri olarak kullanılmaktadır. İstatistiksel analizler gerçekleştirildikten sonra en uygun model seçilerek çalışmanın amacına ulaşılmaktadır.



Şekil 5. GLAS ayak izi ve kapladığı alandan elde edilen veriler.

2.3. ICESat-2 Sistemi ve Veri Türü

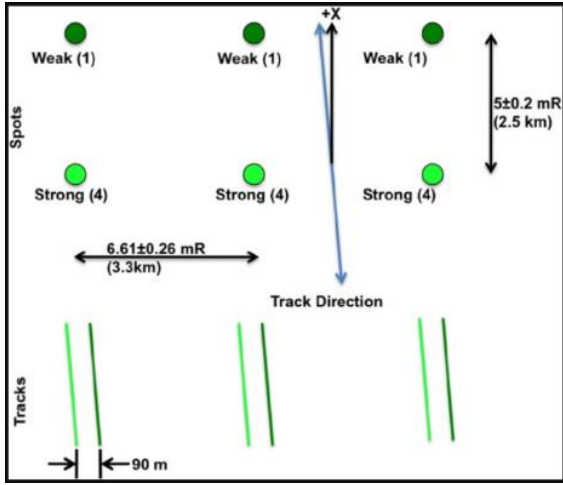
ICESat/GLAS sistemi 2003'ten 2009'a kadar olan görevinde yeryüzünün yüksekliğini ve değişimlerini başarılı olarak incelemiş ve lazer altimetre kullanımına öncülük etmiştir. ICESat/GLAS'ın başarısının bir sonucu olarak, Ulusal Araştırma Konseyi'nin (National Research Council-NRC) talebi ile ICESat-2 sistemi NASA tarafından 15 Eylül 2018 yılında yörüngeye gönderilmiştir (URL-3; Narine vd., 2019). ICESat-2 sistemi ICESat/GLAS sistemine kıyasla uygulama alanı daha geniş olan veriler sunmaktadır. ICESat-2 ayrıca dağ buzulu ve buz örtüsü kotlarındaki değişiklikler, arazi ve bitki örtüsü yükseklikleri, iç su yükseltileri, deniz yüzeyi yükseklikleri ve bulut katmanları ve optik kalınlık hakkında bilgi sağlamaktadır. Bunlara ek olarak ICESat-2 kıta çapında tahminlere izin vermektedir. Bu sistem 15 yıl boyunca Greenland ve Antarktika buz tabakalarının hacmindeki değişim ve deniz-buz kalınlığının uzun vadeli analizinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

ICESat-2 sisteminin ICESat/GLAS sisteminden en büyük farkı ICESat uydusuna GLAS lazer sistemi yerine Advanced Topographic Laser Altimeter System (ATLAS) sisteminin takılmasıdır. GLAS ve ATLAS sistemleri arasında önemli farklılıklar vardır. Bu farklılıklar Tablo 3'de özetlenmiştir.

Tablo 3. GLAS ve ATLAS sistemlerinin karşılaştırılması (Markus vd., 2017).

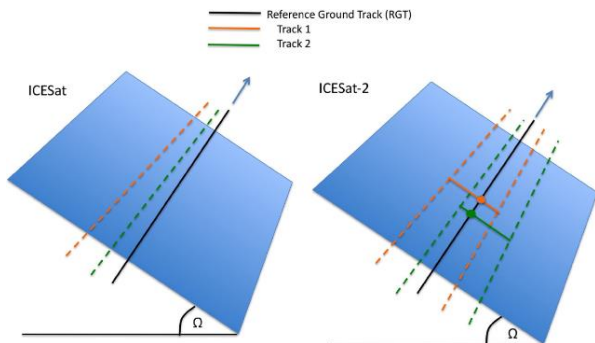
Özellikler	GLAS	ATLAS
Ölçüm yaklaşımı	Enerji dalga formu	Foton sayma
Dalga boyu	1064 nm	532 nm
Tekrarlama frekansı	40 Hz	10 kHz
Işın sayısı	1	6 (birbirine 3,3 km uzaklıkta 3 çift ışın)
Ayak izi boyutu	70 m	14 m
Hat boyunca örnekleme	172 m	0.7 m

Orijinal ICESat tasarımının aksine, ICESat-2 mikro-darbeleri yani çoklu ışın yaklaşımı kullanmaktadır. GLAS sistemi tek bir ışın (single beam) üretirken, ATLAS sistemi birbirine 3,3 km uzaklıkta üç çift ışın yayar. Her bir çift içindeki ışınların birbirine olan mesafesi 90 metredir (Markus vd., 2017). Her ışın 17 m çapında bir ayak izine sahip olup her iki ayak izi arasındaki mesafe 70 cm'dir. ICESat-2'nin örnekleme geometrisi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. ICESat-2 örnekleme geometrisi (Markus vd., 2017).

GLAS yakın kızılötesi bölgesinde darbeleri yayarken, ATLAS 532 nm'de yeşil dalga boyunu kullanmaktadır. ATLAS sistemi, mekansal çözünürlüğünün daha iyi olması, örnekleme aralığının daha fazla olması ve tek foton lidarı (single photon lidar-SPL) ile veri toplaması özellikleri ile yeryüzüne ait daha detaylı bilgiler toplamaktadır. Çoklu ışın yaklaşımı daha gelişmiş ve detaylı mekansal kapsama sağlamaktadır. Ayrıca, çoklu ışın konfigürasyonu yüzey eğiminden bağımsız olarak yıllık ve mevsimsel yükseklik değişimi tespiti destekler (Markus vd., 2017). Şekil 7'de görüldüğü gibi bilinmeyen bir eğimde Ω ve birbirine yakın hatlarda arazideki yükseklik değişimlerini iki ayrı ışın (ICESat- single beam) ile belirlemek imkansızdır. ICESat-2 sisteminden yeryüzüne gönderilen her bir ışın çifti tarafından ölçülen yüksekliklerin enterpolasyonu ile yükseklik değişimleri elde edilebilir.



Şekil 7. ICESat/GLAS ve ICESat-2 sistemlerinden elde edilen yükseklik değişimlerinin kıyaslanması (Markus vd., 2017).

ATLAS sistemine entegre biri birincil diğeri yedek olmak üzere iki lazer sistemi bulunmaktadır. ATLAS sisteminde lazerler, 2.6 metre çapında teleskop ve dedektörle birlikte lazer referans sistemi olarak adlandırılan bir ekipmanda bulunmaktadır. Bu sistem lazerin nereye işaret ettiğini kontrol eder ve teleskopla aynı hizada olmasını sağlar. Ayrıca, lazer referans sistemi teleskopun işaret ettiği nokta ile uzay aracı arasında bağlantı kurar.

GLAS sistemine kıyasla sistem yeryüzüne saniyede 40 darbe (40 Hz) yerine saniyede 10,000 darbe (10 kHz) gönderir. Darbeler yeryüzüne ışınlanmadan önce bir dizi mercek ve ayna boyunca ilerler. Lazerler ilerleme kaydederken otomatik olarak sistemin zamanlama mekanizmasında kronometre başlatılır, lazerin dalga boyu kontrol edilir, zemin ayak izinin boyutu ayarlanır, lazer ve teleskop mükemmel bir şekilde hizalanır ve lazer altı ışına bölünür.

ATLAS sistemi her darbeye yaklaşık 20 trilyon foton yeryüzüne gönderilir ve geri dönen fotonlar teleskopta toplanır. Fotonların yeryüzüne gönderiliş zamanı, sisteme geri dönüş zamanı, uydunun konumu ve ışık hızı katsayısı bilgileri kullanılarak her bir fotonun yolculuk zamanı belirlenebilmekte ve mesafe tayini yapılmaktadır. ATLAS sisteminden elde edilen verilerin listesi Tablo 4'de özetlenerek verilmiştir. Diğer sistemlerde olduğu gibi veriden veri türetilerek veri sayısı ve kullanım alanları artırılabilir.

Tablo 4. ICESat-2 veri listesi (URL-3).

Veri Kodu	Verinin içeriği
ATL00	Telemetri Verileri
ATL01	Yeniden Formatlanmış Telemetri
ATL02	Bilimsel Birime Dönüştürülmüş Telemetri
ATL03	Global Coğrafi Konumlu Foton Verileri
ATL04	Ayarlanmamış Geri Yansıma Profilleri
ATL06	Arazi Buz Yüksekliği
ATL07	Arktik/Antarktika Deniz Buz Yüksekliği
ATL08	Arazi Su Bitki Örtüsü Yüksekliği
ATL09	Kalibre Edilmiş Geri Yansıma ve Bulut Özellikleri
ATL10	Arktik / Antarktika Deniz Buzulları tam yüksekliği
ATL11	Antarktika / Grönland Buz Tabakası H (t) Serisi
ATL12	Okyanus Yüksekliği
ATL13	İç Suların Yüksekliği
ATL14	Antarktika / Grönland Buz Tabakası H (t) Gridli
ATL15	Antarktika / Grönland Buz Tabakası dh / dt Gridli
ATL16	ATLAS Haftalık Atmosfer
ATL17	ATLAS Aylık Atmosfer
ATL18	Gridli Arazi/Kanopi
ATL19	Ortalama Deniz Yüzeyi (MSS)
ATL20	Arktik / Antarktika Gridli Deniz Buzu Tam Yüksekliği
ATL21	Kuzey Kutbu / Antarktika Gridli Deniz Yüzeyi Yüksekliği

3. KULLANIM ALANLARI

Uzaktan algılama ve fotogrametrik sistemlerinin farklı platformlara entegre edilmesinin en önemli sebeplerinden biri bu sistemlerin

uygulama ve kullanım alanlarını genişletmektedir. Farklı ölçekli çalışmalar yeryüzüne ait güncel ve doğru bilgilerin elde edilmesini, yeryüzünün belirli periyotlarda monitörlenmesini, verilerin depolanmasını ve birbirinden farklı yapıdaki verilerin bir arada analizini gerektirmektedir.

PALS sistemi özellikle ormanlık alanlarda profil ve yükseklik verileri elde etmek amacı ile geliştirilmiştir. Genel olarak PALS sistemi herhangi bir alanın profilini elde etme, orman ve vejetasyon çalışmalarında; minimum ve maximum ağaç yüksekliği, ortalama taç yüksekliği ve varyansı, kuadratik ortalama yükseklik ve farklı yükseklik dilimleri (%25, %75, % 90 gibi) elde etme amacı ile kullanılmaktadır. PALS sisteminden elde edilen bu yükseklik verileri bağımsız değişkenler olarak istatistiksel tahminleme modellerinde kullanılmaktadır. Bu bağımsız değişkenler ile biyokütle, karbon, yaban hayatı alanlarının belirlenmesi, ortalama taç yüksekliği ve varyansı, tür belirleme, kapalılık örtüsü ve hacim verileri elde edilebilmektedir (Nelson 2003; Nelson vd. 2008; Nelson vd. 2004). Yerleşim alanlarında; bina ve elektrik direği yüksekliklerini ölçme, hat etüdü, boru hatlarının belirlenmesi, topoğrafyadaki kot farklarını belirleme gibi çalışmalarda kullanılabilir. Ayrıca, profil verilerinden zemin tespitleri yapılabilmektedir. Özellikle zemin bilgisi Jeodezik çalışmalarda büyük önem taşımaktadır. PALS sisteminden elde edilen veriler diğer fotogrametrik sistemlerden elde edilen verilerin doğruluk analizinde de kullanılmaktadır (Boudreau vd., 2008).

ICESat/GLAS sistemi yüzey altimetrisini, yoğun bulutların yükseklik bilgilerini, bulutların ve aerosollerin dikey dağılımını ve buz tabakalarındaki kütle dengesini ölçmek ve izlemek amacı ile tasarlanmıştır. Bu sistemden elde edilen veriler kıyı şeritlerinde sayısal yükseklik modeli (Wang vd., 2018), yaprak alan indeksi (Yang vd., 2019; Garcia vd., 2012), hassas sayısal yükseklik modeli (Yue vd., 2017), hidroloji (Carabajal vd., 2006), biyokütle (Nelson et al., 2009), vejetasyon kütle yoğunluğu, global vejetasyon yüksekliği (Garcia vd., 2012; Lefsky vd., 2007), ormanlık alanların dikey yaprak profili, arazi kullanımının sınıflandırılmasında, arazi yüksekliği (Tang vd., 2014), kapalılık örtüsü gibi çalışmalarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. ICESat/GLAS verisi ile yapılan ilk çalışmalarda gerçekleştirilen tahminleme ve ölçümler ayak izi sınırları içerisindeydi. Daha sonra bu verisi ile tüm çalışma alanını kapsayan (wall-to-wall map) orman taç yükseklik, taç kapalılık ve arazi yüksekliği ve klimatoloji haritaları oluşturulmuştur (Lefsky 2010; Simard vd., 2011).

ICESat/GLAS sisteminin başarısının bir sonucu olarak geliştirilen ICESat-2 sisteminden elde edilen verilerin kullanım alanı daha geniştir. ICESat/GLAS sisteminden elde edilen verilere ek olarak ICESat-2 sistemine entegre olan ATLAS sistemi bitki örtüsünün taç/tepe yükseklikleri için optimize edilmiş ölçümlerle kara ve okyanus alanlarının orta ve alt enlemlerinden veri toplamaktadır. Yani bu

sistemden elde edilen veriler küresel karbon envanter değerlendirmesine olanak sağlamaktadır. Bu envanter, küresel karbon bütçesinin tahmininde ve hesaplamasında kritik öneme sahiptir. ICESat-2 sisteminden elde edilen veriler bitki örtüsü taç yüksekliği, bölgesel ve küresel topografik analizleri, büyük ölçekli biyokütle ve biyokütle değişiminin tahmini, buz tabakası değişiklikleri, deniz seviyesindeki yükseklik değişimleri, buzul terminalindeki değişiklikleri, küresel iç suların kütle yüksekliklerinin hesaplanması, okyanus ve dalga yüksekliklerinin hesaplanması ve karasal kar kalınlığının hesaplanması ve atmosferik çalışmalarda kullanılmaktadır. Diğer sistemlerde olduğu gibi bu sistemden elde edilen verilerin kullanım ve uygulama alanlarının yapılacak olan bilimsel araştırmalarla artacağı beklenmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 sistemleri ve bu sistemlerden elde edilen verilerin kullanım alanları açıklanmıştır. Sonuç olarak, PALS sistemi bölgesel çalışmalarda kullanılırken ICESat/GLAS ve ICESat-2 sistemleri hem bölgesel hemde küresel ölçekli çalışmalarda kullanılabilir. ICESat/GLAS ve ICESat-2 sistemleri ile detaylı araştırmaların yapılabilmesi için Quickbird, Landsat, ASTER ve MODIS gibi yüksek, orta ve/veya düşük çözünürlüklü verilerin entegrasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. ICESat/GLAS ve ICESat-2 sistemlerinden elde edilecek olan istatistiksel parametrelerin doğru hesaplanması ve doğru modelin ortaya çıkmasına ve dolayısıyla daha doğru tahminlemelerin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca, havasal lidar verilerinin bu verilerle entegrasyonu ile daha güçlü ve doğru tahminlemeler yapılmaktadır. Havasal lidar sistemi yeryüzü ile ilgili yapılan çalışmalarda başarısını kanıtlamış durumdadır. Yapılan ölçümlerin ve haritalamaların başarısı defalarca test edilmiştir. Sonuç olarak, havasal lidar verileri PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 sistemleri ile yapılan çalışmaların doğruluk analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

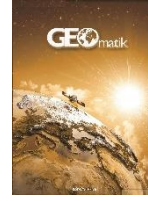
Lazer verilerinin yelpazesinde olan bu gelişmeler yeryüzüne ait bilgilerin toplanmasına ve haritalanmasına farklı alternatifler sunmaktadır. Görüldüğü gibi PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 sistemlerinden elde edilen veriler birçok disiplin tarafından kullanılmaktadır. Fotogrametri ve uzaktan algılama verileri ile haritalama ve modelleme yapan bilimsel araştırmacılar bu verilerden önemli derecede faydalanabilir. Bu verilerin daha fazla kullanılması farklı disiplinlerle daha güçlü bilimsel çalışmalara olanak sağlayacaktır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılmayan bu sistemlerin tanıtımı kullanıcı ve araştırmacı kitlesindeki artış açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Carabajal, C. C., Boy, J. P., Luthcke, S. B., Harding, D. J., Rowlands, D. D., Lemoine, F. G., Chin, D. S., (2006). Recovery of Three-Gorges reservoir impoundment signal from ICESat altimetry and GRACE. American Geophysical Union, Fall Meeting, abstract no. G13C-06, 87 (52).
- Garcia, M., Popescu, S., Riano, D., Zhao, K., Neuenschwander, A., Agca, M., Chuvieco, E. (2012). Characterizing of canopy fuels using ICESat/GLAS data. *Remote Sensing of Environment*, 123, 81-89.
- Hilbert, C., ve Schmulilius, C. (2012). Influence of Surface Topography on ICESat/GLAS Forest Height Estimation and Waveform Shape. *Remote Sensing*, 4, 2210-2235; doi:10.3390/rs4082210.
- Lefsky, M.A., (2010). A Global Forest Canopy Height Map from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer and the Geoscience Laser Altimeter System. *Geophysical Res.Letter*. 37, 5-11.
- Lefsky, M.A., Keller, M., Pang, Y., de Camargo, P.B., Hunter, M.O., (2007). Revised Method for Forest Canopy Height Estimation from Geoscience Laser Altimeter System Waveforms. *Journal Application Remote Sensing*. 1, 18.
- Markus, T., Neumann, T., Martino, A., Abdalati, W., Brunt, K., Csatho, B., Farrell, S., Fricker, H., Gardner, A., Harding, D., Jasinski, M., Kwok, R., Magruder, L., Lubin, D., Luthcke, S., Morison, J., Nelson, R., Neuenschwander, A., Palm, S., Popescu, S., Shum, C.K., Schutz, B.E., Smith, B., Yang, Y., Zwally, J., 2017. The Ice, Cloud, And Land Elevation Satellite-2 (Icesat-2): Science Requirements, Concept, and Implementation. *Remote Sensing of Environment*, 190, 260–273.
- Narine, L.L., Popescu, S., Neuenschwander, A., Zhou, T., Srinivasan, S., Harbeck, K. (2019). Estimating Aboveground Biomass and Forest Canopy Cover with Simulated ICESat-2 data. *Remote Sensing of Environment*, 224, 1-11.
- Nelson, R., Parker, G., Hom, M., (2003). A Portable Airborne Laser System for Forestry Inventory. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69, (3), 267-273.
- Nelson, R., Næsset, E., Gobakken, T., Ståhl, G., Gregoire, T. 2008. Regional Forest Inventory Using an Airborne Profiling LiDAR. *Journal of Forest Planning*, 13, 287 - 294.
- Nelson, R. F., Ranson, K. J., Sun, G., Kimes, D. S., Kharuk, V., & Montesano, P. (2009). Estimating Siberian Timber Volume using MODIS and ICESat/GLAS. *Remote Sensing of Environment*, 113, 691-701.
- Neuenschwander, A. L., Urban, T. J., Gutierrez, R., & Schutz, B. E. (2008). Characterization of ICESat/GLAS Waveforms over Terrestrial Ecosystems: Implications for Vegetation Mapping. *Journal of Geophysical Research*, 113, 18-24.
- Pang, Y., Lefsky, M., Sun, G., Miller, M. E., & Li, Z. (2008). Temperate Forest Height Estimation Performance using Icesat GLAS Data from Different Observation Periods. *Proceedings of the ISPRS ISS VII, Beijing, China*, 777-782.
- Simard, M., Rivera-Monroy, V. H., Mancera-Pineda, J. E., Castaneda-Moya, E., & Twilley R. R. (2008). A Systematic Method for 3D Mapping of Mangrove Forests Based on Shuttle Radar Topography Mission Elevation Data, ICESat/GLAS Waveforms and Field Data: Application to Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Remote Sensing of Environment*, 112, 2131-2144.
- Simard, M., Pinto, N., Fisher, J.B., Baccini, A., (2011). Mapping forest canopy height globally with spaceborne lidar. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences*, 116, 12.
- Tang, H., Dubayah, R., Brogly, M., Ganguly, S., Zhang, G., (2014). Large-Scale Retrieval of Leaf Area Index and Vertical Foliage Profile From The Spaceborne Waveform Lidar (GLAS/Icesat). *Remote Sensing of Environment*, 154, 8–18.
- URL-1. <https://www.csr.utexas.edu/glas> (Son Erişim-Mart, 2019).
- URL-2. <https://nsidc.org/data/icesat/> (Son Erişim-Nisan, 2019).
- URL-3. <https://icesat-2.gsfc.nasa.gov/> (Son Erişim-Nisan, 2019).
- Wang, X., Holland, D.M., Hilmar Gudmundsson, G. (2018). Accurate Coastal DEM Generation by Merging ASTER GDEM and ICESat/GLAS Data over Mertz Glacier, Antarctica. *Remote Sensing of Environment*, 206, 218-230.
- Yang, X., Wang, C., Pan, F., Nie, S., Xi, X., Luo, S. (2018). Retrieving Leaf Area Index in Discontinuous Forest Using Icesat/GLAS Full-Waveform Data Based on Gap Fraction Model. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 148, 54-62.
- Yue, L., Shen, H., Zhang, L., Zheng, X., Zhang, F., Yuan, Q. (2016). High-quality Seamless DEM Generation Blending SRTM-1, ASTER GDEM v2

and ICESat/GLAS Observations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 123, 20-34.

Zwally, H.J., Schutz, B., Abdalati, W., Abshire, J., Bentley, C., Brenner, A., Bufton, J., Dezio, J., Hancock, Hardinga, D., Herring, T., Minster, B., Quinn, K., Palm, S., Spinhirne, J., Thomas, T. (2002). ICESat's Laser Measurements of Polar Ice, Atmosphere, Ocean, and Land. *Journal of Geodynamics*. 34, 405-445.



Burdur'da Güneş Enerjisi Santrali (GES) Yatırımına Uygun Alanların CBS Tabanlı AHP Yöntemiyle Tespiti

Cihan YALÇIN*¹, Mustafa YÜCE²

¹Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Burdur İl Müdürlüğü, Burdur, Türkiye

²Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı, Burdur Yatırım Destek Ofisi, Burdur, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Güneş enerjisi santrali (GES)
Yatırım Alanı
CBS
Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

ÖZ

Güneş enerjisinden faydalanma potansiyeli açısından ülkemizin avantajlı olduğu bilinmektedir. Ülkenin gelişmesi ile beraber artan nüfus ve sanayi sektörünün enerji tüketimi de artmaktadır. Bu sebeple enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından olan Güneş Enerjisi Santralleri (GES) ile elde edilmesi zorunlu hale gelmektedir. Güneş enerjisinden faydalanma potansiyeli bakımından Akdeniz bölgesinde Antalya'dan sonra ikinci sırada yer alan Burdur ilinde GES yatırım alanlarının belirlenmesi çalışmaları önem arz etmektedir. Bu çalışmada uzaktan algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) metodu kullanılarak Burdur ilinin potansiyel GES yatırım alanları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Burdur Merkez ilçesinden Gölhisar ilçesine kadar uzanan KD-GB hat boyunca, Ağlasun, Çeltikçi ve Bucak ilçelerinde KD-GB hat boyunca ve Yeşilova ilçesinde yaklaşık K-G hattı boyunca uygun alanlar belirlenmiştir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasında (GEPA) toplam güneş radyasyonu en yüksek ilçe olan Altınyayla ilçesi bu çalışmada GES yatırımı için en az uygun alanların olduğu ilçe olarak belirlenmiştir.

Determination of the areas for The Investment of Solar Power Plants (SPP) In Burdur via GIS Based AHP Method

Keywords

Solar Power Plants (SPP)
Investment Area
GIS
Analytic Hierarchy Process (AHP)

ABSTRACT

It is known that our country has an advantage in terms of the potential to benefit from solar energy. The energy consumption is also increasing, on the upgrade of population and industry sector within the development of the country. Therefore, it is compulsory to obtain the energy need by means of Solar Power Plants (SPP) which are renewable energy sources. In Burdur province, where the potential of benefiting from solar energy in the Mediterranean region after Antalya in the second place, determination of SPP investment areas is important. In this study, potential SPP investment areas of Burdur province were determined by using remote sensing, Geographical Information Systems (GIS) and AHP method. As a result of the study suitable areas were determined along the NE-SW line extending from Burdur Merkez to Gölhisar district, NE-SW line in Ağlasun, Çeltikçi and Bucak districts and the N-S line in Yeşilova district. In this study, it is determined that least suitable areas for SPP investment in Altınyayla district where the highest total solar radiation county on Turkey Solar Energy Potential Atlas (GEPA).

1. GİRİŞ

Coğrafi konumuna göre güneş enerjisinden faydalanma potansiyeli yüksek olan ülkemizde artan nüfus ile birlikte kalkınmada önemli bir yer tutan sanayi sektörünün enerji tüketimi de artmaktadır. Fosil enerji kaynaklarının tükenmesi (Kumar vd., 2010) ve çevreye zararlı olması (Čeřovský ve Mindl, 2008; Turner, 2008) insanlığına alternatif enerji kaynaklarına yönelmektedir. Ülkelerin gelişimine paralel olarak artan enerji ihtiyacının karşılanması, çevreci bir üretim olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve enerji verimliliğinin artırılması ile mümkündür (Özgöçmen, 2007).

Hem temiz üretim hem de tükenmeyen alternatif enerji kaynağı olan güneş enerjisi uygulamaları ülkemiz için önemli bir araştırma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır (Kırbaş vd., 2013). Ülkemizin ısısal güneş enerjisi üretimi ve kullanımı açısından dünya dördüncüsü olması (Demircan ve Alakavuk, 2008) sebebiyle güneş enerjisinin kullanımı, gündelik yaşamdan tarıma, sanayiden askeri hizmetlere kadar uzanmaktadır (Kutlu, 2002).

Ülkemizde büyük potansiyeli olan Güneş Enerji Santrali (GES) kurulumunda ve bu santralin kurulacak yerinin belirlenmesinde birçok çalışmalar yapılmıştır. Kurulum masrafının yüksek olması ve GES yer seçimi konusunda birçok değişkenin etkili olması (Effat, 2013) sebebiyle yer seçimi çalışmalarında konumsal verilerin elde edilmesi ve yorumlanması Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) kullanılması ile mümkündür (Khan ve Rathi, 2014).

Son yıllarda birçok kritere göre CBS tabanlı yer seçimi çalışmaları gerçekleştirilmiş (Uyan, 2013, 2017; Erol, 2014; Wu ve Geng, 2014; Gürbüz ve Obut, 2015; Khan ve Samadder, 2015; Guo ve Zhao, 2015; Xu ve ark., 2015) ve başarı sağlanmıştır. Uyan (2017) Çumra (Konya) ilçesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan AHP metodunu CBS ortamında değerlendirerek uygun GES alanlarını belirlemiştir. Çalışmada seçilen yerleşim alanlarına olan uzaklık, eğim, arazi kullanımı, trafo merkezi ve iletim hatlarına olan uzaklık, yol ve demir yoluna uzaklık kriterleri dünyada daha önce yapılan benzer çalışmalara göre (Sanchez vd., 2013; Tahri vd., 2015; Watson ve Hudson, 2015) seçilmiş ve değerlendirilmiştir. Ayday vd., (2016) Eskişehir ilinde GES yer seçimi için arazi eğimi, arazinin bakı özellikleri, arazinin toprak durumu ve jeolojisi, dağıtım şebekelerine yakınlık gibi kriterler ile uygun alanları belirlemiştir.

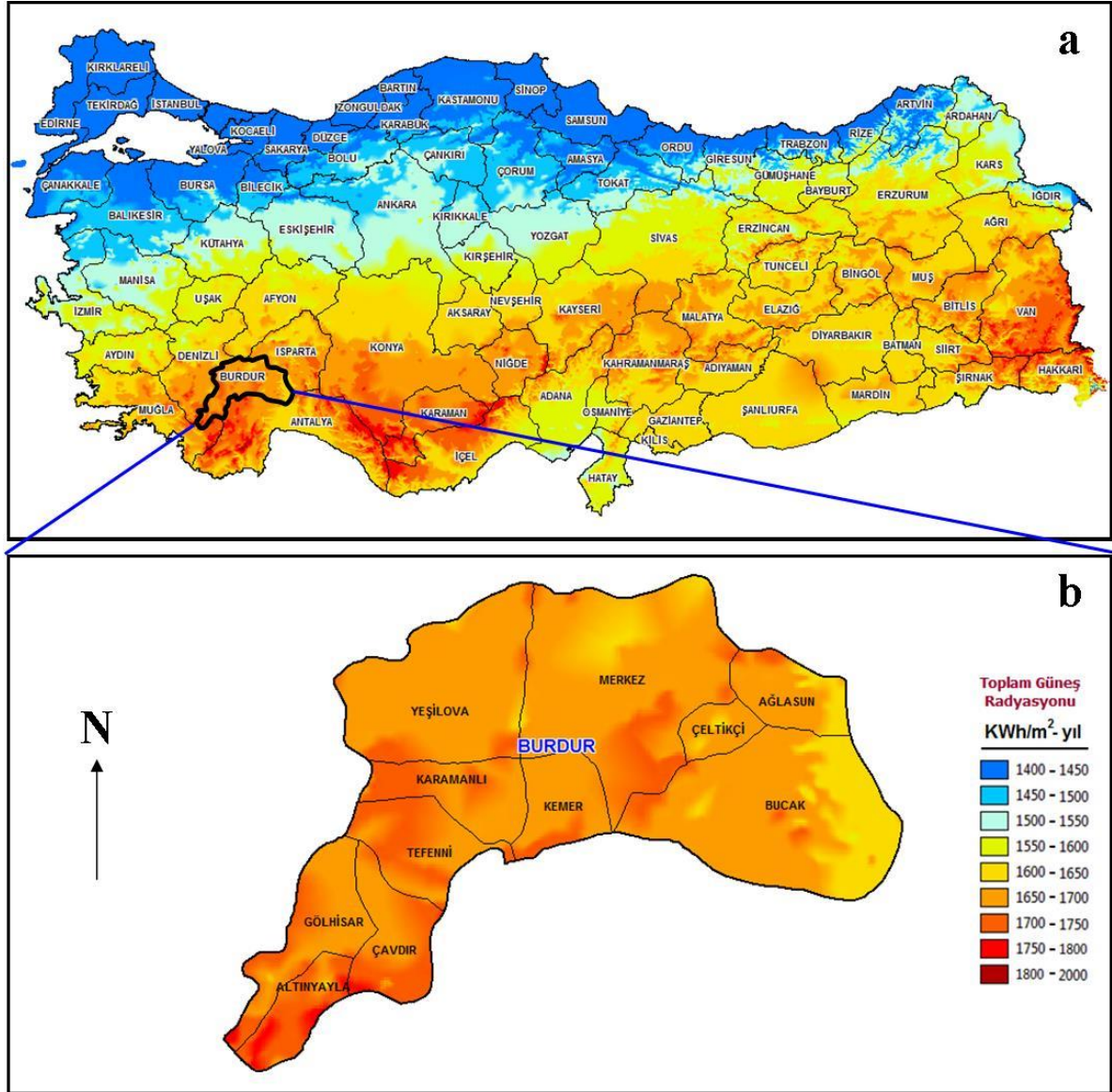
Burdur ilinde güneş enerjisi konusunda yapılan çalışmalarda Kırbaş ve ark. (2013) ilin güneş enerjisi potansiyelinin ve güneşlenme oranını, Kılıç ve Kumaş (2016) ise yapay sınır ağları metodu ile ilin gelecekteki aylık ortalama güneşlenme şiddeti değerlerini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada Burdur il sınırları içerisinde birlikte birçok değişken kullanılarak uygun GES yatırım alanlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bilindiği üzere Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) (Şekil 1a) ülkemiz ve Burdur İli için belli bir fikir vermektedir (URL 1). Toplam Güneş radyasyonu bakımından Burdur ilinin (Şekil 1b) genelinin ortalama 1650-1700 kWh/m²'nin üzerinde olması GES yatırımlarının yapılabileceğini göstermektedir. Bu sebeple GES yatırım alanları için elde edilen değişkenler Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) metodu (Saaty, 1980; Wind ve Saaty, 1980) kullanılarak CBS ortamında değerlendirilerek analiz edilmiştir.

2. YÖNTEM

Burdur, Güneş enerjisi bakımından Akdeniz Bölgesi'nde Antalya'dan sonra yüksek potansiyele sahip il konumundadır. Türkiye'nin aylık bazda ortalama günlük ışınım şiddeti yaklaşık 4,2 kWh/m² iken, Burdur'un yaklaşık 4,5 kWh/m²'dir. Burdur ilinin yıllık ortalama toplam global radyasyon değeri ise yaklaşık 1635 kWh/m²'dir ve bu değer hem Akdeniz Bölgesi (1390 kWh/m²) hem de Türkiye geneli (1527 kWh/m²) ortalamasından oldukça yüksektir (Çifci ve Altundağ, 2017). Bu durum Burdur'un güneş enerjisi alanında yatırım yapmak için en uygun illerimizden biri olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada Açık Kaynak Kodlu CBS yazılımı QGIS kullanılmıştır (URL 2). Burdur İlinde verilerin değerlendirilmesi için USGS (URL 3)'den ücretsiz olarak indirilen 30 m mekânsal, 16 bit radyometrik çözünürlüklü, SRTM sayısal yükseklik modeli ile OpenStreetMap'ten (URL 4) enerji nakil hatlarına uzaklık, sulak alanlar, yerleşim alanları ve yolların konumları kullanılmıştır.



Şekil 1. a. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEP), b. Burdur Ölçeği (URL 1'den alınarak düzenlenmiştir)

2.1. Kriterler

Karar verme sürecinde önemli yer tutan kriterlerin ölçülebilir olması gerekmektedir (Uyan, 2017). GES için uygun yer seçiminin yapılması konusunda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının kesin kuralları bulunmamaktadır. Ancak yer seçiminde kısıtlayıcı faktörün alanın tarımsal arazi statüsünde olup olmadığı durumudur (Uyan, 2017). Bu sebeple GES yer seçiminde arazinin eğim ve ulaşım durumu, tarımsal statüsü, güneş enerjisi potansiyeli, topoğrafik yapısı, şebeke bağlantısı, jeolojik yapısı ve mülkiyet durumu gibi kriterlere göre çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Uyan, 2017). Bu çalışmada kullanılan kriterler ise aşağıda açıklanmaktadır:

2.1.1. Bakı durumu

GES kurulumu için önemli bir kriter olan bakı durumu için ilin kuzey ve güney yönlü alanları belirlenir. Güney yönlü araziler güneş ışığından daha fazla faydalanacağı için bu arazilerin belirlenmesi önemlidir.

2.1.2 Eğim

Tesis kurulumu için en önemli kriterlerden olan arazi eğimi (Uyan, 2017) % 3'ten küçük olmalıdır (Hang vd., 2008). Bu çalışmada eğimi 3'ten küçük ve büyük araziler sınıflandırılmıştır.

2.1.3. Enerji nakil hatlarına uzaklık

Tesis kurulumunda trafo merkezi ve dağıtım hatlarına yakınlık maliyet açısından avantaj sağlamaktadır. Enerji nakil hatlarına

olan uzaklıklar 500m altında ve üstünde olacak şekilde sınıflandırılmıştır.

2.1.4. Yol

Ekonomik ve verimli bir yer seçimi için yollar önemli bir kriterdir. Ana yollara yakın alanlarda yapılacak alt yapı çalışmalarında maliyet düşebilmektedir (Uyan, 2017). Bu sebeple 500 m aralıklarda sınıflandırma gerçekleştirilmiştir.

GES tesisleri sulak alanlarda ve yerleşim yerlerinde kurulamayacağından dolayı bu alanların belirlenmesi gerekmektedir. Bundan dolayı sulak alanlar ve yerleşim yerlerinin tematik haritaları hazırlanmıştır.

2.2. Verilerin Analizi

Burdur ili sınırları içerisinde Güneş Enerji Santrali kurulabilecek en uygun ilçeler ve alanlar; topoğrafya (eğim, bakı), şebeke bağlantısı (enerji nakil hattına ve trafo merkezine uzaklık), enerji tüketim bölgelerine uzaklık (yerleşim mücavir alan sınırları), ulaşım (karayolu ve demiryoluna uzaklık), sulak alanlar gibi kriterler ele alınarak CBS ortamında AHP metodu kullanılarak analiz edilmiştir. Kriterler içerisinde eğim, bakı, enerji nakil hattına uzaklık ve yol parametreleri AHP metodu ile değerlendirilmiş ve çıkan sonuçlar üzerine sulak alanlar ve yerleşim yerleri eklenmiştir.

3. BULGULAR

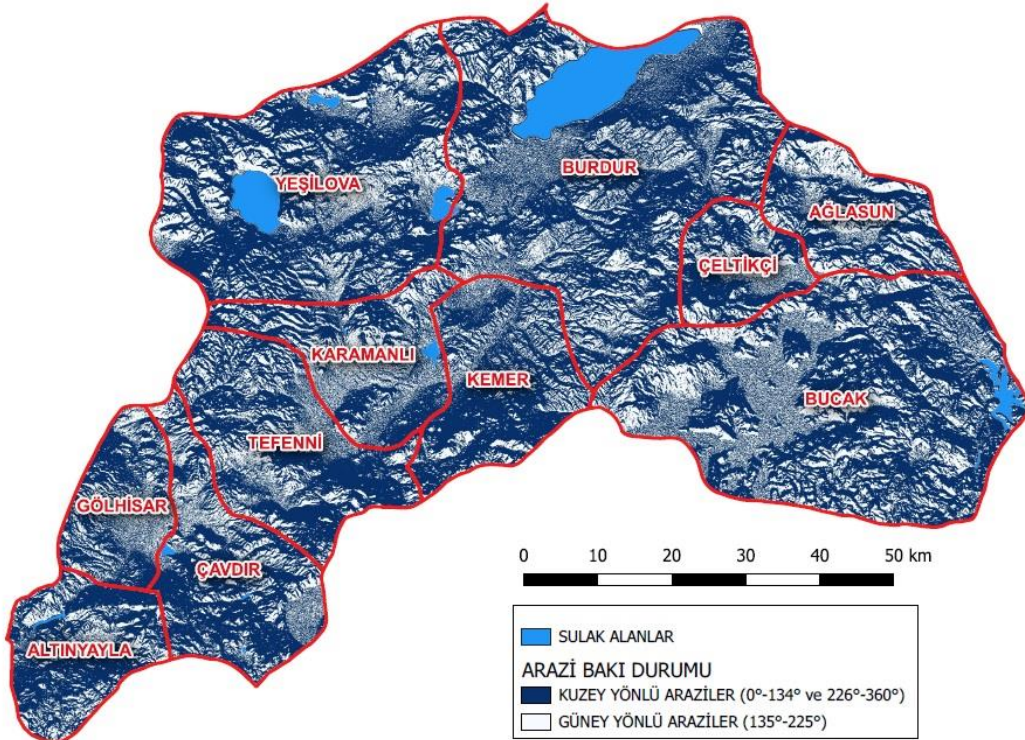
Öncelikle ile ait kuzey ve güney yönlü araziler belirlenmiş ve ilin bakı durumu ortaya konmuştur (Şekil 2).

Bakı haritası incelendiğinde Burdur ilinin genel olarak arazi bakışı güneye doğrudur. Altınyayla, Çavdır, Tefenni ve Kemer ilçelerindeki arazilerin ise daha çok kuzey yönlü olduğu görülmektedir.

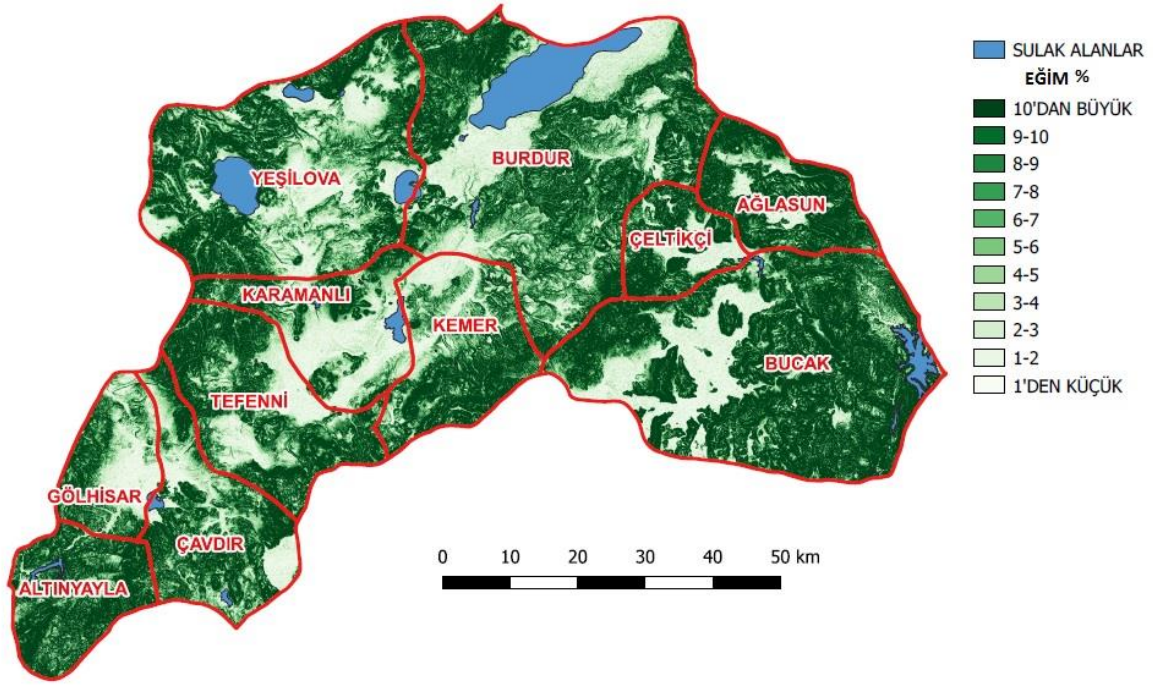
GES kurulumu için uygun olan alanın eğim durumunun $\leq 3^\circ$ olması gerekmektedir (Hang vd., 2008). Bu sebeple il sınırlarındaki arazilerin eğimleri sınıflandırılarak Burdur İline ait eğim haritası oluşturulmuştur (Şekil 3).

Harita incelendiğinde Burdur Merkez ilçesinden Gölhisar'a kadar KD-GB uzanımlı bir hatta Yeşilova ilçesinde K-G uzanımlı bir hatta Bucak ilçesi batısı ve Çeltikçi güneydoğusunda düşük eğimli arazilerin görüldüğü, Altınyayla ve Ağlasun ilçelerinde ise daha çok yüksek eğimli arazilerin görüldüğü belirlenmiştir.

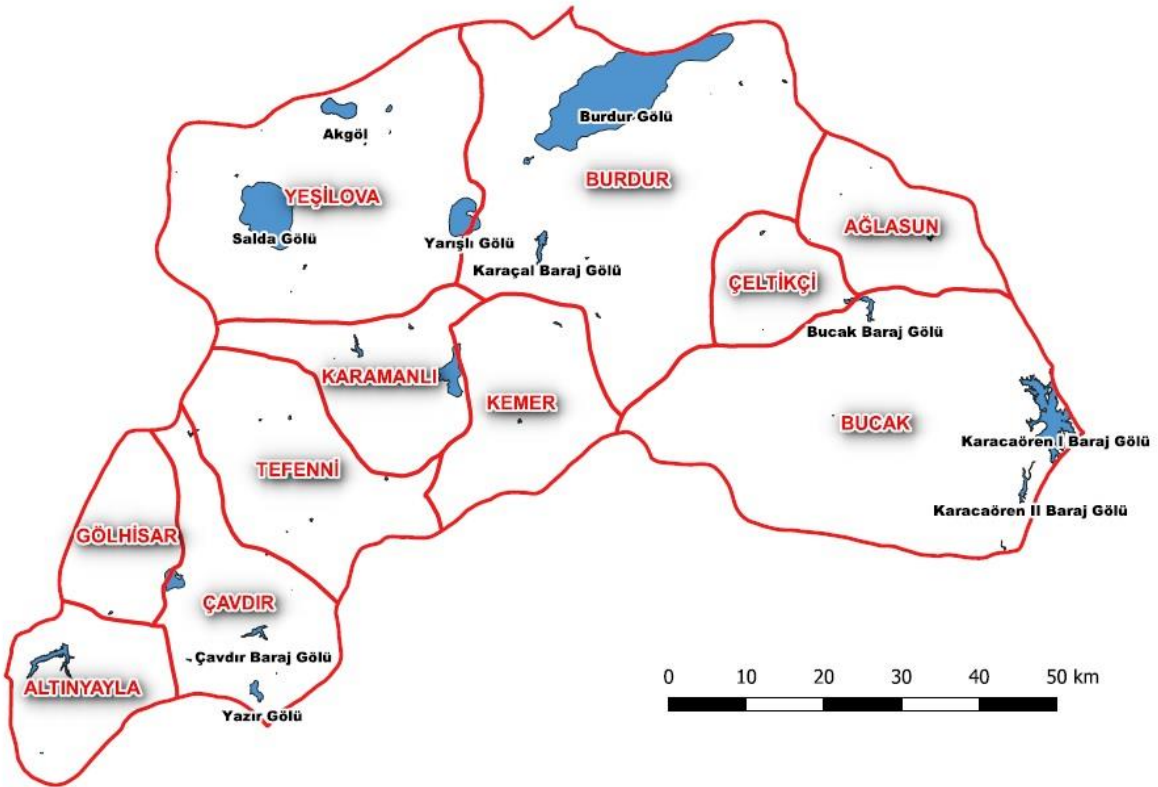
Konumsal analiz çalışmaları kapsamında da Burdur iline ait sulak alanlar (Şekil 4) ve yerleşim yerleri (Şekil 5) haritaları hazırlanmıştır. Enerji nakil hatlarına olan uzaklık (Şekil 6) ve yola olan uzaklıklar (Şekil 7) 500 m'den küçük ve 5000 m'den büyük olacak şekilde sınıflandırılmış ve tematik haritası hazırlanmıştır.



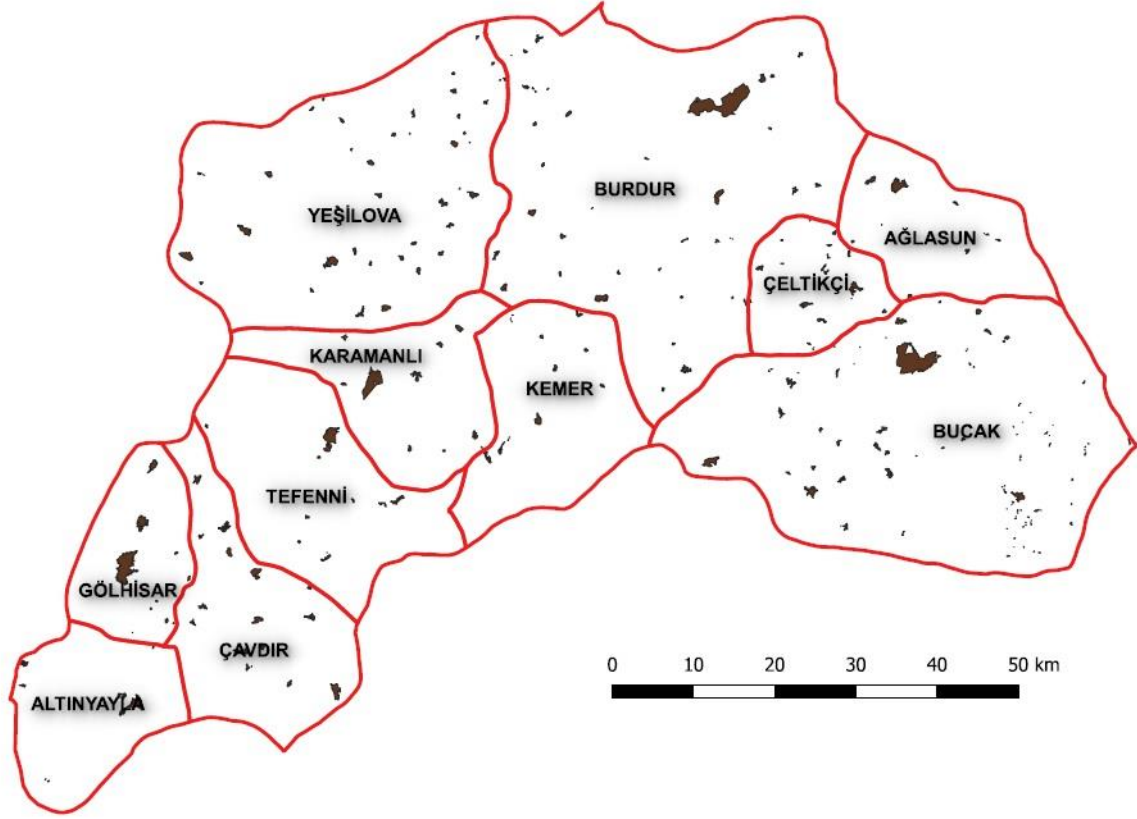
Şekil 2. Burdur iline ait arazi bakı durumu haritası



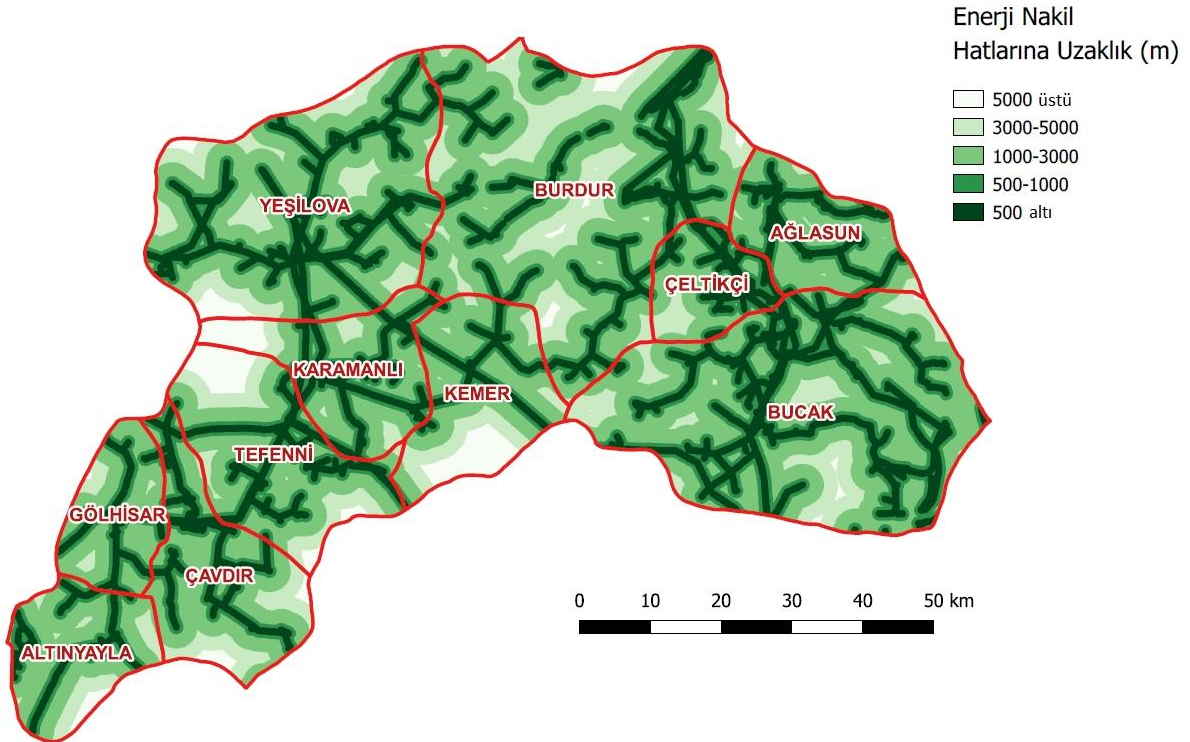
Şekil 3. Burdur İli Eğim Haritası



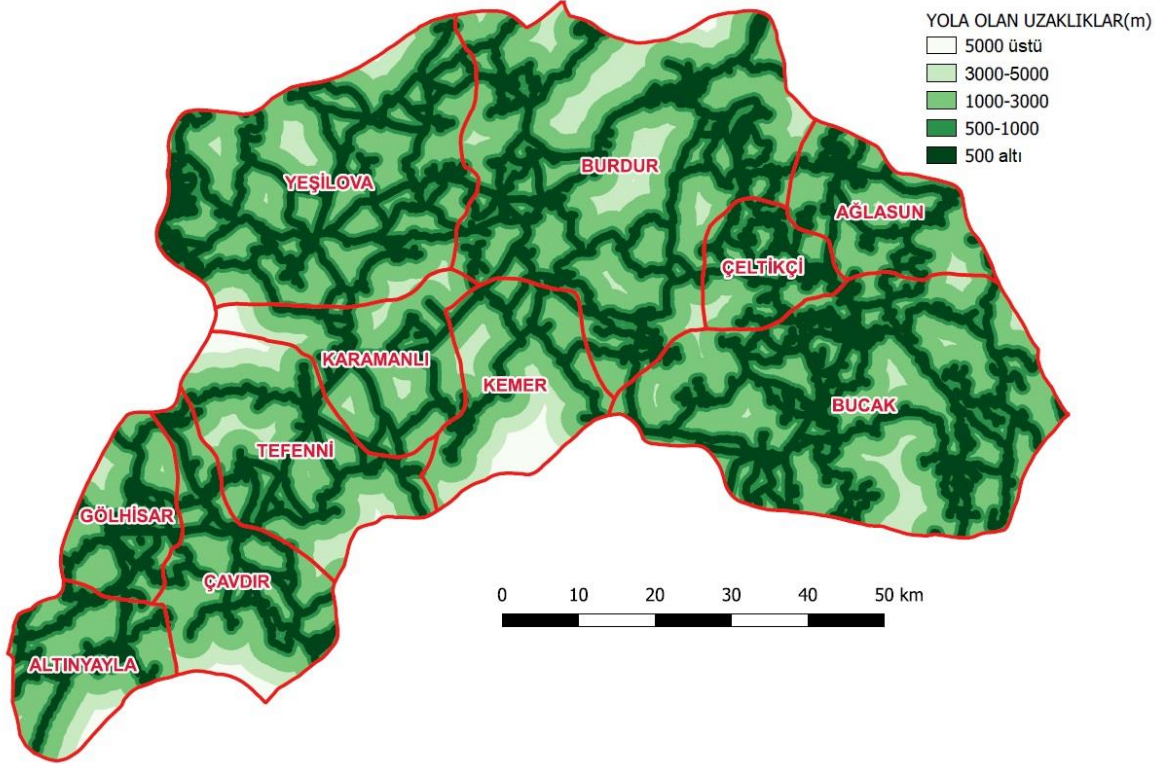
Şekil 4. Burdur Sulak alanlar haritası



Şekil 5. Burdur yerleşim alanları haritası



Şekil 6. Enerji nakil hatlarına uzaklık haritası



Şekil 7. Yola olan uzaklıkların tematik haritası

3.1. AHP ile Kriterlerin Değerlendirilmesi

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan AHP metodu son yıllarda mekânsal planlamada kullanılan en etkili metotlardan biridir (Chen vd., 2009; Ayday vd., 2014; Yalçın ve Sabah, 2017). Bu metotta derecelendirme önem ölçeği dikkate alınarak kriterlere 1 ile 9 arasında ağırlık verilmektedir (Saaty, 1994). Kriterlerin ağırlığı AHP metodunda sonucun elde edilmesinde önemli olup (Chen vd., 2009) ağırlıklar karar vericilerin tercihlerine bağlı olarak da farklı ağırlıklarda olabilmektedir (Öztürk ve Batuk, 2007).

Bu çalışmada AHP analizi için belirlenen dört kriter (eğim, bakı, enerji nakil hattına uzaklık ve yol) internet ortamında (URL 5) Goepel (2018) tarafından AHP analizi için hazırlanan ücretsiz yazılımda değerlendirilmiştir. Öncelikleri için ikili karşılaştırma yapılmıştır (Şekil 8). Kriterlerin önemine göre AHP cetvelinde 1-9 arası seçim yapılmış ve otomatik hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda tutarlılık oranı (Consistency Ratio) % 8.01 olarak belirlenmiş ve ikili karşılaştırma sonucunda kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir (Tablo 1).

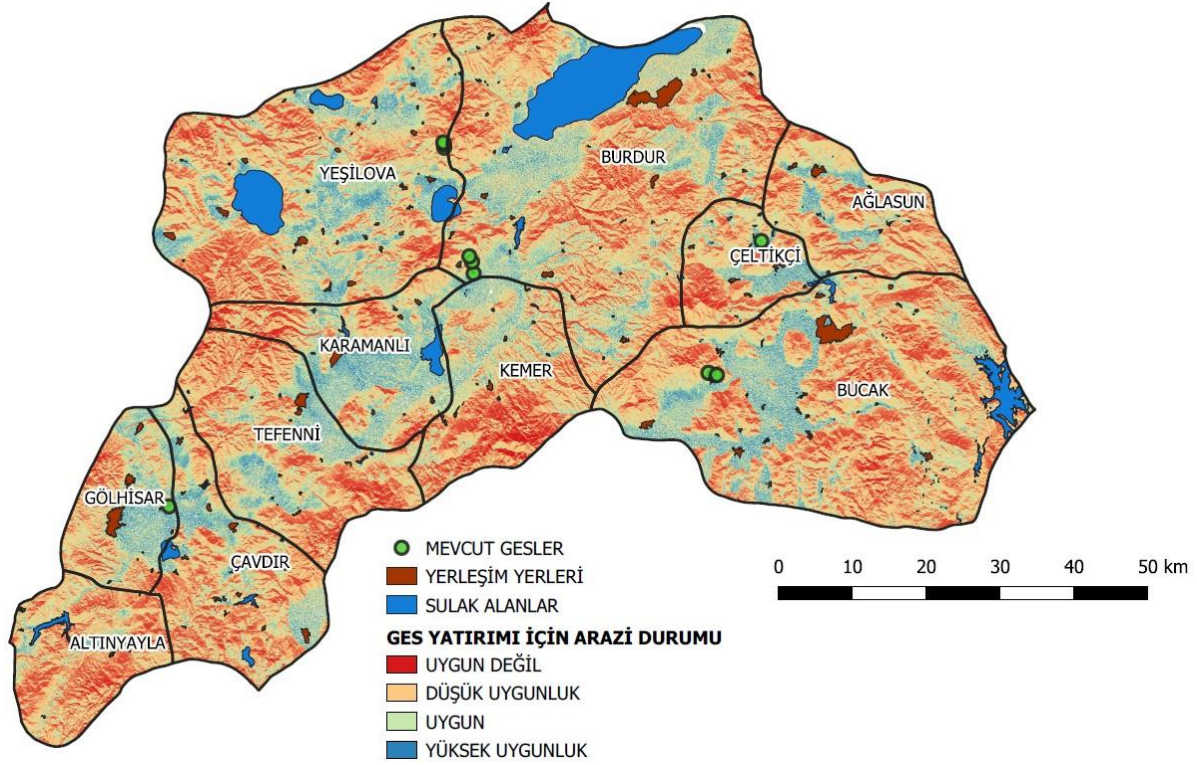
A- Önem-veya	B	Eşitlik	Ne kadar?
1 <input checked="" type="radio"/> Eğim	<input type="radio"/> Bakı	<input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9	
2 <input checked="" type="radio"/> Eğim	<input type="radio"/> Enerji nakil hattına uzaklık	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9	
3 <input checked="" type="radio"/> Eğim	<input type="radio"/> Yol	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9	
4 <input checked="" type="radio"/> Bakı	<input type="radio"/> Enerji nakil hattına uzaklık	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9	
5 <input checked="" type="radio"/> Bakı	<input type="radio"/> Yol	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9	
6 <input checked="" type="radio"/> Enerji nakil hattına uzaklık	<input type="radio"/> Yol	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9	
<input type="button" value="HESAPLA"/>			

Şekil 8. İkili karşılaştırma yapılan modülün görünümü (URL 5); AHP Ölçeği: 1- Eşit önemde, 3- Biraz daha önemli, 5- Oldukça önemli, 7- Çok önemli, 9- Son derece önemli (2, 4, 6, 8 Ara değerler)

Tablo 1. İkili karşılaştırma sonucunda ortaya çıkan kriterlerin öncelik değerleri ve sırası

KATEGORİ	ÖNCELİK	SIRA
Eğim	% 44.40	1
Baki	% 35.50	2
Enerji nakil hattına uzaklık	% 14.40	3
Yol	% 5.70	4

Ağırlık olarak en yüksek değer eğim kriteri için % 44.4 olacak şekilde belirlenmiştir. Bu değerler daha sonra CBS ortamında hesaplanmış ve bu dört kriter ile birlikte sulak alan ve yerleşim yerlerine göre Burdur ilinin GES yatırımına uygun ve uygun olmayan alanları belirlenmiştir. Sonuç haritada, ayrıca mevcut GES'ler de gösterilmiştir (Şekil 9).

**Şekil 9.** Yapılan analiz sonucunda Burdur İlinde GES yatırımına uygun ve uygun olmayan alanların görünümü

4.TARTIŞMA

Temiz üretim sınıfında ve yenilenebilir enerji sınıfında olan GES'ler ülkemizin de potansiyeline bağlı olarak tercih edilmektedir. Son yıllarda enerji ihtiyacının artışına bağlı olarak GES yatırımlarının alansal olarak belirlenmesi çalışmaları da artmaktadır. Güneş enerjisi potansiyeli ile ilgili literatürde birçok önemli çalışma bulunmakta ancak Burdur ilinde uygun yatırım alanları belirlenmemiştir. Bu çalışma sonucunda uzaktan algılama ve CBS metodlarının uygulanması ile potansiyel alanlarda ön çalışma yapılabileceği ortaya çıkmıştır.

Güneş ışığından faydalanma oranının yüksek olduğu illerden olan Burdur ilinde GES yatırımı için önemli olan kriterlere göre analiz yapılmış ve uygun alanlar belirlenmiştir. Uygulanan AHP metodunda tutarlılık oranının da 0.10

değerinden küçük olması yapılan analizin tutarlı olduğunu göstermektedir.

Burdur ili için yapılan çalışmalarda Kırbaş vd. (2013) ilin güneş enerjisi potansiyelini ve güneşlenme oranını, Kılıç ve Kumaş (2016) ise yapay sinir ağları metodu ile ilin gelecekteki aylık ortalama güneşlenme şiddeti değerlerini, Çifci vd. (2014) Burdur'da yaşayan dört kişilik bir ailenin elektrik tüketimini güneş enerjisi ve fotovoltaik pil uygulamasıyla karşılaştırmış ve mali yönünü ortaya koymuştur.

Bu çalışma ile Burdur Merkez ilçesinden Gölhisar ilçesine kadar uzanan KD-GB hat boyunca, Ağlasun, Çeltikçi ve Bucak ilçelerinde KD-GB hat boyunca ve Yeşilova ilçesinde yaklaşık K-G hattı boyunca uygun alanlar belirlenmiştir. Çifci ve Altundağ (2017) Burdur ilinin ışınım şiddeti ve güneşlenme süresine göre Altınyayla, Çavdır ve Tefenni ilçelerinin güneş enerji santrali kurulması için uygun bölgeler olduğunu belirtmiştir. Ancak bu çalışmada baki ve eğim gibi önemli kriterler göz önünde

bulundurulmamıştır. Ayrıca Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün GEPA atlasında toplam güneş radyasyonu en yüksek ilçe olan Altınyayla ilçesinde kriterler göz önüne alındığında GES yatırımına en az uygun alanların olduğu görülmektedir. Bu sebeple yer seçimi yaparken arazinin baki durumu ve eğimi mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

İl genelinde faaliyet gösteren mevcut GES'lerin konumları incelendiğinde, genel olarak uygun alanlara yatırımın yapıldığı görülmektedir. Dolayısıyla, bu çalışmada seçilen kriterlerin yer seçimi için oldukça uygun olduğu ifade edilebilir. Bu bağlamda, CBS tabanlı AHP metodu karar vermede kolaylıklar sağlamaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu makalede, dört farklı kritere dayalı olarak CBS tabanlı AHP metodu ile Burdur ilinde GES yatırımı için gerçekleştirilen bir yer seçimi çalışması sunulmuştur. Mevcut GES konumları ile bu çalışmada belirlenen GES için uygun alanların büyük oranda uyumlu çıkması, bu çalışmada kullanılan kriterlerin genel düzeyde değerlendirmeler için yeterli olduğunu göstermektedir. Elde edilen uygunluk GES uygunluk haritası, yatırımcılar için ön değerlendirmelerde kullanılabilir. Kriterlerin artması ile yatırım alanlarının çok daha hassas olarak belirlenebileceği ve fizibilite çalışmalarına katkı sağlanabileceği ifade edilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu makale Burdur Valisi Sayın Hasan ŞILDAK himayesinde ve Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı Burdur Yatırım Destek Ofisi tarafından hazırlanan "Burdur İli Güneş Enerji Santrali (GES) Yer Seçimi Alan Araştırması" kapsamında hazırlanmıştır.

KAYNAKÇA

- Ayday. C., Sarıdöl. S., Sabah. L., Yaman. N. (2014). Eskişehir ilçelerinin açık kaynak kodlu CBS ve önerici sistemleri kullanılarak deprem tehlikesi analizi, *TMMOB Eskişehir İl Koordinasyon Kurulu TMMOB Eskişehir Kent Sempozyumu*, Eskişehir.
- Ayday. C., Yaman. N., Sabah. L., Höke. O. (2016). Güneş enerji santrali yer seçiminde açık kaynak kodlu CBS kullanımı-Eskişehir il örneği, 6. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS2016)*, s:510-520, 5-7 Ekim 2016, Adana.

Čeřovský, Z., Mindl, P. (2008). Hybrid Electric Cars, Combustion Engine driven cars and their Impact on Environment, *SPEEDAM 2008 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, pp. 739 – 743.

Çifci A., Altundağ E., (2017). Burdur bölgesi güneş enerjisi potansiyelinin elektrik üretiminde kullanılabilirliği, *Mesleki Bilimler Dergisi*, 6 (2): 111-120.

Demircan N., Alakavuk Z., (2008). Fotovoltaik prensibiyle güneş enerjisinden elektrik üretimi, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008*. 17-19 Aralık 2008, İstanbul.

Dinçer, F., (2011a). Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik üretimi potansiyeli - ekonomik analizi ve AB ülkeleri ile karşılaştırmalı değerlendirme, *KSU Mühendislik Dergisi*, 14(1): 8-17.

Effat, H. A., (2013). Selection of potential sites for solar energy farms in Ismailia Governorate, Egypt using SRTM and multicriteria analysis, *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, Volume 2, Issue 1, pp.205-220, Article ID Tech-125 ISSN 2320 – 0243.

Eke, R., (2013). Güneş-elektrik dönüşümleri, enerji hasadı ve Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi'ndeki uygulamalar, 2. *Güneş Sempozyumu*, Antalya.

Erol, İ., Sencer, S., Ozmen, A., Searcy, C. (2014). Fuzzy MCDM framework for locating a nuclear power plant in Turkey. *Energy Policy*, 67, 186-19.

Goepel, K.D., (2018). Implementation of an online software tool for the analytic hierarchy process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, Vol. 10 Issue 3 2018, pp 469-487.

Guo, S., Zhao, H. (2015). Optimal site selection of electric vehicle charging station by using fuzzy TOPSIS based on sustainability perspective. *Applied Energy*, 158, 390-402.

Gürbüz, M., Obut, Z. (2015). Göksun İlçesinde Güneş Enerjisi Santrali Kurulacak Alanların CBS Yöntemi İle Belirlenmesi. *Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi Bildiriler Kitabı*, s. 705-714, 21-23 Mayıs 2015, Gazi Üniversitesi, Ankara.

- Hang, Q., Jun, Z., Xiao, Y., Junkui, C. (2008). Prospect of concentrating solar power in China-the sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2505-2514.
- Khan, G., Rathi, S., (2014). Optimal site selection for solar PV power plant in an Indian State using geographical information system (GIS), *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*, Volume 2, Issue 7, October 2014, PP 260-266 ISSN 2349-4395 (Print) & ISSN 2349-4409 (Online).
- Khan, D., Samadder, SR. (2015). A simplified multi-criteria evaluation model for landfill site ranking and selection based on AHP and GIS. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 23 (4), 267-278.
- Kılıç, B., Kumaş, K., (2016). Burdur ili güneşlenme değerlerinin yapay sinir ağları metodu ile tahmini, *SDÜ Teknik Bilimler Dergisi*, 6(1): 38-44.
- Kırbaş İ., Çifci A., İşyarlar B., (2013). Burdur ili güneşlenme oranı ve güneş enerjisi potansiyeli, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4 (2): 20-23.
- Kumar, A., Kumar, K., Kaushik, N., Sharma, S., Mishra, S., (2010). Renewable energy in India: Current status and future potentials, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, (8), October 2010, pp. 2434-2442.
- Kutlu S., (2002). Güneş tarlası ile elektrik enerjisi üretimi ve SDÜ kampüs alanında bir uygulama analizi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, 2002, Isparta.
- Özgöçmen, A., (2007). Güneş pilleri kullanarak elektrik üretimi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Saaty, T. L., (1980). The analytic hierarchy process: planning, priority setting, *Resource Allocation*, ISBN 0- 07-054371-2, McGraw-Hill.
- Sanchez-Lozano, JM., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, PL., Garcia-Cascales, MS. (2013) Geographical information systems (GIS) and multi-criteria decision making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 24, 544-556.
- Tahri, M., Hakdaoui, M., Maanan, M. (2015). The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 51, 1354-1362.
- Turner, G.M., (2008). A comparison of the limits to growth with 30 years of reality. *Global Environmental Change*, 18, 397-411.
- Uyan, M. (2013). GIS-Based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapınar region, Konya/Turkey. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 28, 11-17, 2013.
- Uyan, M., (2017). Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 343-351.
- Xu, JP., Song, XL., Wu, YM., Zeng, ZQ. (2015). GIS-modelling based coal-fired power plant site identification and selection. *Applied Energy*, 159, 520-539.
- Watson, JJW., Hudson, MD. (2015). Regional scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation. *Landscape and Urban Planning*, 138, 20-31.
- Wind, Y., Saaty, T. L., (1980). Marketing application of the analytic hierarchy process. *Management Science*, 26(7): p. 641-658.
- Wu. Y., Geng, S. (2014). Multi-criteria decision making on selection of solar-wind hybrid power station location: A case of China. *Energy Conversion and Management*, 81, 527-533.
- Yalçın, C. Sabah, L., (2017). Açık kaynak kodlu CBS ve çok kriterli karar verme yöntemi (AHP) kullanılarak Edirne sanayisinin deprem tehlikesi analizi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2): p. 524-537.
- Yücel M. M., Ekmekçiler Ü.S., (2008). Çevre dostu ürün kavramına bütünsel yaklaşım; temiz üretim sistemi, Eko-Etiket, Yeşil Pazarlama, *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, vol.26, pp.320-333.

URL 1,
<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü web sitesi, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA), 07.05.2019.

URL 2, <https://www.qgis.org/tr/site>, 07.05.2019.

URL 3, <https://earthexplorer.usgs.gov>, USGS/ 07.05.2019.

URL 4, <https://www.openstreetmap.org/#map=7/39.031/35.252>, 07.05.2019.

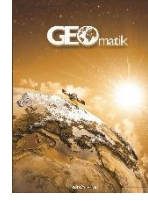
URL 5,
https://bpmsg.com/academic/ahp_calc.php, 07.05.2019.



GEOMATİK

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

e-ISSN 2564-6761



Tarihi Yığma Kiliselerde Hasarların Fotogrametrik Ölçme Tekniğiyle İncelenmesi: Artvin Tbeti Kilisesi Örneği

Mustafa Zeybek*¹, Ali Kaya²

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye

²Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yığma Kilise
Deplasman
Nokta Bulutu
Kesit
Robust Regresyon

ÖZ

Geçmişte yaşamış farklı medeniyetler inşa ettikleri anıtsal yapılarla günümüze önemli kültürel miraslar bırakmışlardır. Bu yapıların en ihtişamlıları ve döneminin özelliklerini yansıtan; kilise, cami gibi önemli dini yapılar genellikle yerleşim yerlerinin merkezinde inşa edilmiştir. Sonrasında gelen toplum bu yapıları kendi inançları doğrultusunda kullanarak şekillendirmişlerdir. Estetik görünüşlerinin yanında birçok medeniyetin kültürel hafızasını günümüze taşıyan tarihi yapıların korunması ve gelecek nesillere aktarılması insanlığın görevlerindedir. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Artvin ili ve çevresi zengin tarihe sahip olmakla birlikte farklı uygarlıklara da ev sahipliği yaptığı bilinmektedir. Bu çalışmada Tbeti (Cevizli) kilisesinin yapısal durumunun belirlenmesi, onarım ve güçlendirme için deplasman ölçümleri ele alınmıştır. Deplasman ölçümleri tek periyot olarak tasarlanmıştır. Duvarların üst kısımlarında oluşan hasarlar zemine yakın duvarlar baz alınarak incelenmiştir. Fotogrametrik olarak elde edilen veriler robust regresyon ve polinomal eğri uydurma yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda yapının kuzey kesiminde bulunan duvarlarda 5 cm'ye varan deplasmanlar tespit edilmiştir. Örnek bir çalışma olarak yığma yapım sistemiyle inşa edilen Tbeti kilisesinde meydana gelen deplasmanlar sunulmuştur. Çalışma sonucunda tek periyotluk ölçüler ile kilise ve diğer yapılarda duvarlar boyunca meydana gelen sapmaların düşey olarak tespit edilebileceği kanısına varılmıştır.

Investigation of Damages in Historical Masonry Churches with Photogrammetric Measurement Techniques: A Case Study of Artvin Tbeti Church

Keywords

Masonry Church
Displacement
Point Cloud
Cross Section
Robust Regression
Polynomial Curve

ABSTRACT

The different civilizations that live in the past have left important cultural heritage to the present day with the monumental structures they built. The most magnificent of these structures and reflect the characteristics of their era; important religious buildings such as churches and mosques were usually built in the center of settlements. The later societies shaped these structures in line with their own beliefs. In addition to the aesthetic aspects, the preservation of historical buildings carrying the cultural memory of many civilizations to the present and transferring them to the next generations is one of the duties of humanity. Artvin province, located in the Eastern Black Sea Region, has a rich history and is known to host different civilizations. In this study, determination of structural status of Tbeti (Cevizli) church and displacement measurements for repair and strengthening are discussed. Displacement measurements are designed as a single period. The damages on the upper parts of the walls were examined with reference to the parts close to the ground. Photogrammetric data were evaluated by robust regression and polynomial curve fitting methods. As a result of the evaluation, displacements up to 5 cm were found on the walls in the northern part of the building. As an example study, displacements occurred in Tbeti church which was built with masonry construction system are presented. As a result of the study, it was concluded that the deviations occurring along the walls in churches and other buildings can be detected vertically with single period measurements.

*Sorumlu Yazar

*(mzeybek@artvin.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-8640-1443
(akaya@artvin.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-2200-6844

Kaynak Göster (APA)

ZEYBEK, M., KAYA, A. (2020). Tarihi Yığma Kiliselerde Hasarların Fotogrametrik Ölçme Tekniğiyle İncelenmesi: Artvin Tbeti Kilisesi Örneği. Geomatik, 5 (1), 47-57. DOI: 10.29128/geomatik.568584
Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik/issue/48883/568584>

1. GİRİŞ

Anıtlar, dünya tarihinin yeri doldurulamaz kanıtı olarak geçmişe ait hafızanın korunmasına katkıda bulunan en değerli eserlerdir. Geçmişte yaşamış farklı medeniyetler inşa ettikleri anıtsal yapılarla günümüze önemli kültürel miraslar bırakmışlardır. Bu kültürel miraslara ait kapsamlı çalışmaların yapılması, insanlığın geçmişini ve geleceğini anlama yükümlülüğünün bir gereğesidir.

Geçtiğimiz yüzyıl boyunca, arkeolojik yüzey araştırmaları yaygın olmakla beraber, gün geçtikçe gelişen teknolojik cihazlarla bu araştırmalar daha etkili biçimde yapılmaktadır (H. M. Yılmaz, Yakar, Gulec, & Dulgerler, 2007). Son yıllarda, pek çok uluslararası kurum ve kuruluş, kültürel mirasın korunması ve restorasyonlarının yapılması ile ilgili fonlar ayırarak bu konuda çalışmaların artırılmasını hedeflemiştir.

Günümüzde pek çok modern ülke, anıt zenginliğine sahip diğer ülkeleri bu anıtları korumaya ve korunmasına yönelik bilimsel araştırma ve çalışmaları yapması için desteklemektedir. Bu çalışmalar genellikle Kültürel Mirasın geometrik yapısının kaydı, risk değerlendirmesi, izlenmesi, geriye dönük restore edilmesi, yeniden yapılandırma ve yönetilmesi olarak sıralanmaktadır (Karabörk et al., 2009; H. M. Yılmaz, Yakar, & Yıldız, 2008).

Beton ve çelik gibi yapı malzemelerinin yapı endüstrisinde kullanılmasıyla birlikte yığma yapıların inşası gün geçtikçe azalmaktadır. Fakat Türkiye yapı stokuna bakıldığında tarihi nitelikteki yığma yapılar önemli bir yer tutmaktadır. Yığma yapılar, düşey yüklerle karşı dayanımı yüksek olmasına rağmen depremlerde yatay yükler sonucu oluşacak çekme gerilmelerine ise düşük dayanım göstermektedirler (Brandonisio, Lucibello, Mele, & Luca, 2013). Deprem vb. doğal afetlerle veya insanoğlunun müdahaleleri sonucunda ağır hasar alan bu yapılar kullanım dışı kalmaktadır.

Kültürel Mirasa ait dijital belgeleme, vektörel çizimleri, ortomozaik görüntüleri ve üç boyutlu (3B) modeli gibi geometrik bilgiyle birlikte görsel ölçüm sonuçlarının üretildiği bir dizi çalışmayı içermektedir (Doğan & Yakar, 2018; Korumaz, Dülgerler, & Yakar, 2011; Ulvi & Yakar, 2010). Günümüzde, kültürel yapıların 3B modellenmesi ile belgelendirilmesi ve envantere geçirilmesi genellikle iki farklı yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bunlardan ilki, aktif uzaktan algılama yöntemleri; lazer tarayıcı veya radar bazlı sistemler, diğeri ise, pasif/optik görüntü tabanlı modelleme (fotogrametrik veya yeni terimiyle hareketten oluşum (SfM)) yöntemleridir (Bevan et al., 2014; Koutsoudis et al., 2014).

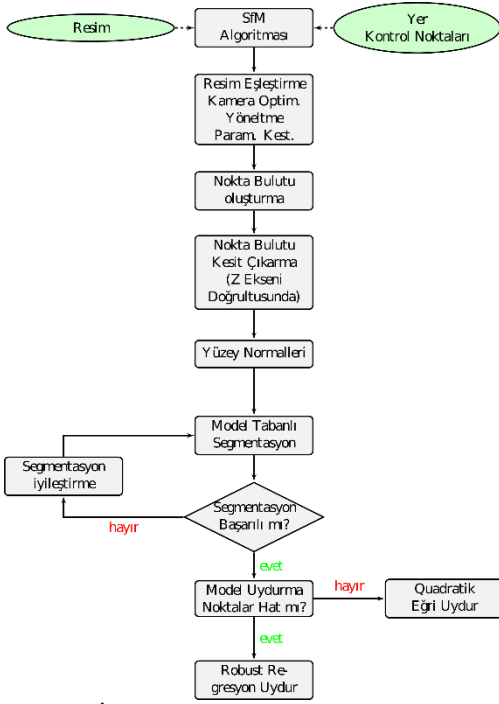
Çeyrek asırdan bu yana, Yersel Lazer Tarama (YLT) tekniği; mühendislik yapıları, mimarlık, yer bilimi, trafik, maden ve peyzaj gibi pek çok alanda dijital verinin temininde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. 3B üretilen veriler yüksek hassasiyet ve doğruluktadır (Uray, Varlık, & Metin, 2018; H Murat Yılmaz & Yakar, 2006).

Arkeolojik ve kültürel anıtların belgelenmesinde fotogrametrik yöntemler ve YLT teknikleri etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Daha da önemlisi, YLT, arkeolojik kazılarda yüksek hassasiyette ölçülmesi gereken bölgesel yüzeylerin dijital dokümantasyonunu yapabilen bir yöntemdir. Dijital verilerin temininde YLT tekniği ile diğer yersel ölçüm (örn. Çelik şerit metre, total station) teknikleri karşılaştırıldığında, incelenmesi istenen yüzey morfolojisi ve detaylara ait diğer bilgilerin kaydedilmesi için önemli miktarda zaman kazanımı sağlayan yegâne tekniktir. Ancak, arkeolojik kazılarda lazer tarama tekniklerinin kullanımı; istasyon kurulumu, cihaz transferi, tarama süresi ve gölgelemeyi önleme amaçlı fazla istasyon kurulumu gibi bazı durumlardan dolayı zaman alıcı bir yöntem haline dönüşebilmektedir. Ayrıca, bu cihazın yüksek maliyetli olması, küçük bütçeli projelerde kullanılmasının önüne geçmektedir. Buna alternatif olarak metrik olmayan kameraların kullanımına imkân sağlayan SfM algoritmaları, lazer taramanın doğruluk ve nokta yoğunluğu kalitesine yakın veriler üretebilmektedir.

Bu çalışmadaki yaklaşım ise SfM/fotogrametrik yöntemlerin doğruluğunu, güvenilirliğini bununla birlikte bilgisayarlı görmenin otomasyon ve esneklik avantajlarından faydalanarak geçmişten günümüze varlığını sürdüren yapılardaki erozyon, bozulma ve hasarların tek periyot ölçmeleri ile tespit edilmesidir. Literatür incelendiğinde fotogrametrik yöntemler kullanarak çok zamanlı deformasyon izleme çalışmaları yoğun olarak yer almaktadır (Rodríguez, Rodríguez, Rodríguez, & Sanchez, 2019; Vlákó, Greif, Holzer, Hencelova, & Jezny, 2007). Yapı yüzeylerinde çatlakların tespiti, köprü ve kemerli yapıların sonlu eleman analizi vb. araştırmalarda kullanılan 3B geometrik modeller için fotogrametrik yöntemler tercih edilmektedir (Suziedelyte-Visockiene, Bagdziunaite, Malys, & Maliene, 2015). Ancak bu makalede önerilen yöntemin özgünlüğü, tek periyotluk ölçmelerle yapı üzerindeki deplasman miktarlarının belirlenmesidir. Aşağıdaki bölümlerde önerilen metodolojiye ve uygulanan algoritmalara detaylı olarak değinilmiştir.

2. MATERYAL VE METOTLAR

Bu çalışmada fotogrametrik yöntemle yapının şekli ve konumu 3B olarak belirlenmiştir. Bu yöntem yapının çevresinden alınan birçok görüntü alınmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Bu sayede yapı üzerinde ölçme ve yorum yapma imkanı oluşmuştur. Fotogrametrik ölçme tekniği, ölçülmesi planlanan nesnenin görüntülerinin kaydedildiği herhangi bir durum veya yapı/nesne üzerinde uygulanabilir çok amaçlı bir yöntemdir. Bu yöntemin temel amacı, yapıya ait dijital (koordinatlar ve geometrik öğeler) veya grafik verilerin (görüntüler, çizimler, haritalar) 3B olarak yeniden yapılandırılmasıdır. Bu bölümde uygulanan ölçme yöntemine ait iş akışı **Şekil 1**'de genel hatlarıyla gösterilmiştir.



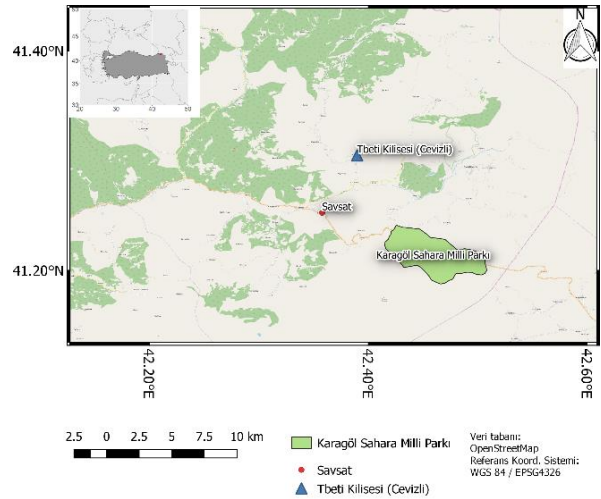
Şekil 1. İş akış şeması

Uygulanan algoritmalar, 3D1PERDEF (3 Boyutlu 1 Periyotluk Deplasman Analizi) kısaltmasıyla, SfM ortamında fotogrametrik ve bilgisayarlı görme algoritmaları sonucunda üretilen nokta bulutları ile tek periyotluk yer değiştirme analizlerinin yapılması için R programlama dilinde kodlanmıştır (Team, 2016). Bu R kodları kullanılarak, 3B nokta bulutu verilerinden belirli aralıklarla kesitler alınmıştır. Yapıyla ilgili herhangi bir referans plan verisi olmadığından alınan kesitlerden zemine en yakın olanı referans plan olarak varsayılmıştır. Bu plan, düşey düzleme göre en uygun hattın robust olarak kestirilmesiyle oluşturulmuştur. Kestirilen bu hat sayesinde olması gereken bina planları teorik olarak oluşturulmuştur. İki boyutlu (2B) yatay deplasman, teorik bina planıyla binanın üst kısımlarından alınan kesitlerle karşılaştırılarak temelden itibaren düzlemsel yapıdan olan sapmalar ortaya çıkarılmıştır. İkinci önerilen yöntem ise k-d temelli en yakın komşu (k- n_n) nokta arama algoritmasıdır. Teorik plan ile yapının üst kısımlarından alınan kesit noktaları arasındaki mesafeler hesaplanmıştır. Bu değerler yatay ekseninde oluşan deplasmanları ifade etmektedir.

2.1. Çalışma Bölgesi

Artvin ili Şavşat ilçesine bağlı Cevzli köyünde bulunan Tbeti kilisesi örnek olarak seçilmiştir (Şekil 2). Kilise düz bir alan üzerine inşa edilmiştir. Yapının günümüze kadar ulaşan herhangi bir kitabesi bulunmamaktadır. Yazılı kaynaklardan edinilen bilgilere göre 10. yy.'ın başlarında bölgede egemen olan Bagrathlı prenslerinden Aşud Koh (Aşot Kukhi) tarafından dönemin Gürcü Ortodoks Piskoposluğunun merkezi olan Tbeti köyünde yaptırılmış olup daha

sonraları dönemin önemli dini merkezleri arasında yer alan yapı 12. ve 15. yy.'larda onarımlar geçirdiği bilinmektedir. Bölgenin İslamiyet'i kabul etmesiyle birlikte cami olarak kullanılan yapı 1885 yılında kubbesine ve haç kollarına yıldırım düşmesi sonucu hasar görmüş daha sonra 1953 yılında kubbesinin tamamen çökmesi ile kullanılamaz hale gelmiştir (Korkut, 2010). Köy içinde bulunan manastır, günümüze kilise ve şapeli ile ulaşmıştır. Kilisenin beden duvarları 1-1,5 m genişliğindedir. Beden duvarları dolgu duvar tekniğinde iç kısmı harç ve moloz taşla doldurulduktan sonra dışı düzgün kesme taş malzeme ile kaplanmıştır. Farklı boyutlardaki taşların kullanıldığı cephe kaplamalarında işçiliğin kaliteli olduğu göze çarpmaktadır. Günümüzde yapının çoğu duvarı yıkılmış, duvar yüzeylerindeki kaplamaları dökülmüş ve beden duvarlarında yer yer dökülmeler ve çatlakları olan yapı büyük ölçüde tahrip olmuştur. Yapının üst örtüsü ve naosun üzerini örten yüksek kasağın kubbenin tamamı çökmüştür. Yapının günümüz halini koruması ve gelecek dönemlerde oluşabilecek hasarlara karşı yapının dijital referans verisinin üretilmesi için bu çalışma alanı seçilmiştir.



Şekil 2. Tbeti Kilisesi konum haritası

2.2. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlar, Jeodezik Yer Kontrol Noktaları (YKN) ölçümü ve görüntülerin araziden temin edilmesidir. YKN için kapalı poligon ağı istikşaf çalışması yapılmıştır. YKN'ler yapı yüzeyinde belirlenmiş ve koordinatları poligon noktalarından yapılan ölçümlerle elde edilmiştir. Yapı üzerinde detay noktalarının çok olması yapıyı hedef ihtiyacını ortadan kaldırmıştır. Bu nedenle tüm YKN noktaları, yapı üzerinde keskin detayların ve renk ayrımının kolaylıkla yapılabildiği yerlerden seçilmiştir. Kamera yardımıyla yersel görüntüler paralel ve konvergent (Eğik/Serbest) olarak çekilmiştir. Yapıyı temsil eden tüm yüzeylerin 3B nokta bulutlarında yer alması için yüksek kalite ve sayıda görüntüler alınmıştır.

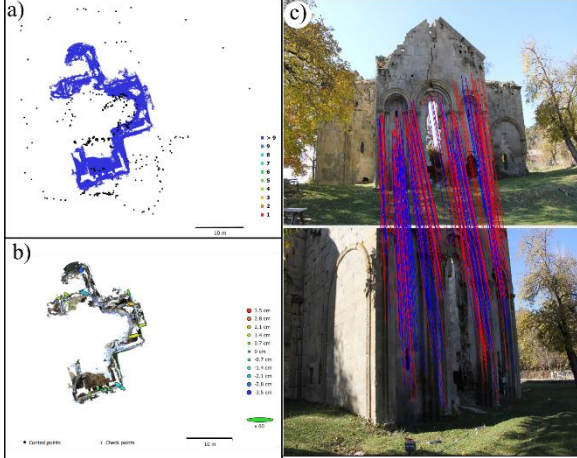
2.3. Yazılım ve Donanımlar

Bu çalışmada, 18 megapiksel CMOS sensörlü Canon EOS 60D dijital tek lensli refleks (DSLR) kamera kullanılmıştır. YKN'lerin ölçümü için PENTAX R 422 VN Total Station 2" (0.6 mgon) 1.5 ~ 300 m : \pm (5mm+2ppm) açı ve kenar hassasiyetli total station cihazı kullanılmıştır. Temel olarak elektronik mesafe ölçerler (EDM/Total station); eğik mesafeyi, yatay mesafeyi, yatay açığı, düşey açığı, yükseklik farkını ölçerek koordinatları da otomatik olarak hesaplayan, gösteren ve kaydeden mikro işlemcilerden oluşur. Düşük ücretli fotogrametri yazılımı Agisoft Photoscan v 1.3.3, SfM algoritmalarını barındırdığı ve kolay kullanım arayüzüne sahip olduğu için tercih edilmiştir (<https://www.agisoft.com/>).

2.4. Veri İşleme

Görüntüleri 2B'den 3B'ye dönüştürmek için matematiksel formülasyon dizisine ihtiyaç duyulur. En az iki görüntüden perspektif veya projektif geometri formülleri yardımıyla 3B veriler elde edilir (**Error! Reference source not found.**)(Micheletti, Chandler, & Lane, 2015).

Görüntü tabanlı fotogrametri ve bilgisayarlı görme modelleme teknikleri, nesnelerin geometrik durumunu ortaya koyarak nokta veya alan bazlı deplasman analizlerinin yapılmasını sağlar.



Şekil 3. a) kamera konumları b) YKN nokta konum hassasiyetleri, c) görüntü eşleme

Görüntülerin ölçme amaçlı işlenmesinde en iyi teknik olarak kabul gören fotogrametri tekniği, herhangi bir ölçek kısıtlaması olmadan obje hakkında hassas ve yüksek güvenilirlikli, doğru, metrik ve ayrıntılı 3B bilgiler sunmaktadır.

Görüntüler farklı platformlar kullanılarak, uydu, havasal veya yersel yöntemlerle farklı sensörlerden elde edilebilir. Bu çalışmada yersel yöntemle görüntüler elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler kamera kalibrasyonu ile düzeltilmiştir. Fotogrametrik işlemler, görüntülerdeki dönüklük parametrelerinin kestirimi, özellik çıkarımı, yoğun yüzey eşleme ve ortofoto üretimine dayanmaktadır.

Son zamanlarda ise fotogrametrik ölçümlerin yanı sıra, bilgisayarlı görme ile 3B görüntü işleme uygulamaları özellikle otomatik nesne tanıma ve çıkarma teknikleri, uygulama kolaylığı nedeniyle büyük ilgi görmektedir.

Bilgisayarlı görme yaklaşımları, doğruluk parametresi çok önemli olmayan öncül yaklaşık parametre değerlerinin kestirimi, 3B görselleştirme, platform navigasyonu, konumsal tespitler, robot konumlandırma ve hassas parametre kestirimi için önemli roller üstlenmektedir.

Görüntüler yersel ölçülerle birlikte işlenerek belirli koordinat sisteminde 3B nokta bulutu oluşturulmuştur. Bu görüntü işleme 3 adımdan oluşmaktadır: (i) görüntülerin eşleşmesi için eş ve bağlantı noktalarının otomatik çıkarımı; (ii) eşleşen görüntülerde YKN işaretlenmesi ve yöneltme işlemlerinin tanımlanması; (iii) son olarak da yoğun yüzey nokta bulutlarının oluşturulmasıdır (**Error! Reference source not found.**). 2B görüntülere dayanan 3B oluşturma, nesne yapısından çıkarılan özellik noktalarının nesne yapısını yansıtmasına ve yüksek eşleşme doğruluğunun kalitesine bağlıdır.

Görüntülerde özellik çıkarımı farklı yöntemlerle yapılmaktadır. Bunlar, nesne tabanlı stereo, nokta özellikli, çizgi özellikli ve yüzey özellikli çıkarımlardır. Bu yöntemlerin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Bu nedenle hangi yöntemin diğerinden daha üstün olduğunu söylemek oldukça zordur. Literatürde nokta özellikli çıkarım yaygın olarak kullanılmaktadır (Remondino, Spera, Nocerino, Menna, & Nex, 2014). Bunlardan önemli olanı, değişken olmayan özellik dönüşümü (SIFT), Lowe (2004) tarafından sunulan algoritmadır. Dört temele sahiptir: ölçek uzayının uç değerlerinin tespiti, ana noktaların konumlandırılması, dönüklük ataması ve son olarak ana nokta tanımlayıcısının oluşturulmasıdır. İlk adımda, ilgi noktaları, görüntüde farklı konum ve ölçeklerde taranarak tanımlanır. Bu adımı gerçekleştirmek için Gaussian (DoG) farkı kullanılır ve nokta adayları piksel altı doğrulukta yerleştirilir. Son adımda, 128 nokta tanımlayıcı oluşturulur ve eşleştirme işlemi için hazırlanır. Genel anlamda SIFT yönteminin performansı iyi olmasına rağmen görüntülerdeki ışık koşullarına ve büyük dönüklük açılara karşı hala kısıtlamalar bulundurmaktadır (Lowe, 2004).

Kamera kalibrasyonu ile kamera parametreleri matematiksel olarak belirlenir (Yakar, 2011). Görüntüler, optik yapısı genellikle sabit olmayan günlük kompakt fotoğraf makineleriyle çekildiğinden, görüntü işleme sürecinde self kalibrasyon tekniğiyle distorsiyonlar giderilmeye çalışılmıştır. Bunun sonucunda seyrek nokta bulutları en uygun duruma getirilmiştir. SfM sadece bağlı kamera koordinatlarına göre 3B geometri üretir. Böylece nokta bulutu çıktısı rastgele bir koordinat sisteminde üretilir. Bu nokta bulutlarının belirli bir sisteme dönüştürülmesi için YKN'ler kullanılmıştır. Seyrek nokta bulutu, özellikli nokta korelasyon ve eşleşme noktaları ile oluşturulur.

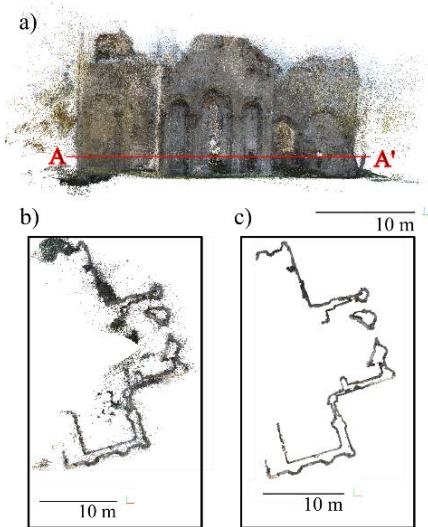
Robust, güvenilir ve yüksek doğrulukla kestirilen dış yöneltme parametreleri sonrasında yoğun nokta bulutlarının oluşturulması için otomatik yoğun görüntü eşleme işlemine geçilir. Günümüzde, bu işlemin gerçekleştirilmesi için her piksele ait nesnenin tam 3B koordinatını belirleyebilen çok sayıda eşleştirme algoritması vardır (Kwak, Datchev, Habib, El-Badry, & Hughes, 2013; Micheletti et al., 2015).

2.4.1. Gürültülü noktaların tespiti ve silinmesi

Bu bölümde, gürültülü/uyuşumsuz noktaların nokta bulutlarından otomatik olarak belirlenmesi ve silinmesi açıklanmaktadır.

Görüntü tabanlı 3B modelleme teknikleri ile oluşturulan nokta bulutları, genellikle lazer tarama gibi aktif tekniklerle elde edilen nokta bulutlarına göre çok daha gürültülüdür. Uyuşumsuz/aykırı noktalar, özellikle diğer yakın komşu gözlemlerine göre tutarlı olmayan bir durum ortaya çıkarmaktadır. Büyük veri setlerinde aykırı noktalar yerel komşu noktalarına göre ortalama değerden uzakta olan noktalardır.

Aykırı noktaların yoğun noktalar içinde tespiti ve bunların nokta bulutlarından elimine edilmesi için birçok istatistiksel yöntem bulunmaktadır (Ning, Li, Tian, & Wang, 2018; Rakotosaona, La Barbera, Guerrero, Mitra, & Ovsjanikov, 2019). Yöntemler, temel olarak verilerin normal bir dağılımda olduğunu varsayarak ortalama ve standart sapmalarına göre aykırı gözlemleri tanımlamaktadır. Bu çalışmada, C++ tabanlı PCL uygulaması olan istatistiksel uyuşumsuz nokta tespit etme ve silme (SOR: Statistical Outlier Removal) algoritması ile nokta bulutlarındaki uyuşumsuz noktalar tespit edilmiş ve silinmiştir (Rusu, Marton, Blodow, Dolha, & Beetz, 2008; Zeybek & Şanlıoğlu, 2019). Şekil 3'te kiliseye ait 3B birleştirme seyrek noktalarının perspektif ve plan görünümü verilmiştir. Şekil 3c'de SOR uygulaması görülmektedir.



Şekil 3. Seyrek ve gürültülü eşleştirme noktalarının gösterimi, a) AA' kesiti gürültülü görünümü, b) AA' kesiti SOR uygulaması sonrası

2.5. Kesit Segmentasyonu (Bölümleme)

Nokta bulutlarından alınan kesitlerin bütünlüklü olmasından dolayı deplasman analizine tutulacak her bölümün kümeleme ve segmentasyonunun yapılması gerekmektedir. Bunun için en etkili sonuç, yüzeyi oluşturan noktaların normaleri ve aralarındaki Öklid mesafelerine göre sınıflandırılmasıdır.

Geometride, yüzey normali belirli nesneye dik olan çizgi veya vektörel bir nesne olarak tanımlanır. Yüzey normaleri, deplasmanların belirlenmesinde etkin rol oynamasının yanında segmentasyon ve görüntü giydirmeye gibi diğer işlemler için de önemlidir. Her noktaya ait teğet düzlem kestirimi yapılır. Bunun için nokta bulutları arasında en yakın nokta arama algoritmaları belirli yarıçap aralığında farklı uzaklık hesaplama yöntemlerine göre belirlenir. Bunlardan en yaygın olanları *k-nn* arama (*k*-nearest neighbour: *k*-en yakın komşuluk) ve Öklid mesafe algoritmasıdır. Bunun yanında yüzey normalerinin kestirimi için farklı yöntemler geliştirilmiştir (Klasing, Althoff, Wollherr, & Buss, 2009; Zeybek, 2017).

Bu çalışmada yüzey normal hesapları, veri işleme süresinin uygun düzeyde tutulması için tüm model yerine kesit üzerinden yapılması önerilmiştir. Kesitler 50 cm kalınlıkta alınmıştır. Bu sayede veri işleme performansı artırılmıştır. Bir düzlem için yüzey normali *k*- en yakın nokta kümesi içinde oturtulan düzlemin eşitlik **Error! Reference source not found.**'deki gibi *a*, *b*, *c* yüzey normalerinin kestirilmesiyle elde edilmiştir.

$$ax + by + cz + d = 0 \quad (1)$$

Segmentasyon işlemi ile duvar ve kesitleri karşılaştırma uygulamasında kullanılması için en yaygın kümeleme algoritmalarından birisi olan *k-means* yöntemi kullanılmıştır. Ancak, algoritmada sınırlamalar mevcuttur: Özellikle kullanıcının küme sayısını önceden belirlemesi gereklidir. Bunun yanında ilk merkezler algoritma tarafından rastgele seçilir. Son *k-means* kümeleme çözümü, küme merkezlerinin ilk rastgele seçimine çok duyarlı sonuçlar vermektedir. Sonuç olarak *k-means* her defasında çalıştırıldığında farklı sonuçların elde edildiği görülür. Bu nedenle bu çalışmada, *k-means* sonuçlarını iyileştirmek için hiyerarşik *k-means* kümeleme (*hkmeans*) hibrid yöntemi uygulanmıştır (Kassambara & Mundt, 2016).

2.6. Deplasman Analizi

Yüzey deplasmanları, farklı dönemlere ait elde edilen nokta bulutlarıyla ölçülen yapıların 2B veya 3B modelleri üzerinden karşılaştırılarak yapılmaktadır. Bu çalışmada ise dönemsel deplasman tespiti yerine tek periyotluk ölçülerle

yapıdaki olağan dışı model farklılıklarından yer değiştirmeler tespit edilmiştir. Deplasman analizleri, 2B kesit ile yapının alt kısımlarından üst kısımlarına doğru oluşan düzlem dışı hareket miktarlarının belirlenmesi için yapılmıştır. Zemine en yakın bölge referans kesit olarak varsayılmış, k- en yakın komşu mesafe yöntemi ve Robust Lineer regresyon yöntemleriyle kesitler karşılaştırılarak yer değiştirme miktarları tespit edilmiştir. Doğrusal olmayan yapı elemanlarını temsil eden nokta bulutu verilerindeki deplasman ise 2. dereceden polinomal eğri uydurularak tespit edilmeye çalışılmıştır.

2.6.1. Robust doğrusal (lineer) regresyon yöntemiyle hat belirleme

Robust-sağlam regresyon (MASS, robustbase), doğrusal, veri kümesinde güvenli gözlemlerin homojen dağılması durumunda uyumsuz değerlerin etkisini azaltarak bir veya birden fazla bağımlı değişkenden oluşan doğrusal değişkenin tahmin edilmesidir (Koç & Akdeniz, 2007; Rousseeuw, 1987). En küçük kareler regresyonu (OLS) uyumsuz noktalara ve gözlemlere hassasiyet göstermektedir. Bu nedenle uyumsuz ve aykırı noktaların olduğu verilerde robust regresyonun tercih edilmesi gereklidir. Robust regresyon modeliyle daha doğru parametre kestirimleri yapılmaktadır. Hat kestirme işlemindeki kalitenin düşük olduğu aşamada isteğe bağlı olarak otomatik standart sapma değerlerine limit uygulanarak regresyon hattının doğrusal mı yoksa eğri uydurmamı yapılacağına da karar verilebilir. Bu çalışmada manuel olarak bu değerlendirme yapılmıştır. Yapının yalnızca apsis bölümü eğrisel olarak değerlendirilmiştir.

2.6.2. İki boyutlu hızlı k-NN nokta bulutu karşılaştırması

C++ ile yazılmış düşük boyutlu nokta bulutları için hızlı bir k en yakın komşu nokta kütüphanesi (Jan Elseberg, Magnenat, Siegwart, & Nüchter, 2012) kullanılarak farklı kesitlerdeki deplasmanlar araştırılmıştır. Aynı zamanda hızlı k-d ağaç uygulamasından (*libnabo*) (J. Elseberg, Magnenat, Siegwart, & Nüchter, 2012) da yararlanılmıştır. Bu hızlı k-d ağaç oluşturma ve arama algoritması, performansı önemli ölçüde arttıran yapısıyla yoğun nokta bulutlarının birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Buradaki uygulamada ise deplasman tespiti için alınan kesitler arasındaki 2B yatay mesafe farklarının ortaya çıkarılması için R programında kullanılmıştır. 3B analiz ve farkların ortaya konulması kesitler arasındaki kot farklarından dolayı bu çalışma için mümkün değildir.

3. BULGULAR

Görüntüler Kasım 2018'de Canon EOS-60D 18 mm objektif kullanılarak çekilmiştir. Hareketten oluşum algoritmasında, yapının dijital halini 3B oluşturulabilmesi için her bir obje noktasının en az üç

görüntüde tanımlanabilir olması gerekir. Bu nedenle yapının karmaşık mimariye sahip olduğundan 1328 adet yoğun ve yüksek bindirme oranına sahip görüntüler alınmıştır. Görüntüler yapı yüzeyinde eksik alan kalmayacak şekilde ve yapı etrafında çift tur olarak alınmıştır. Bu görüntülerden yeterli detay sağlayacak nitelikteki 375 adet görüntü seçilmiştir. Bu sayede veri işleme performansı da artırılmıştır. Son model oluşumunda daha iyi modelin oluşması için eğik (konvergent) görüntüler ve yapıya nadir açısına sahip görüntüler kullanılmıştır. Özellikle bağlantı ve eşleme noktalarının daha sağlam olması için hem yapıya nadir açılı hem de eğik açılı görüntüler birleştirilerek, daha hassas sonuçların çıkarılmasına özen gösterilmiştir. YKN nokta sayısı kilise duvarlarında belirgin ve gözle görülebilir noktalarda 94 adet yerel X, Y, Z koordinatlarıyla ölçülmüştür. Ölçümün ülke sistemine bağlanması için ITRF96 datumu ve Transverse Merkator projeksiyonunda (TM-TUREF / TM 42 EPSG: 5258) 2 adet poligon noktası Spectra Precision MobileMapper 120 model ve markalı DGPS cihazı kullanılmıştır (Şekil 4a). Kapalı poligon ağı, bu iki poligon noktalarından alınan azimut değerleri yardımıyla ülke koordinat sistemine dönüştürülmüştür. YKN'ler için total station ile ölçülen yatay açı, düşey açı ve eğik mesafe değerleri de ülke koordinat sisteminde belirlenmiştir. Verilerin Agisoft yazılımında değerlendirme aşamasında bilgisayar donanımından optimum faydalanmak için değerlendirme, eşleme ve yoğun eşleme aşamaları orta seviyeli parametrelere göre yapılmıştır. 543194 adet 3B eşleme noktası üretilmiş ve 39651105 adet yoğun nokta bulutu elde edilmiştir (Şekil 4).

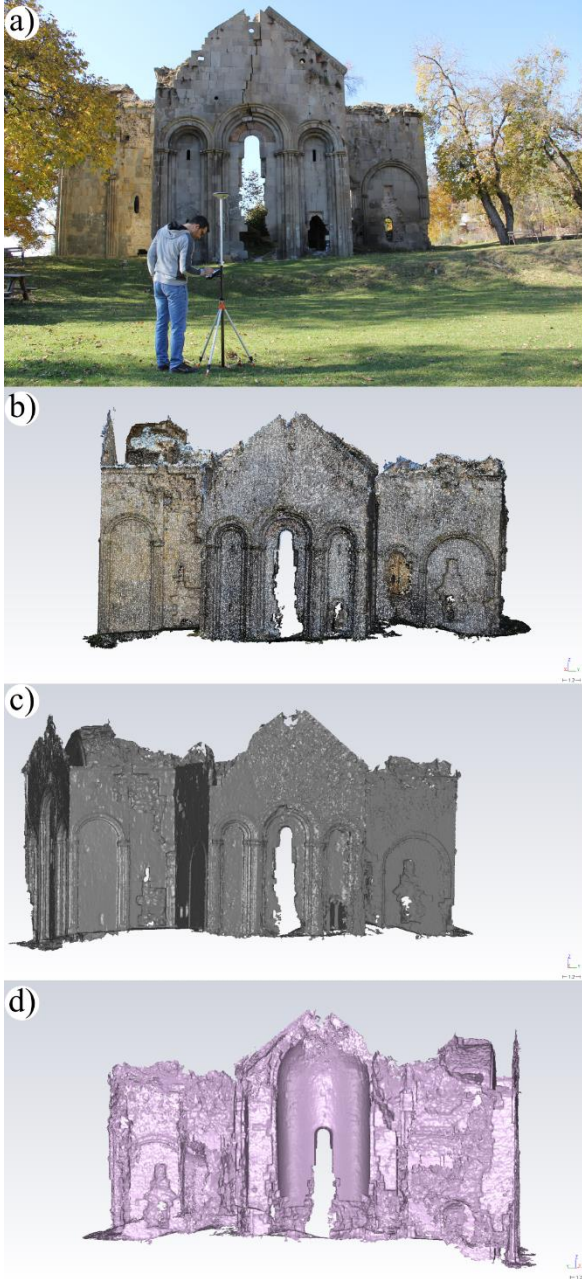
PCL SOR filtre uygulaması sonrasında veri analizi için geriye 36203713 adet nokta kalmıştır. SOR filtresi uygulanırken yapı detaylarının ve motiflerinin kaybolmamasına özen gösterilmiştir. Aksi takdirde filtreleme hataları nedeniyle veri kayıpları yaşanabilmektedir. Kesitler yerden Z eksenini boyunca 50 cm genişliklerinde alınmıştır. Alınan kesitler üzerinden yüzey normalleri hesaplanarak sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırmalarda duvar sayıları dikkate alınmadan k merkezi sayısı belirlenmiş ve segmentasyon yapılmıştır. Kesitlerin segmentasyonu için hK-means (*factoextra*) yöntemi uygulanmıştır (Şekil 5). Burada tespit edilen kenarların doğruluğu istenilen seviyede değilse k küme sayısı artırılarak işlemler tekrarlanmıştır. Küme sayısı (k) 100 olarak belirlenmiştir. Bu aşamada yüzey normallerinin kalitesi de önem arz etmektedir. Bu sayede karşılaştırılacak kesitler yaklaşık gruplandırılmış olmaktadır.

Bu gruplar arasından deplasman araştırması yapılacak bölge manuel olarak kırılarak kesitler arasında farklar belirlenmiştir (Şekil 6).

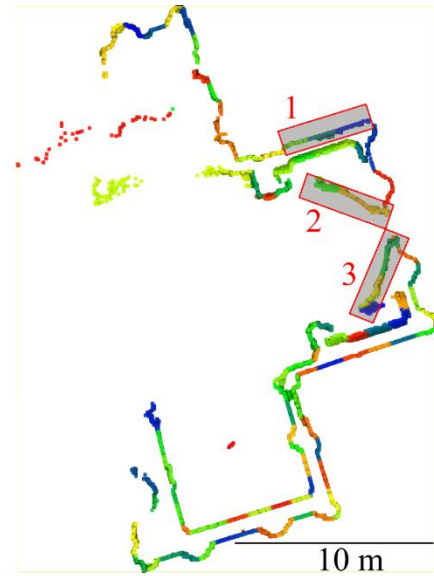
Kesitler alınırken kilise kenarlarındaki topoğrafyanın bozukluğundan dolayı yerden yükseklik değerleri özenle belirlenmiştir. Bu

sayede bina planlarını en iyi şekilde temsil eden minimum kottaki kesit referans kesit olarak belirlenmiştir.

Birinci önerilen yöntem sınıflandırılmış değerler arasında 2B k-nn uygulanmasıdır (Şekil 7). Diğer yöntem ise robust regresyon modellerinin en alt ve en üst kesitler arasında oluşturularak karşılaştırılmasıdır (Şekil 8 ve Şekil 9).

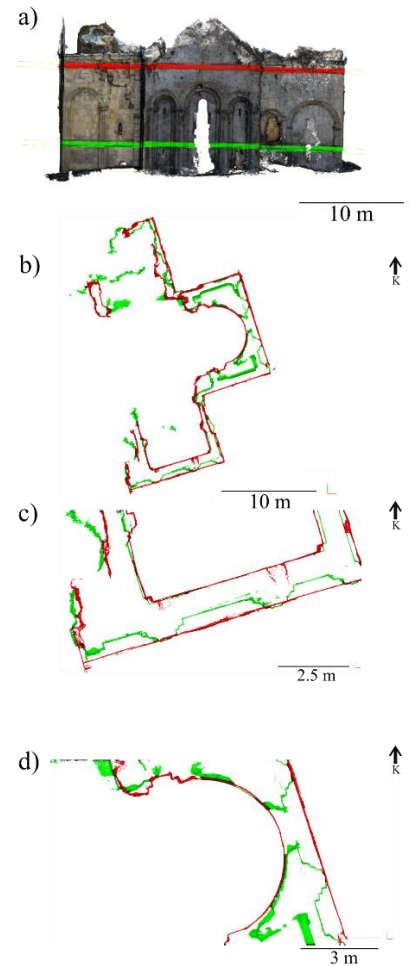


Şekil 4. a) Tbeti Kilisesi Doğu-Batı yönünden görünümü, b) yoğun nokta bulutlarının görünümü, c) mesh model görünümü, d) batı-doğu yönünden mesh model görünümü



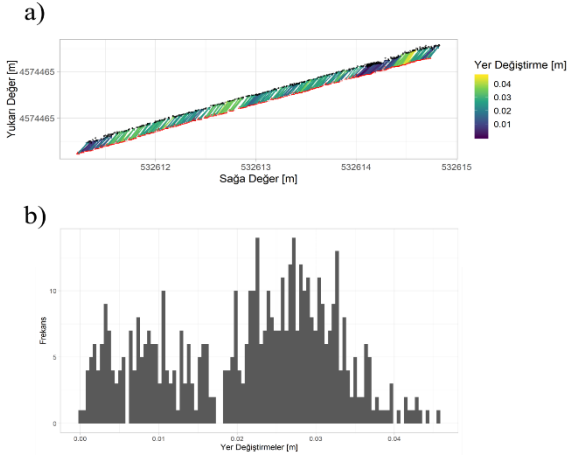
İnceleme alanları

Şekil 5. *hkmeans* kümeleri



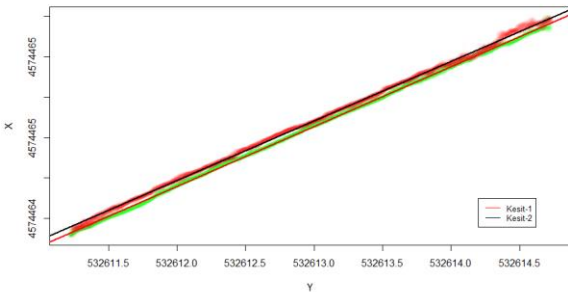
Şekil 6. Yapı üzerinden alınan kesitler a) kesit yerlerinin yapı üzerinde gösterimi, yeşil renk alt kesit 1261.44 m, kırmızı renli kesit üst kesit 1268.43 m, b) yapının plan görünümü, c) güney yönündeki duvar yapısı, d) apsis (iç) kesiti.

Nadir olarak karşılaşılan topoğrafyanın bozuk olduğu alanlarda önerilen yöntemin uygulanmasına dikkat edilmelidir. Zemin kotu 1258.85 m 'dir. İlk kesit yerden 2.29 m yükseklikte alınmıştır. Karşılaştırma kesiti (Kesit 2), 1268.43 m kotundan alınmıştır. Referans kesit 1261.14 m kotlu kesit olarak belirlenmiştir.

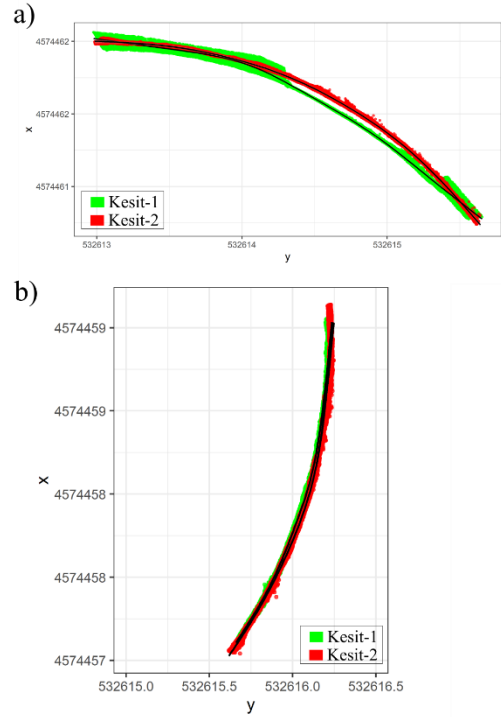


Şekil 7. a) Kuzey yönüne bakan duvarda oluşan deplasmanın vektörel gösterimi, b) deplasman miktarlarının dağılımları (Şekil 5'da 1 no'lu inceleme alanı)

Şekil 7'de yapının kuzey yönüne bakan duvar da 5 cm'ye varan deplasmanlar $k-mn$ yöntemiyle tespit edilmiştir. Batı yamacındaki arkad penceresi üzerindeki derin çatlağın ve kuzey cephesindeki büyük deplasmanların oluşumu yapının kuzey yönüne doğru hareket ettiğini işaret etmektedir. Hareketlerin yoğunluk olarak normal bir dağılım sergilemediği ve 1 ile 3 cm aralığında yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 7b). Üst kısımlarda oluşan bu yüklerin diğer bir etkisi de içyapıdaki kilise apsisinin kuzey kesimlerinde oluşan deplasmanlardır (Şekil 9a).



Şekil 8. Robust regresyon hatları (Şekil 5'da 1 nolu inceleme alanı)



Şekil 9. Polinomal eğri uydurma işlemi (İçyapı-apsis), a) kuzey kesim (Şekil 5'da 2 no'lu inceleme alanı), b) güney kesimi (Şekil 5'da 3 no'lu inceleme alanı)

Şekil 6d' de yer alan apsis segmentlerinin polinomal eğri uydurma işlemine tabi tutulduklarında Şekil 9'daki gibi modeller elde edilmiştir. Apsisin iç kısımlarında oluşan deplasmanlar, kesit ve polinomal eğri uydurma yöntemiyle hareketli ve yüke maruz kaldığını kanıtlamaktadır (Şekil 9). İç apsis yapısındaki deplasman kuzey yönde daha fazla olduğu apsisdeki kestirilen eğri farklılığından anlaşılmaktadır (Şekil 9). Bu tür yapılarda haç kısmındaki bu apsiler simetrik yapıdadır. Fakat bozulmaya maruz kaldığından dolayı simetriklik ortadan kalkmıştır. Kesit analizlerine göre kilisenin ön yüzünde (Doğu yönü) oluşan çatlaklar benzer şekilde iç kesimdeki apsis bloklarında da mevcuttur. Burada oluşan yüklerin apsis e gelen düzensiz yükler veya farklı zemin oturmalarından kaynaklandığı da düşünülmektedir.

Güneye bakan duvarlarda kuzey cephesindeki deplasmanlara göre daha küçük deplasmanlar tespit edilmiştir. Yapının batı kesimlerinde ise iç duvarlarındaki hasarlar ve göçükler kesit analizlerinde tespit edilmiştir.

Robust regresyon standart hatası Kesit 1 için Robust standart hata 0.005 m R^2 , 0.9997, dengelenmiş R^2 değeri 0.9997 olarak elde edilmiştir. Kesit 2 için ise Robust standart hata, 0.008 m, R^2 değeri 0.9992, dengelenmiş R^2 değeri 0.9992 olarak elde edilmiştir. Robust değerler irdelendiğinde oldukça yüksek R^2 değerleriyle kestirimin gerçekleştiği görülmektedir. Bu sonuçlara göre uydurulan regresyon modelinin güveni yüksek bir model olduğu söylenebilir.

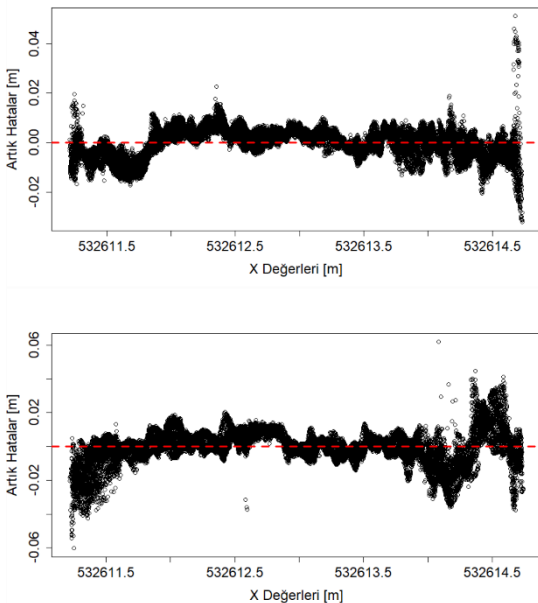
Şekil 10'de Robust regresyon değerlerine ait artık hataların grafiği gösterilmektedir. Kestirilen doğrularda herhangi bir yanlışlık belirtisi görülmemektedir. Ayrıca kesit aralıkları farklı değerlerde alındığında yapıda meydana gelen yerel değişimler de ortaya koyulabilmektedir. Artık hataların normallik testleri değerlendirildiğinde ise Kesit 2'de meydana gelen normallik testi Kesit 1'e göre olan normallikten uzaklaşmaktadır. Bu durum da Kesit 2'deki noktaların deplasmandan kaynaklı daha dağınık olduğunu da ortaya koymaktadır. Ayrıca standart hata değerleri de bu sonucu doğrulamaktadır.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmayla, maliyeti düşük olan SfM görüntü işleme tekniği ile yüksek kaliteli 3B nokta bulutu ve model içerikleri üretilmiştir. Önerilen yöntemler deplasman analizlerinde basit fakat etkili yöntemlerdir. 3D1PERDEF R programlama kodları da analizlerin yapılmasına ve yapı hakkında bilginin elde edilmesine büyük katkı sağlamıştır.

Yapılan bu çalışmaya göre, Tbeti Kilisesi'nin kuzey cephesinde büyük deplasmanların olduğu tespit edilmiştir. Eğer onarım ve güçlendirme çalışmaları yapılmazsa ayakta kalan kısımlar kısa süre içinde yok olma tehlikesi ile karşı karşıya kalacaktır. Bu tahribat süreci depremler, yağma yapı malzemelerinin yorulmadan kaynaklı düşük dayanımı, bitki örtüsü ve insani etkenlere bağlı olarak hızlanabilmektedir.

Tarihi kilise, manastır ve cami gibi pek çok uygarlığın kültürel kimliğini taşıyan önemli yapıların onarımı; tarih, mimarlık ve mühendislik alanlarının ortaklaşa çalışması ile mümkündür. Taş duvarlı tarihi yağma yapılar heterojen formda olmaları nedeniyle yapısal davranışlarının belirlenmesi oldukça zordur (Ural, Oruç, Doğan, & Tuluk, 2008).



Şekil 10. Robust regresyon artık hata değerleri

Özellikle bu yapıların onarımı ve güçlendirilmesi için yapılan çalışmalarda, yapı malzemelerinin doğrusal olmayan malzeme özellikleri ve harç malzemesinin mekanik özellikleri çok iyi tanımlanmalıdır.

Tbeti kilisesi, günümüzde herhangi bir amaçla kullanılmamaktadır. Böyle tarihi nitelikteki ve farklı dinlere göre kutsal sayılan bu mekânların bir an önce onarılıp güçlendirilerek ülke turizmine kazandırılması gerekmektedir.

Söz konusu yapının onarımı için bazı öneriler aşağıda sunulmuştur:

- Mevcut yapı harcından daha yüksek dayanımlı harç kullanılarak çatlaklar onarılabilir. Kullanılacak harç malzemelerinin var olan malzeme ile kimyasal uyumu çok önemlidir.
- Eğer restorasyon uygulaması yapılacaksa ve yapıya çatı eklenecekse taşıyıcı duvarlara fazla yük gelmesini engellemek için mümkün olduğunca hafif malzemelerin kullanılmasına dikkat edilmelidir.
- Yıkılan duvarlar ve kubbe nedeni ile rijit diyafram eksikliğinden dolayı cephe duvarlarının düzlem dışı hareketinin önüne geçmek için bu duvarların çelik profiller ile güçlendirilmesi gerekmektedir.
- Dolgu duvar tekniğinde inşa edilen duvarların orta bölümlerinde oluşmuş boşlukların harç enjeksiyonu ile doldurulması gerekmektedir.
- Dış duvar ile dolgu arasındaki kuvvet aktarımını sağlamak için enlemesine donatı eklenerek dış duvarın düzlemi dışına devrilmesi önlenilecektir.
- Çatlakların daha fazla açılmasını engellemek için çekme kuvvetini alan U biçimindeki özel donatılar ile dikilerek yüksek bir dayanım ve süneklik sağlanmalıdır.
- Duvarın dış yüzeyine tüm duvar boyunca açılacak yuvalara çekme gerilmesi taşıyabilecek yüksek dayanımlı ve şekil değiştirme özellikleri olan demir çubuklar veya lif takviyeli polimerlerden yapılmış gergi çubukları yerleştirilerek dışı sıva ile kapatılmalıdır.

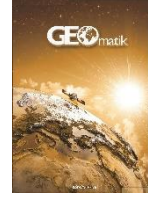
Gelecek çalışmalarda ise aynı teknikler yardımıyla elde edilen verilerin yine tek periyotluk nokta bulutlarından yüzeylerde ve yağma taş bloklarındaki deplasmanların miktarını ve yüzeyel aşınma/dökülmelerin ortaya çıkarılmasında farklı yöntemlerin geliştirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- Bevan, A., Li, X., Martínón-Torres, M., Green, S., Xia, Y., Zhao, K., ... Rehren, T. (2014). Computer vision, archaeological classification and China's terracotta warriors. *Journal of Archaeological Science*, 49, 249-254. doi:10.1016/j.jas.2014.05.014
- Brandonisio, G., Lucibello, G., Mele, E., & Luca, A. D. (2013). Damage and performance evaluation of masonry churches in the 2009 L'Aquila

- earthquake. *Engineering Failure Analysis*, 34, 693-714.
doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.01.021
- Doğan, Y., & Yakar, M. (2018). Gis and Three-Dimensional Modeling for Cultural Heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*. doi:10.26833/ijeg.378257
- Elseberg, J., Magnenat, S., Siegwart, R., & Nuchter, A. (2012). Libnabo: fast K Nearest Neighbour library. Retrieved from https://github.com/ethz-asl/libnabo
- Elseberg, J., Magnenat, S., Siegwart, R., & Nüchter, A. (2012). Comparison of nearest-neighbor-search strategies and implementations for efficient shape registration. *Journal of Software Engineering for Robotics*, 3(1), 2-12.
- Karabörk, H., Göktepe, A., Yılmaz, H., Mutluoğlu, Ö., Yıldız, F., & Yakar, M. (2009). Tarihi ve kültürel varlıkların lazer tarama ve lazer nokta ölçme teknolojileri ile 3B modellenmesinde duyarlılık araştırması ve uygulama modelinin belirlenmesi. 12. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 11-15.
- Kassambara, A., & Mundt, F. (2016). Factoextra: extract and visualize the results of multivariate data analyses. *R package version*, 1(3).
- Klasing, K., Althoff, D., Wollherr, D., & Buss, M. (2009). Comparison of Surface Normal Estimation Methods for Range Sensing Applications. *Icra: 2009 Ieee International Conference on Robotics and Automation, Vols 1-7*, 1977-1982.
- Koç, Y. S., & Akdeniz, F. (2007). Robust Tahmin Edicileri ve Özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.
- Korkut, T. (2010). *Artvin'deki İshan Ve Cevizli (Tbeti) Manastır Kiliselerindeki Taş Süsleme Örnekleri*. (Yüksek Lisans Tezi), YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ, Van.
- Korumaz, A. G., Dülgerler, O. N., & Yakar, M. (2011). KÜLTÜREL MİRASIN BELGELENMESİNDE DİJİTAL YAKLAŞIMLAR. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 67-83.
- Koutsoudis, A., Vidmar, B., Ioannakis, G., Arnaoutoglou, F., Pavlidis, G., & Chamzas, C. (2014). Multi-image 3D reconstruction data evaluation. *Journal of Cultural Heritage*, 15(1), 73-79. doi:10.1016/j.culher.2012.12.003
- Kwak, E., Datchev, I., Habib, A., El-Badry, M., & Hughes, C. (2013). Precise Photogrammetric Reconstruction Using Model-Based Image Fitting for 3D Beam Deformation Monitoring. *Journal of Surveying Engineering*, 139(3), 143-155. doi:10.1061/(asce)su.1943-5428.0000105
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60(2), 91-110. doi:10.1023/b:Visi.0000029664.99615.94
- Micheletti, N., Chandler, J. H., & Lane, S. N. (2015). Structure from motion (SfM) photogrammetry. *Geomorphological Techniques*.
- Ning, X., Li, F., Tian, G., & Wang, Y. (2018). An efficient outlier removal method for scattered point cloud data. *Plos One*, 13(8), e0201280. doi:10.1371/journal.pone.0201280
- Rakotosaona, M.-J., La Barbera, V., Guerrero, P., Mitra, N. J., & Ovsjanikov, M. (2019). POINTCLEANNET: Learning to Denoise and Remove Outliers from Dense Point Clouds. *arXiv preprint arXiv:1901.01060*.
- Remondino, F., Spera, M. G., Nocerino, E., Menna, F., & Nex, F. (2014). State of the art in high density image matching. *The Photogrammetric Record*, 29(146), 144-166. doi:10.1111/phor.12063
- Rodríguez, A. S., Rodríguez, B. R., Rodríguez, M. S., & Sanchez, P. A. (2019). Laser scanning and its applications to damage detection and monitoring in masonry structures. In
- Rousseeuw, P. j. (1987). *Robust Regression and Outlier Detection*: John Wiley & Sons.
- Rusu, R. B., Marton, Z. C., Blodow, N., Dolha, M., & Beetz, M. (2008). Towards 3D Point cloud based object maps for household environments. *Robotics and Autonomous Systems*, 56(11), 927-941. doi:10.1016/j.robot.2008.08.005
- Suziedelyte-Visockiene, J., Bagdziunaite, R., Malys, N., & Maliene, V. (2015). Close-Range Photogrammetry Enables Documentation of Environment-Induced Deformation of Architectural Heritage. *Environmental Engineering and Management Journal*, 14(6), 1371-1381.
- Team, R. C. (2016). R: A Language and Environment for Statistical Computing In *R Foundation for Statistical Computing* (Vol. Vienna, Austria).
- Ulvi, A., & Yakar, M. (2010). An experimental study on preparing photogrammetric rolove plans of antique theatres. *International Journal of Physical Sciences*, 5(7), 1086-1092.

- Ural, A., Oruç, S., Doğangün, A., & Tuluk, Ö. İ. (2008). Turkish historical arch bridges and their deteriorations and failures. *Engineering Failure Analysis*, 15(1-2), 43-53. doi:10.1016/j.engfailanal.2007.01.006
- Uray, F., Varlık, A., & Metin, A. (2018). Üç Boyutlu Kent Modellerinde Ayrıntı Düzeyi Kavramı İnce Minareli Medrese (Konya) Örneği. *Geomatik*, 74-83. doi:10.29128/geomatik.369065
- Vláko, J., Greif, V., Holzer, R., Hencelova, L., & Jezny, M. (2007). Rock Deformation Monitoring at Cultural Heritage Sites in Slovakia. In K. Sassa, H. Fukuoka, F. Wang, & G. Wang (Eds.), *Progress in Landslide Science* (pp. 261-273). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Yakar, M. (2011). Using Close Range Photogrammetry to Measure the Position of Inaccessible Geological Features. *Experimental Techniques*, 35(1), 54-59. doi:10.1111/j.1747-1567.2009.00583.x
- Yilmaz, H. M., & Yakar, M. (2006). Yersel Lazer Tarama Teknolojisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 43-48.
- Yilmaz, H. M., Yakar, M., Gulec, S. A., & Dulgerler, O. N. (2007). Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8(4), 428-433. doi:10.1016/j.culher.2007.07.004
- Yilmaz, H. M., Yakar, M., & Yildiz, F. (2008). Documentation of historical caravansaries by digital close range photogrammetry. *Automation in Construction*, 17(4), 489-498. doi:10.1016/j.autcon.2007.09.003
- Zeybek, M. (2017). *Yüksek Çözünürlüklü Topoğrafik Veriler Yardımıyla Heyelanların İzlenmesi* (Doktora), Selçuk Üniversitesi, Konya. (10165841)
- Zeybek, M., & Şanlıoğlu, İ. (2019). Point cloud filtering on UAV based point cloud. *Measurement*, 133, 99-111. doi:10.1016/j.measurement.2018.10.013



Bir imar adasındaki binaların oluşturduğu gölgelerin konum bakımından incelenmesi: Trakya Bölgesi örneği

Hüseyin İnce*¹, Nuri Erdem²

¹Hitit Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Çorum, Türkiye

²Osmaniye Korkut Ata Üniversite, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Güneş açıları
Bina konumu
Bina gölge konumları

ÖZ

Yaz mevsiminde havanın da çok sıcak olması nedeniyle insanlar, güneşin bunalıcı etkisinden kurtulmak için gölgeli mekânları isterler. Binaların veya açık hava ortamındaki dinlenme alanlarının gölgede kalması için, yapılacak binaların veya dinlenme alanlarının, plan aşamasında, buna uygun tasarımı yapılabilir. Bir imar adasında yer alan binaların günün muhtelif saatlerinde oluşturduğu gölgenin konumuna, binalar arasındaki uzaklık, binaların yüksekliği, binanın jeodezik konumu, günün saati, o saatteki güneş denklinasyon açısı, güneş azimut açısı ve güneş zenit açısı etkilidir. Günümüzde iskân alanlarında yapılacak binalar için ayırık nizam veya blok nizam uygulanmaktadır. Uygulamada, bir binanın gölge etkisiyle ilgili olarak, hazırlanmış özel yazılımlar mevcut olmakla birlikte, bir binanın gölgesinin nasıl hesaplandığı, oluşan gölgenin bir imar adasında komşu binaları ne kadar etkilediği hususunda yeterli bilgiye ulaşılmadığından bu araştırmanın yapılması gerekli görülmüştür. Bu çalışmada, Trakya bölgesinde bir imar ada cephesinin muhtelif semt açısı değerlerinde ve güneş azimut açısının muhtelif değerlerinde; bir imar adasındaki binanın, komşu bahçe sahasında, arka bahçe sahasında ve komşu parseldeki binanın cephesinde oluşturduğu gölgenin konumları incelenmiştir. Çalışmanın sonunda, imar planları hazırlanırken bir imar adasında maksimum gölgeleme oluşmasını sağlamak için neler yapılması gerektiği hakkında öneriler sunulmuştur.

Investigation of the shadows formed by the buildings in a reconstruction area: A case study in Trakya Region

Keywords

Sun angles
building location
building shadow locations

ABSTRACT

Because the weather is very hot in the summer, people want shady spaces to get rid of the sun's overwhelming effect. In order to keep the buildings or the open-air environment in the shade, the buildings or rest areas to be constructed can be designed accordingly in the planning phase. The distance between the buildings, height of buildings, geodetic location of building, the time of day, the solar equalization angle at that time, the solar azimuth angle and the solar zenith angle are effective to the position of the shadow buildings on a reconstruction island at various times of the day. Separate or block arrangement is applied for the buildings to be built in the settlement areas. In practice, although there are special software, software prepared for the shadow effect of a building, but how the shadow of a building is calculated, and this research has been deemed necessary since there is not enough information about the effect of the shadow formed on neighboring buildings. In this study, in various district angle values and sun azimuth angle of a development island facade in Trakya region; the location of the shadow building on the neighboring garden area, backyard area and on a reconstruction island and on the facade of the building in the neighboring parcel were investigated. At the end of the study, suggestions were given about what should be done in order to ensure maximum shadowing on a development island while preparing the development plans.

1. GİRİŞ

Yaz mevsiminde havanın çok sıcak olması nedeniyle güneşin bunaltıcı etkisinden kurtulmak için gölgeli mekânlar tercih edilir. Binaların veya açık hava ortamındaki dinlenme alanlarının gölgede kalması için, yapılacak binaların veya dinlenme alanlarının, plan aşamasında, buna uygun tasarımı yapılabilir. Bir imar adasında yer alan binaların günün muhtelif saatlerinde oluşturduğu gölgenin zemindeki veya bina yüzeyindeki konumuna, binalar arasındaki uzaklık, günün saati, o saatteki güneş denklasyon açısı, güneş azimut açısı ve güneş zenit açısı etkilidir. Günümüzde iskân alanlarında yapılacak binalar için ayrıntı nizam veya blok nizam uygulanmaktadır.

Al-Qeeq (2008) yaptığı çalışmada binalar arasında üretilen gölge modellerin radyal ve dikdörtgen desenleri karşılaştırmıştır. Ayrıca çalışma, güneş ışığının optimal güneşlenme koşullarında yüksek kentsel dokuyu nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla da yapılmıştır. Elde edilen sonuçların pratikte uygulanabileceğini vurgulamak ve Filistin'deki kentsel tasarımı iletirmek için bu kalıpların uygulaması tartışılmıştır. Deneyletmenin yapımlında kullanılan SunCast Programı, gölgeli yüzeylerin oluşumunda kullanılan ölçümlerin yüksek bir doğrulukta yapılabilmesini sağlamıştır. Önceki araştırmalar, gölge deseni üretiminde yaşanan zorluklar nedeniyle basit şekilleri inceleyebilmiştir. Son on yıllardaki teknolojik gelişmeler ve bilgisayar yazılımları daha karmaşık kentsel formların araştırılmasına imkân sağlamıştır.

Kentsel açık alanların önemli bir parçası olan sokaklar, kentsel mikro iklimlerin oluşturulmasında önemli bir role sahiptir. Sokak geometrisi ve yönlendirmesi, sokak yüzeyleri tarafından alınan güneş ışınımı miktarını ve ayrıca kentsel kanyonlardaki hava akımını etkiler. Shishegar (2013), kentsel kanyondaki sokak geometrisinin hava akımı üzerindeki etkisini vurgulamıştır. Ayrıca, cadde geometrisi ve oryantasyonunun kentsel kanyonda yaya düzeyinde hoş bir mikro iklimlendirme sağlamada kilit faktörler olduğunu kanıtlamıştır.

Peeters (2016) yaptığı çalışmada, kentsel iklim analizi için kentsel morfolojinin 3B jeoveri tabanlarını gölgelerden oluşturmak ve geometrik parametreleri analiz etmek için GIS tabanlı bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, iç avluların boy oranı ve bunun güneş enerjisi erişimiyle olan ilişkisi üzerine odaklanmaktadır. Sonuçlar, yöntemin, daha az gelişmiş bölgelerdeki kentsel-iklim parametrelerinin analizinde 3D coğrafi veritabanlarının oluşturulmasının güvenilir ve düşük maliyetli bir süreç sunduğunu göstermektedir.

Yang ve Lin (2016) yaptığı çalışmada, yoğun nüfusa sahip kentlerde geleneksel yerleşim yerleri, bina türleri ve yerel halkın faaliyetleri nedeniyle yaşanabilecek aşırı termal stresin giderilmesi için

önerilerde bulunmuşlardır. Bu çalışma kapsamında, bir yılda 12 kez termal çevre ölçümleri yapılmış ve Tayvan Tainan'da dış mekân termal ortamını simüle etmek ve incelemek için ENVI-met modeli kullanılmıştır. Sonuçlar, modelin sıcak ve nemli bölgelere uygulandığında, ortalama radyan sıcaklık değerlerini daha doğru bir şekilde tahmin etmek için kısa dalga azaltma yönteminin kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Çeşitli benzetilmiş senaryolar ağaç dikmenin en etkili yöntem olduğunu göstermiştir. Tasarım prosedürünün uygulanabilirliğini ve çevrenin estetiğini geliştirmek için entegre bir dış mekân tasarım yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen entegre prosedür, dış mekân yaşam ortamlarını iyileştirmek ve ısı stresini azaltmak için planlamacılara ve mimarlara, dış mekân tasarımında stratejiler seçme konusunda yardımcı olabilir.

Jamei ve Rajagopalan (2017) yaptıkları çalışmada, yapısal planların sıcak yaz günlerinde yaya termal konforuna etkisini araştırmıştır. Mevcut ve gelecekteki senaryolar için dış mekan insan termal ortamını değerlendirmek amacıyla yapısal planlar; artan bina yüksekliği, ağaç gölgelik kapsama alanı ve yeşil çatı ekleyerek üç aşamada modellenmiştir. Çalışma, daha derin kanyonların, daha yüksek görünüş oranlarının ve gelecekteki senaryoda daha düşük gökyüzü görünümü faktörlerinin daha düşük ortalama sıcaklıklarını arttırdığını göstermiştir.

Djekica vd. (2018) yaptıkları çalışmada, bina dış yüzeylerinde kullanılmış kaplama malzemelerinin fiziksel özelliklerine ve yüksek yaz sıcaklıklarına maruz kaldıklarında kullanıcıların termal konforuna olan etkisine odaklanmıştır. Bir alanda kullanılan malzeme, renk, pürüzlülük ve gölgelemenin yüzeylerin ısınmasını etkilediği sonucuna varılmıştır.

Taleghani (2018), yüksek oranda yansıtıcı malzemelerin kullanılması kentsel açık alanlardaki hava sıcaklığını düşürmesine rağmen, güneşin yayalar üzerindeki etkisini arttırdığını ortaya koymuştur.

Morakinyo vd. (2017) yaptığı çalışmada, ağaçlar ve binaların yayalar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, sığ kanyonların, benzer en boy oranı değerine sahip benzerlerine kıyasla daha kötü termal koşullara duyarlı olduğunu göstermektedir. Planlamacılar ve peyzaj mimarları, derin kanyonlarda yüksek gövdesi olan düşük gölgelik yoğunluğuna sahip uzun boylu ağaçları ve sığ kanyonlar ve açık alanlar için bunun tersini önermektedir.

Jamei vd. (2016) ve Sun vd. (2017) yaptığı çalışmalar, kentsel yeşil alanların arazi ısısı özelliklerine bağlı olarak peyzaj tasarımı parametrelerinin etkisiyle kentsel ısı adası etkisinin ve dolayısıyla termal konfor ılımlı olmasına yardımcı olabileceğini ortaya koymuştur. Çalışmalar, kentsel yeşil alanların yararları hakkında detaylı bilgiler sağlamakta, kent yönetimi ve kentsel peyzaj planlayıcıları için önerilerde bulunmaktadır.

Chatzidimitriou ve Axarli (2017) yaptıkları çalışmada, Selanik'teki bir örnek olayda, farklı yönelim ve en boy oranıyla sokak kanyonlarında mikroiklim verileri sağlanmıştır. Bu makale, çevredeki malzeme ve geometrik detaylara bağlı olarak, bina yükseklikleri ve kaldırım malzemelerini dikkate alarak, kentsel alan tasarımını bilgilendiren ayrıntılı mikro iklim verileri ve yaya konfor indeksleri sunmaktadır.

Tsoka (2017) yaptığı çalışmada, yüzey ve hava sıcaklıklarına ilişkin yerel termal ortamın iyileştirilmesi üzerindeki etkisinin araştırılması için değişik materyallerin kullanımı, ek bitki örtüsü ve ağaçlar kullanılmıştır. Analiz sonuçları, geleneksel bina kaplama malzemelerinin kullanılmasının yüzey sıcaklıklarında önemli bir düşüşe neden olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Mo ve Nobuo (2018) yaptıkları çalışmanın amacı, mevcut şehir modelinin gölgeleme durumunu araştırmaktır. Araştırma Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), 3D modelleme programı ve istatistiksel analiz kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tapias ve Soni (2016) yaptığı çalışmada, güneş erişim analizine dayanan yeni inşa edilmiş formların oluşturulması için alternatif bir yaklaşım araştırmıştır. Mevcut yerleşik formların neden olduğu gölge koşullarına dayalı rekreasyonel açık alanların oluşturulmasına ve olası kentsel gelişim alanlarının da yeni kentsel zarfların inşası için bir başlangıç noktası olmasına odaklanmaktadır.

Kent içi güneş ışığı ve gölgelenmenin kentsel yaşam kalitesine etkisinin incelenmesi, 3D şehir modellerinin gelişmesiyle daha kolay hale gelmiştir. Jaillot vd. (2017) yaptığı çalışmada, şehir modellerindeki nesnelere gölge etkisini algılayan bir yöntem önermiştir. Bir nesnenin gölgesi diğer uzaktaki nesnelere de etkileyebildiği için, özellikle şehir modellerinin ince geometrik ve anlamsal tanımları olabileceği düşünülerek, geniş alanları ele alan bir yöntem geliştirilmiştir.

Kentlerde yüksek bina yapımının artması, çevresindeki diğer binaları olumsuz yönde etkilemektedir. Yapılan araştırmalar, gölgenin hem insan sağlığı ve hem de üzerinde şehir planlamada olumlu veya olumsuz etkileri olduğunu göstermiştir. Bu nedenle "Güneş Erişimi" kent planlaması için güncel ve popüler bir konu haline gelmiştir. Rehan ve Islam (2015) yaptıkları çalışmada, bu terimin büyüklüğünü öğrenmek, bunun hakkında daha fazla bilgi edinmek ve Bangladeş gibi gelişmekte olan ülkelere tanıtmak için gölge analiziyle ilgili güncel gelişmeleri ele almıştır.

Uygulamada bir binanın gölge etkisiyle ilgili olarak, hazırlanmış özel yazılımların (URL_1; URL_2; URL_3) mevcut olduğu ancak bu özel yazılımlar kullanılarak bölgenin gölgelenme durumu ile ilgili bir araştırmanın yapılmadığı görülmüştür.

Bu çalışmada ise, Trakya bölgesinde bir imar ada cephesinin muhtelif semt açısı değerlerinde ve güneş azimut açısının muhtelif değerlerinde; bir imar adasındaki binanın komşu bahçe sahasında, arka bahçe sahasında ve yan bahçe sahasında ve

komşu parseldeki binanın cephesinde oluşturduğu gölgenin konumları incelenmiştir. Elde edilen bulgular ve kanaatler belirtilmiştir. Benzer bir çalışmaya yabancı kaynaklardaki literatür araştırmalarında rastlanılmamıştır.

2. GÜNEŞ AÇILARI

Yapıların gün ışığından yararlanmasını sağlayacak şekilde konumlandırılmasında, güneş ışınının yeryüzünde belirlenen bir noktaya geliş doğrultusundan (güneş azimut açısından) yararlanır. Güneş azimut açısının hesabına, çalışma bölgesinin enlemi (ϕ), yılın belirli bir günü için güneşin denklinasyon açısı (δ) ile lokal öğle vaktine göre güneşin doğuş ve batış saat açıları (h) girmektedir. Bu açılara güneş açıları denir (Deriş, 1979; Kılıç ve Öztürk, 1980; İnce, 2005; Abood, 2015; Som and Pathak, 2015).

2.1. Enlem Açısı (ϕ)

Yeryüzündeki N noktasını dünya merkezine birleştiren doğrunun ekvator düzlemiyle yaptığı açıdır (İnce, 2005).

2.2. Saat Açısı (h)

Yeryüzünde dikkate alınan noktanın boylamı ile güneşi dünya merkezine bileştiren doğrunun, güneş ışınlarının belirttiği boylam arasındaki açıdır. Saat açısı, güneş boylamının göz önüne alınan yerin boylamı ile aynı olduğu "güneş öğlesi"nden itibaren hesaplanır, yerel öğle vaktinden öncesi için aradaki fark (-) işaretli, yerel öğle vaktinden sonrası için aradaki fark (+) işaretli olarak alınır. Hesaplamalarda her bir saat zaman farkı 15° lik saat açısı olarak dikkate alınır (İnce, 2005).

2.3. Denklinasyon açısı (δ)

Güneş ışınlarının ekvator düzlemiyle yaptığı açıdır (Şekil 1). Bu açı dünyanın dönme ekseninin, yörünge düzleminin normali ile yaptığı 23° 27'lik açıdan ileri gelir. Gün dönümü noktalarında (21 Haziran yaz gün dönümünde +23°45', 22 Aralık kış gün dönümünde -23°45') mutlak değerce maksimum olur. Denklinasyon açısı, Eş. 1'den; elde edilir (İnce, 2005). Burada n, yılın gün sayısıdır.

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \left(\frac{n + 284}{365} \right) \right) \quad (1)$$

2.4. Zenit Açısı (z)

Doğrudan güneş ışınlarının yatay düzlemin normali ile yaptığı açıdır (Şekil 1). Güneşin doğuşunda ve batışında $z=90^\circ$ dir. Zenit açısı aşağıdaki Eş. 2'den elde edilir (Aksoy, 1975; Anderson and Mikhail, 1998; Al-Sareef et al., 2001; İnce, 2005; Farr, 2008).

$$\cos z = \cos \delta \cos \varphi \cos h + \sin \delta \sin \varphi \quad (2)$$

2.5. Güneş Yükseklik Açısı (γ)

Güneş ışınlarının yatay düzlemle yaptığı açıdır. Şekil 1’de görüldüğü gibi $z + \gamma = 90^\circ$ dir. Güneş yükseklik açısı $\gamma = 90 - z$ bağıntısından elde edilir.

2.6. Güneş Azimut Açısı (β)

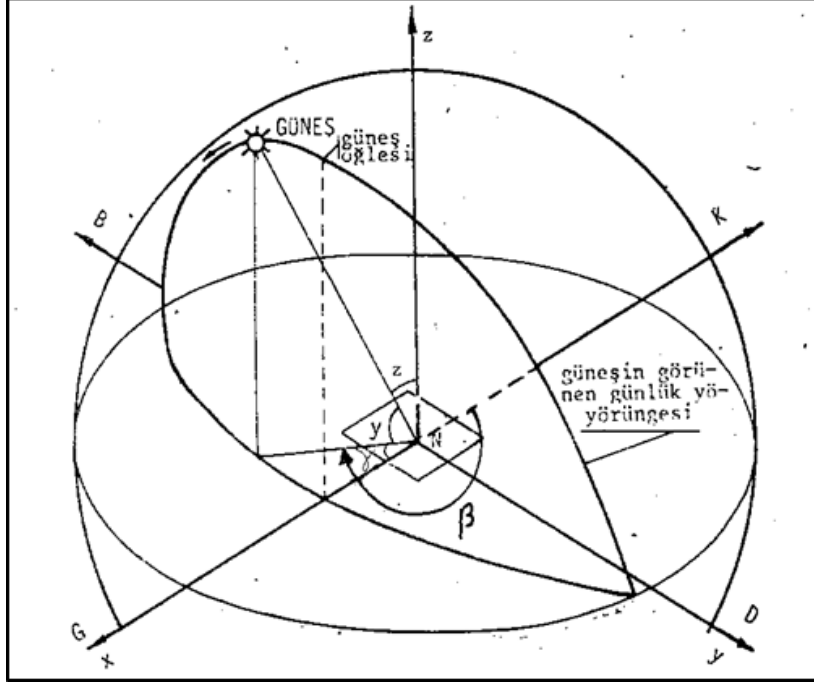
Güneş ışınlarının kuzeye göre saat ibresi dönüş yönünde sapmasını gösteren açıdır (Şekil 1). β , Eş. 3,

Eş. 4 ve Eş. 5’de belirtildiği şekilde elde edilir (Mcmullan, 1990; Arumı-Noe, 1996; Aksoy, 1975; Deriş, 1979; Al-Sareef et al., 2001).

$$\text{Yerel öğle vaktinden önce; derece biriminde} \\ \beta = 180^\circ - \gamma^G, \text{ grt biriminde } \beta = 200 - \gamma^G \quad (3)$$

$$\text{Yerel öğle vaktinden sonra; derece biriminde} \\ \beta = 180^\circ + \gamma^G, \text{ grt biriminde } \beta = 200 + \gamma^G \quad (4)$$

$$\cos \gamma = \frac{\cos \delta \cos \varphi \cos h - \sin \delta \sin \varphi}{\cos y} \quad (5)$$



Şekil 1. Yeryüzünde bir N noktasında, güneş zenit, yükseklik ve azimut açılarının şematik görünümü

3. TRAKYA’DA YAZ MEVSİMİ İÇİN GÜNEŞ AZİMUT ve GÜNEŞ ZENİT AÇISININ HESAPLANMASI

Trakya Bölgesi $26^\circ 24' 33''$ ila $28^\circ 11' 20''$ boylamları ile $40^\circ 08' 33''$ ila $42^\circ 06'$ enlemleri arasında yer almaktadır. Enlem olarak 40° , 41° ve 42° değerleri dikkate alınmış ve bölge için ortalama enlem olarak 41° değeri kabul edilmiştir.

Trakya bölgesi Edirne, Kırklareli, Tekirdağ ve Çanakkale illerinden oluşmaktadır. 21 Haziran’da belirtilen bu dört şehir için, takvimlerden elde edilen bilgilere göre güneşin doğuş ve batışına ait saatler incelendiğinde (Tablo 1); zamanlar arasında en fazla 5-6 dakikalık fark olduğu görülmüştür. Bu itibarla

Edirne için, 1 Mayıs’tan 1 Ekim’e kadar güneş doğuş ve batışıyla ilgili saat açıları kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 2’de gösterilmiştir.

Trakya bölgesinde, güneşli bir havada bir binanın gölge konumunu belirleyebilmek için belirlenen bir zaman aralığında, güneşin doğuş ve batış açıları ile güneş denklinasyon açısına, güneş zenit açısına ve güneş azimut açısına ihtiyaç bulunmaktadır.

Güneş zenit açısının, güneş yükseklik açısının ve güneş azimut açısının hesabında; güneş denklinasyon açısı için 1 Mayıs’tan 1 Ekim’e kadar her ayın 1’i, 15’i ile 21 Haziran günlerine ait değerler Eş. 1’deki bağıntı ile hesaplanmıştır.

Tablo 1. Trakya bölgesini oluşturan şehirlerdeki güneşlenme süreleri

İller	Enlem	Güneş Saat Açıları				
		Doğuş	Öğle	Batış	Doğuş	Batış
Kırklareli	42°	5.28	13.23	21.00	$13.23 - 5.28 = 7.55$	$21.00 - 13.23 = 7.37$
Edirne	41°	5.31	13.26	21.02	$13.26 - 5.31 = 7.55$	$21.02 - 13.26 = 7.36$
Tekirdağ	40°	5.29	13.22	20.56	$13.22 - 5.29 = 7.53$	$20.56 - 13.22 = 7.34$
Çanakkale	40°	5.37	13.26	20.57	$13.26 - 5.37 = 7.49$	$20.57 - 13.26 = 7.31$

Tablo 2. Edirne’de vakitler, güneş doğuş ve batışına ait saat açıları

Yılın Günleri	n	Güneş Vakitleri			Güneş Saat Açısı	
		Doğuş	Öğle	Batış	Doğuş (h)	Batış (h)
1 Mayıs	121	6.03	13.21	20.22	13.21-6.03=7.18	20.22-13.21=7.01
15 Mayıs	135	5.46	13.20	20.34	13.20-5.46=7.34	20.34-13.20=7.14
1 Haziran	152	5.34	13.22	20.50	13.22-5.34=7.48	20.50-13.22=7.28
21 Haziran	172	5.31	13.26	21.02	13.26-5.31=7.55	21.02-13.26=7.36
1 Temmuz	182	5.35	13.28	21.02	13.28-5.35=7.53	21.02-13.28=7.34
15 Temmuz	196	5.44	13.30	20.57	13.30-5.44=7.46	20.57-13.30=7.27
1 Ağustos	213	6.00	13.30	20.42	13.30-6.00=7.30	20.42-13.30=7.12
15 Ağustos	227	6.14	13.28	20.24	13.28-6.14=7.14	20.24-13.28=6.56
1 Eylül	244	6.31	13.24	19.57	13.24-6.31=6.53	19.57-13.24=6.33
15 Eylül	258	6.46	13.19	19.33	13.19-6.46=6.33	19.33-13.19=6.14
1 Ekim	273	7.02	13.13	19.06	13.13-7.02=6.11	19.06-13.13=5.53

Tablo 2 incelendiğinde; Edirne’de yılın belirlenen günlerinde hesaplanan güneşin doğuş ve batışına ait güneş saat açılarının 5.53 ila 7.55 saatleri arasında değiştiği görüldüğünden araştırmada sınır değer olarak $h=\pm 6$ değeri dikkate alınmıştır. Trakya bölgesini temsilen Tablo 1’de belirtilen zamanlar için, yukarıda belirtilen eşitliklerde hesaplanan güneş denklinasyon açıları, $h=0$ ’dan $h=\pm 6.0$ güneş saat açılarına karşılık gelen güneş zenit ve güneş

yükseklik açıları Tablo 3’de gösterilmiştir. Tablo 3’de belirtilen açılar dikkate alınarak, güneş azimut açısının hesaplamasında gerekli olan γ açıları Tablo 4’de gösterilmiştir. Tablo 4’de $h=\pm 1$ için Eş. 5 ile γ hesabında, matematiksel bir hata ($\cos\gamma > 1.0$) olduğundan, $h=\pm 1$ için güneş azimut açıları, yaklaşık olarak $h=\pm 2$ ya ait hesaplanmış γ değerlerinin yarı değerleri olarak alınmıştır.

Tablo 3. Edirne’ye ait 1 Mayıs’tan 1 Ekim’e kadar güneş zenit açıları (δ)

Yılın Günü	Denklinas. Açısı δ°	Saat Açıları						
		0	1	2	3	4	5	6
1 Mayıs	14.9009	28.9990	32.4104	40.9323	52.0112	64.1851	76.7280	89.2083
15 Mayıs	18.7919	24.6757	28.4976	37.6572	49.1439	61.4988	74.0617	86.4436
1 Haziran	22.0396	21.0671	25.3262	35.0755	46.8848	59.3540	71.8969	84.1646
21 Haziran	23.4498	19.5002	23.9854	34.0062	45.9471	58.4534	70.9761	83.1846
1 Temmuz	23.1205	19.8661	24.2962	34.2528	46.1636	58.6619	71.1900	83.4129
15 Temmuz	21.5173	21.6474	25.8290	35.4799	47.2391	59.6925	72.2410	84.5291
1 Ağustos	17.9132	25.6520	29.3719	38.3810	49.7771	62.0949	74.6572	87.0650
15 Ağustos	13.7836	30.2404	35.5511	41.9033	52.8631	64.9777	77.5067	90.0080
1 Eylül	7.7246	36.9727	39.8325	47.3567	57.6696	69.4183	81.8175	94.3788
15 Eylül	2.2169	43.0923	45.6412	52.5272	62.2648	73.6317	85.8420	98.3842
1 Ekim	-4.2155	50.2394	52.5004	58.7462	67.8374	78.7178	90.6347	103.071

Tablo 4. Edirne için güneş azimut açılarının elde edilmesine yardımcı olan γ açıları (°)

Yılın Günleri	GÜNEŞ AÇILARI						
	h=0	h=1	h=2	h=3	h=4	h=5	h=6
1 Mayıs	0°00	21.9218	43.8435	68.4208	85.1166	98.6325	110.9501
15 Mayıs	0.00	23.9222	47.8445	72.3143	88.6488	101.8319	113.8746
1 Haziran	0.00	25.8927	51.7854	75.8757	91.7641	104.5896	116.3494
22 Haziran	0.00	26.8454	53.6909	77.5171	93.1669	105.8133	117.4348
1 Temmuz	0.00	26.6174	53.2347	77.1327	92.8366	105.5261	117.1808
15 Temmuz	0.00	25.5553	51.1106	75.2827	91.2524	104.1404	115.9491
1 Ağustos	0.00	23.4384	46.8768	71.4008	87.8326	101.0998	113.2106
15 Ağustos	0.00	21.4106	42.8212	67.3723	84.1402	97.7333	110.1173
1 Eylül	0.00	19.0476	38.0952	62.1665	79.1144	92.9940	105.6432
15 Eylül	0.00	17.3860	34.7720	58.0456	74.8968	88.8599	101.6163
1 Ekim	0.00	15.8845	31.7690	53.8305	70.3247	84.1975	-

4. AZİMUT AÇISI DOĞRULTUSUNDA ZENİT AÇILARINA GÖRE OLUŞAN GÖLGE BOYLARININ HESAPLANMASI

4.1. Güneş Azimut Açısı Doğrultusunda Komşu Binalar Arasındaki Uzaklığın Hesabı

Güneş ışınları yeryüzündeki belirli yere, günün saatlerinde güneş azimut açısı doğrultusunda gitmektedir. Güneşli bir havada, bir imar adasında

bir binanın gölgesi, komşu binalar arasındaki sahada yani komşu bahçe mesafeleri toplamındaki (KBMT) veya arka bahçe mesafeleri toplamındaki (ABMT) aralıkta, güneş azimut açısı doğrultusunda oluşur. Ülkemizde uygulanan Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliği hükümlerine göre; 3, 4 ve 5 katlı yapılar için, bina yükseklikleri, komşu bahçe ve arka bahçe mesafeleri ile komşu parseller arasındaki bahçe mesafeleri toplamı Tablo5'de verilmiştir.

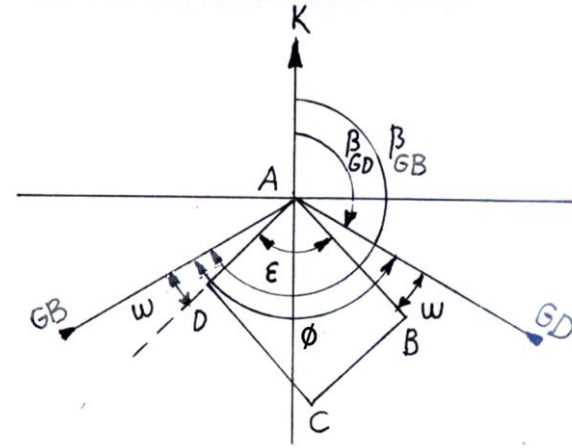
Tablo 5. 5 kata kadar yapılar için bahçe mesafeleri ve komşu parsellerdeki binalar arasındaki yatay uzaklıklar

Kat Adedi	Bina Yüksekliği (m)	Komşu Bahçe Mesafesi (m)	Arka Bahçe Mesafesi (m)	Komşu Bahçe Mesafeleri Toplamı (KBMT)	Arka Bahçe Mesafeleri Toplamı (ABMT)
3	9.50	3.00	4.75	6.00	8.50
4	12.50	3.00	6.25	6.00	12.50
5	15.50	3.50	7.75	7.00	15.50

Güneşli bir havada, bir imar adasında bir binanın AB cephesiyle ε açısı yapacak şekilde gelen güneş ışını, β güneş azimut açısı doğrultusunda, komşu iki bina cepheleriyle C ve D noktalarında kesişir. Şekillerde; DE: Komşu binalar arasındaki KBMT veya ABMT, DC: β Güneş azimut açısı doğrultusunda komşu binalar arasındaki yatay uzaklıktır.

$$DC = DE / \sin \varepsilon \quad (6)$$

Trakya bölgesinde yapılan bir araştırmada (İnce, 2005); yapılacak bir binanın bir cephesinin semt açısı $150^\circ - 150^\circ$ değerleri arasında olacak şekilde bir parselde konumlandırıldığında, gün boyunca güneş ışığından yararlandığı tespit edilmiştir (Şekil 2). Bu çalışmada; azami gölgeden yararlanma söz konusu olduğundan, binanın konumlandırılmasında bina cephesinin semt açısının belirtilen değerlerin dışında olan $(AB) = 100^\circ$ ve $(AB) = 200^\circ$ durumları dikkate alınacaktır.

**Şekil 2.** Trakya bölgesinde güneş ışığından azami yararlanacak şekilde bir binanın konumlandırılması (İnce, 2005).

Bina cephesinin semt açıları belirtilen değerlerde dikkate alınarak; β güneş azimut açısı doğrultusu ile bina cephesi arasındaki ε açılarının elde edilişi Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da

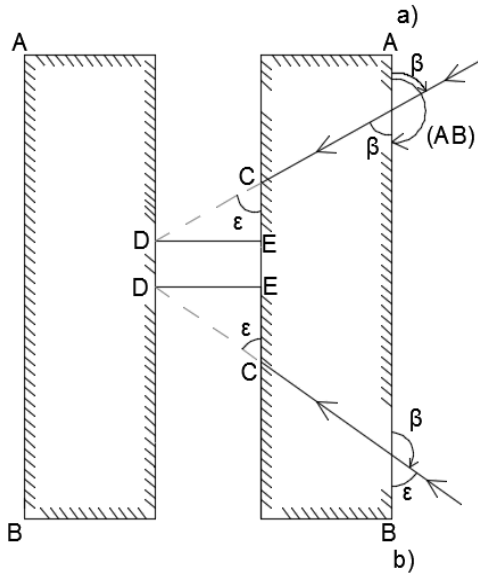
gösterilmiştir. Şekillerden ε aşağıdaki eşitlikler ile elde edilmiştir;

- 1-Şekil 3 de; $(AB)=200^\circ$
 (a) $0<\beta<100^\circ$ için $\varepsilon=\beta$ (7)
 (b) $100<\beta<200^\circ$ için $\varepsilon=200-\beta$ (8)

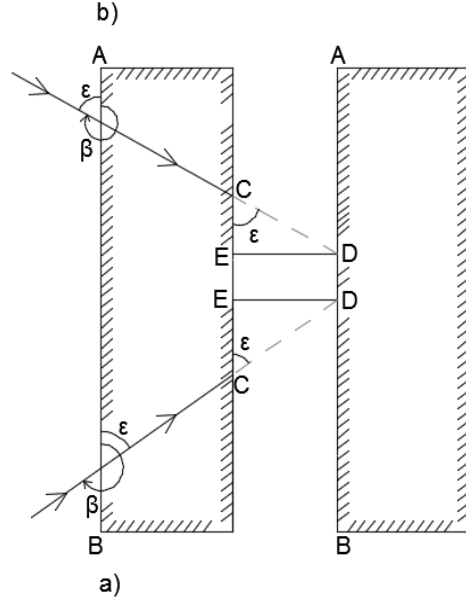
- 2-Şekil 4 de; $(AB)=200^\circ$
 (a) $200^\circ<\beta<300^\circ$ için $\varepsilon=\beta-200$ (9)
 (b) $300^\circ<\beta<400^\circ$ için $\varepsilon=400-\beta$ (10)

- 3-Şekil 5; $(AB)=100^\circ$
 (a) $0<\beta<100^\circ$ için $\varepsilon=100-\beta$ (11)
 (b) $100<\beta<200^\circ$ için $\varepsilon=\beta-100$ (12)

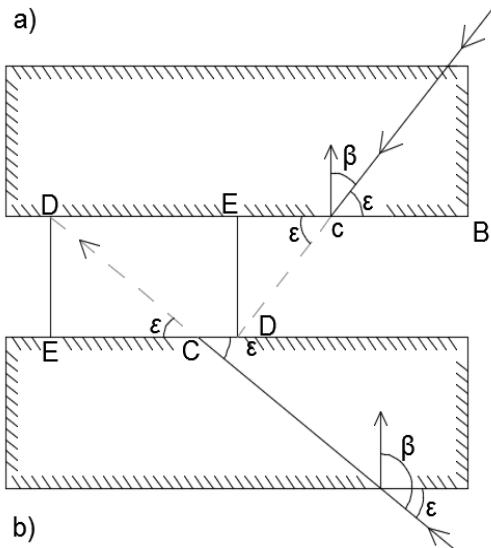
- 4- Şekil 6 de; $(AB)=100^\circ$
 (a) $200^\circ<\beta<300^\circ$ için $\varepsilon=300-\beta$ (13)
 (b) $300^\circ<\beta<400^\circ$ için $\varepsilon=400-\beta$ (14)



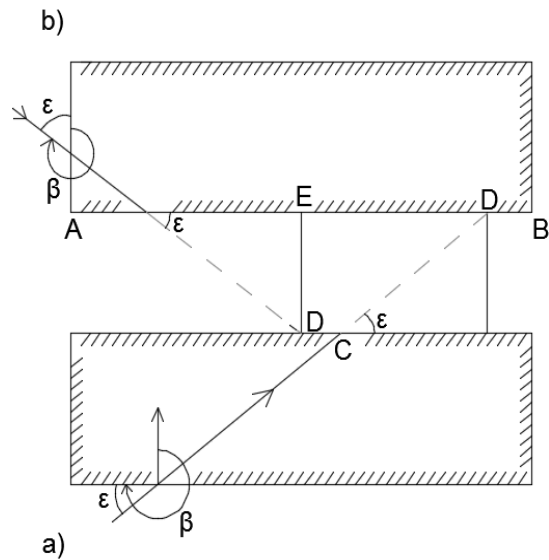
Şekil 3- $(AB)=200^\circ$, $0<\beta<100^\circ$ ve $100<\beta<200^\circ$ durumlarında ε açısının elde edilişi



Şekil 4- $(AB)=200^\circ$, $200<\beta<300^\circ$ ve $300<\beta<400^\circ$ durumlarında ε açısının elde edilişi



Şekil 5- $(AB)=100^\circ$, $0<\beta<100^\circ$ ve $100<\beta<200^\circ$ durumlarında ε açısının elde edilişi



Şekil 6- $(AB)=100^\circ$, $200<\beta<300^\circ$ ve $300<\beta<400^\circ$ durumlarında ε açısının elde edilişi

Bina cephesinin semt açısı $(AB)=100^\circ$ (veya $(BA)=300^\circ$) ve $(AB)=200^\circ$ (veya $(BA)=0^\circ$) kabul edilerek, Tablo 4 den elde edilen, (3) ve (4) nolu bağıntılar kullanılarak hesaplanan β azimut

açıları dikkate alınarak, yukarıdaki bağıntılara göre hesaplanan ε açıları Tablo 6 ve Tablo 7 de gösterilmiştir.

Tablo 6. Edirne için (AB)=200^s (veya (BA)=0^s) kabul edilerek hesaplanan ϵ açıları (°)

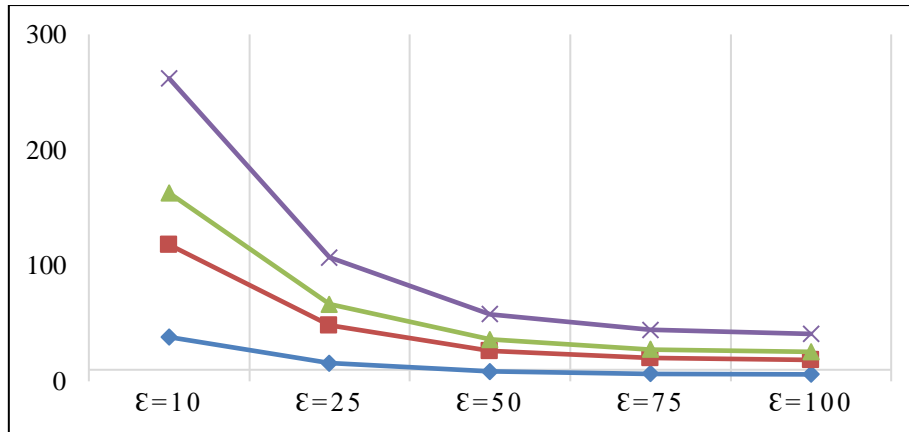
Yılın Günleri	GÜNEŞ AÇILARI						
	h=0	h=1	h=2	h=3	h=4	h=5	h=6
1 MAYIS	0 ^s .00	21.9218	43.8435	68.4208	85.1166	98.6325	89.0499
15 MAYIS	0.00	23.9222	47.8445	72.3143	88.6488	98.1681	86.1254
1 HAZİRAN	0.00	25.8927	51.7854	75.8757	91.7641	95.4104	83.6506
22 HAZİRAN	0.00	26.8454	53.6909	77.5171	93.1669	94.1867	82.5652
1 TEMMUZ	0.00	26.6174	53.2347	77.1327	92.8366	94.4739	82.8192
15 TEMMUZ	0.00	25.5553	51.1106	75.2827	91.2524	95.8596	84.0509
1 AĞUSTOS	0.00	23.4384	46.8768	71.4008	87.8326	98.9002	86.7894
15 AĞUSTOS	0.00	21.4106	42.8212	67.3723	84.1402	97.7333	89.8827
1 EYLÜL	0.00	19.0476	38.0952	62.1665	79.1144	92.9940	94.3568
15 EYLÜL	0.00	17.3860	34.7720	58.0456	74.8968	88.8599	98.3837
1 EKİM	0.00	15.8845	31.7690	53.8305	70.3247	84.1975	-

Tablo 7- Edirne için (AB)=100^s (veya(BA)=300^s) kabul edilerek hesaplanan ϵ açıları (°)

Yılın Günleri	GÜNEŞ AÇILARI						
	h=0	h=1	h=2	h=3	h=4	h=5	h=6
1 MAYIS	0 ^s .00	78.0782	56.1565	31.5792	14.8834	1.3675	10.9501
15 MAYIS	0.00	76.0778	52.1555	27.6857	11.3512	1.8319	13.8746
1 HAZİRAN	0.00	74.1073	48.2146	24.1243	8.2359	4.5896	16.3494
22 HAZİRAN	0.00	73.1546	46.3091	22.4829	6.8331	5.8133	17.4348
1 TEMMUZ	0.00	73.4447	46.7653	22.8673	7.1634	5.5261	17.1808
15 TEMMUZ	0.00	74.4447	48.8894	24.7173	8.7476	4.1404	15.9491
1 AĞUSTOS	0.00	76.5616	53.1232	28.5992	12.1674	1.0998	13.2106
15 AĞUSTOS	0.00	78.5894	57.1788	32.6277	15.8598	2.2667	10.1173
1 EYLÜL	0.00	80.9524	61.9048	37.8335	20.8856	7.0060	5.6432
15 EYLÜL	0.00	82.6140	65.2280	41.9544	25.1032	11.1401	1.6163
1 EKİM	0.00	84.1155	68.2310	46.1695	29.6753	15.8025	-

Muhtelif ϵ değerleri ve 4 ve 5 katlı yapılar için Tablo 5'de belirtilen KBMT ve ABMT dikkate alınarak hesaplanan DC değerleri grafik olarak Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 6'da ϵ açısının küçük

değerlerinde, güneş azimut açısı doğrultusunda komşu binalar arasındaki uzaklığın arttığı, ϵ nun artan değerlerinde ise azaldığı görülmektedir.



Şekil 6. Muhtelif katlı binalar için Tablo 5'deki KBMT ve ABMT değerleriyle hesaplanmış DC yatay gölge uzunluğunun muhtelif ϵ açılarına göre değişimi

4.2. Güneş Zenit Açılarına Göre Oluşan Bina Gölge Boylarının Hesaplanması

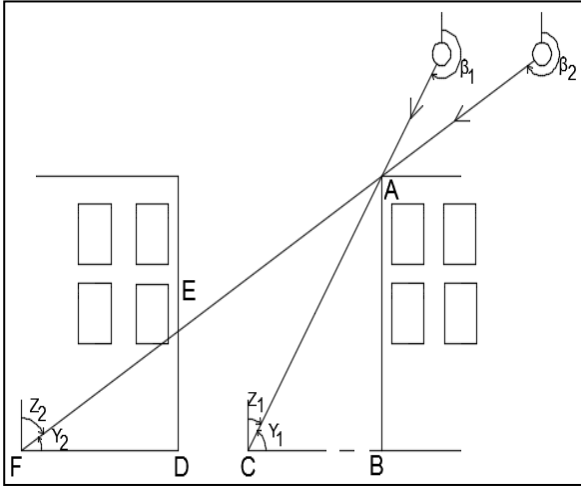
Yeryüzünde güneşli bir havada, farklı zamanlarda z_1 ve z_2 güneş zenit açısıyla (veya y_1 ve y_2 yükseklik açısıyla) gelen güneş ışınlarının (Şekil 7) yerden AB yüksekliğindeki bir bina duvarının zemindeki BC ve FB gölge uzunlukları;

$$BC=AB/\tan y_1=AB*\tan z_1 \quad (15)$$

$$FB=AB/\tan y_2=AB*\tan z_2 \quad (16)$$

eşitlikleriyle elde edilir. Burada; FB = FA doğrultusunda (β_2 güneş azimut açısı doğrultusunda) yerdeki gölgenin uzunluğu, DB= (14) nolu eşitlik ile hesaplanan komşu binalar arasındaki yatay uzunluk, FD=Oluşan gölge doğrultusunda komşu binanın tabanında kalan gölge uzunluğu, ED=FB>DB durumunda AB duvarının komşu bina yüzeyinde oluşan gölgesinin, yerden yüksekliğidir. FD ve ED aşağıdaki bağıntılarla elde edilir.

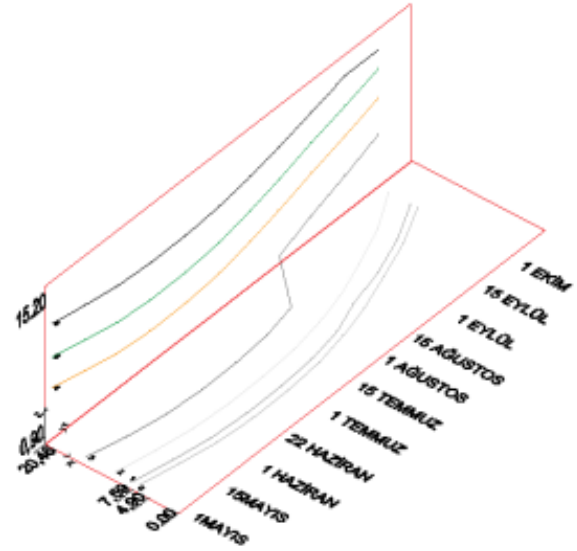
$FD=AB \cdot \tan z_2 - ((14)$ nolu eşitlik ile elde edilen uzunluk) (17)
 $ED=FD \cdot \tan y_2 = FD / \tan z_2$ (18)



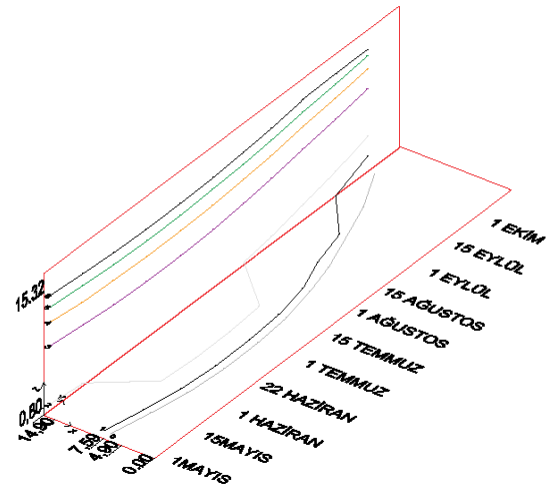
Şekil 7. Güneşli bir havada farklı zamanlarda gelen güneş ışınlarının zeminde (komşu bahçe veya arka bahçe sahasında) ve komşu bina yüzeyinde oluşturduğu gölge uzunlukları.

Bir imar adasında bir parseldeki bina duvarının komşu parseldeki binanın yüzeyinde gölgesinin oluşması için $FB > DB$ olması gerekir. Eğer $FB < DB$ ise, bu durumda güneşe maruz kalan binanın gölgesi, komşu binalar arasındaki komşu bahçe sahasında veya arka bahçe sahasında oluşur.

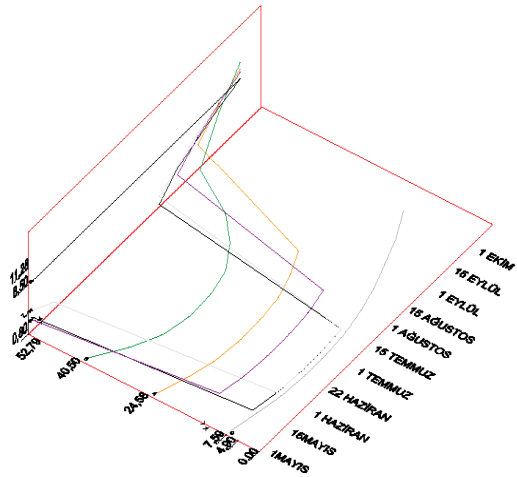
$h=0$ için güneş ışınları yeryüzüne dik doğrultuda geldiğinden cisimlerin gölgesi oluşmaz, bu nedenle hesaplamalarda $h=\pm 1$ ila $h=\pm 6$ arasındaki güneş açıları dikkate alınmıştır. Yukarıda açıklanan hususlara ve Tablo 6 ve Tablo 7 de belirtilen ϵ açılara göre; bina cephesini semt açısı $(AB)=100^\circ$ ve $(AB)=200^\circ$ kabul edilerek, bir imar adasında ayrıık yapı nizamında 5 katlı olan bir binanın, komşu bahçeler sahasında, arka bahçeler sahasında oluşan gölge uzunluğu ile komşu bina yüzeyinde oluşan gölgenin yerden yükseklikleri; Şekil 8-9-10-11'de üç boyutlu ve renkli çizimleri ile gösterilmiştir. Şekillerde komşu bahçe ve arka bahçe sahalarında oluşan gölge uzunlukları, zaman ekseninin sol tarafındaki alanda yer almaktadır ve komşu bina yüzeylerinde oluşan gölge boyları ise belirtilen alanlara bitişik konumdaki alanda yer almaktadır.



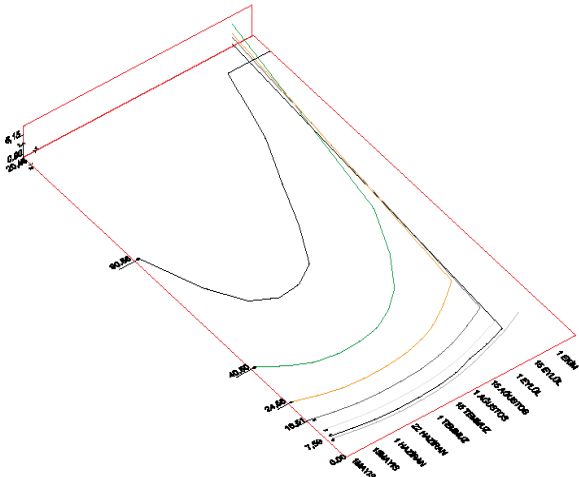
Şekil 8. $(AB)=200^\circ$ Arka bahçeler sahasında ve komşu bina yüzeyinde oluşan gölge boyları



Şekil 9. $(AB)=200^\circ$ Komşu bahçeler sahasında ve komşu bina yüzeyinde oluşan gölge boyları



Şekil 10. $(AB)=100^\circ$ Arka bahçeler sahasında ve komşu bina yüzeyinde oluşan gölge boyları



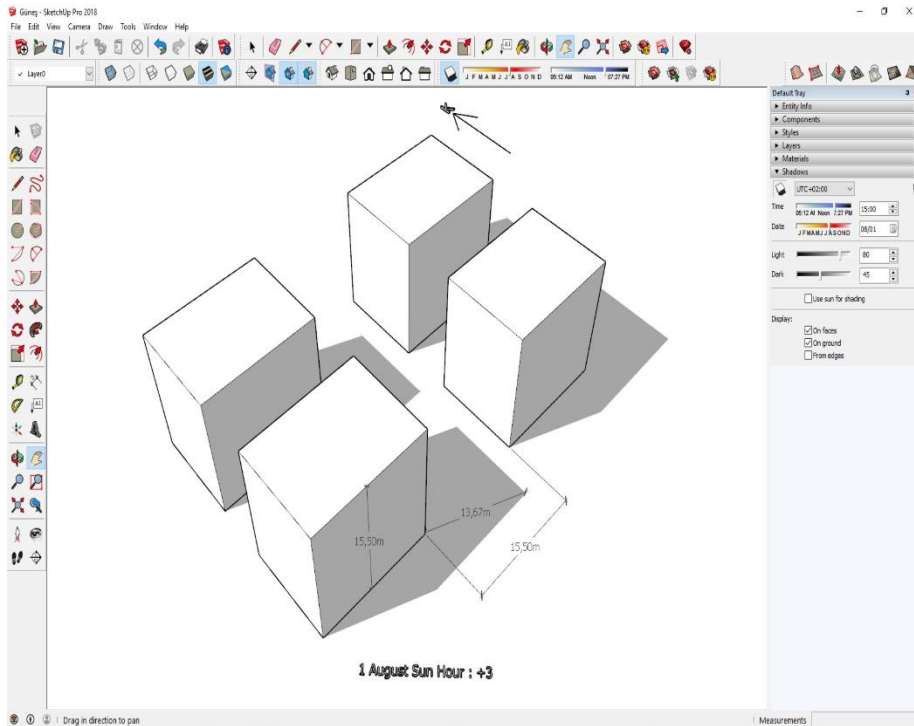
Şekil 11. (AB)=100° Komşu bahçeler sahasında ve komşu bina yüzeyinde oluşan gölge boyları

5. UYGULAMADA BİR İMAR ADASINDA GÖLGE AYDINLIK DURUMUNUN İNCELENMESİ

Bir iskân sahasında yapılaşma için imar adasının cephesinin semt açıları muhtelif değerlerde olabilir. Uygulamada belirtilen bu açı değerleri yuvarlak değer olarak 0° (veya 200), 50° (veya 250°), 100° (veya 300°), 150° (veya 350°) değerlerinde veya kısıratlı değerlerde olabilir.

Buna göre; gölgeleme için yani güneşlenmemek için, 4.1 bölümünde belirtildiği şekilde bina cephesinin semt açısı olarak 200° (veya 0°) veya 100° (veya 300°) değerleri karşımıza çıkmaktadır. İmar adalarında bina cepheleri, ada cephelerine paralel konumda olduğundan, değerlendirmeyi ada cephesinin semt açısı olarak belirlemek daha doğru olacaktır.

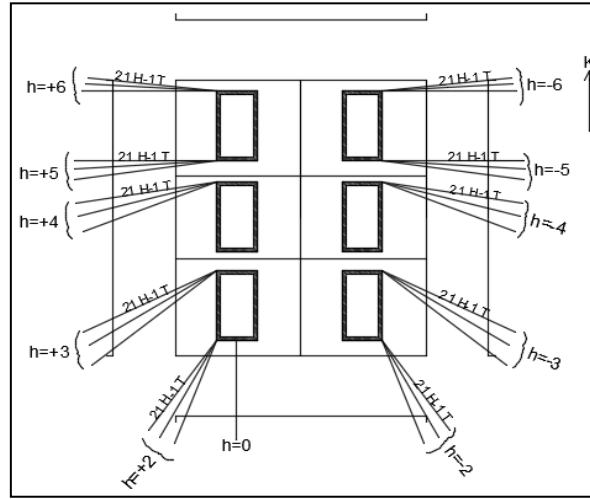
Uygulamada SketchUP yazılımı ile, Trakya bölgesinde bir imar adasında ayırık nizamda 5 katlı bir binanın örnek olarak 1 Ağustos tarihinde h=3 güneş saatinde oluşturduğu gölgenin konumu Şekil 12'de gösterilmiştir.



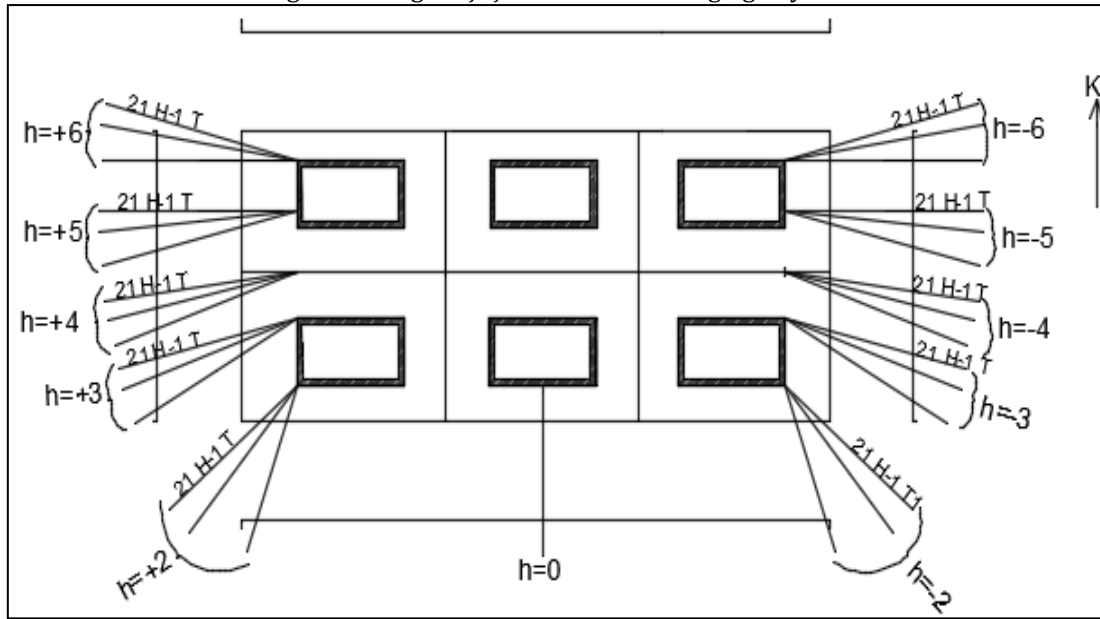
Şekil 12. SketchUP yazılımı ile, Trakya bölgesinde bir imar adasında arka bahçe sahasında oluşan gölgenin konumu ve boyutu

Bir imar adasında yapılacak bir binanın gün boyunca güneşlenmemesi için, imar adası cephesinin semt açısının 200° ve 100° olması halinde yani ada cephesinin kuzey-güney ve batı- doğu yönündeki konumlarında, Tablo 4'den alınan γ açıları Eş. 3 ve

Eş. 4'de hesaplanan β güneş azimut açıları grafik olarak gösterilerek (Şekil 13, Şekil 14) inceleme yapılmıştır.



Şekil 13. İmar ada cephesi kuzey- güney doğrultusunda iken güneş azimut açısının ve güneş saat açısının muhtelif değerlerinde güneş ışınlarının binalara gölge-aydınlık etkileri



Şekil 14. İmar ada cephesi batı- doğu doğrultusunda iken güneş azimut açısının ve güneş saat açısının muhtelif değerlerinde güneş ışınlarının binalara gölge-aydınlık etkileri

Binaların ön ve arka cephelerinin doğu batı doğrultusunda konumlandırılması durumunda;

- $h=\pm 6$ da sabah ve akşam saatlerinde parsellerdeki binaların kuzeye bakan ön cephelerinin yandan gelen güneş ışınlarının kısmen etkisinde olduğu, binaların arka cephelerinin gölgede kaldığı,
- $h=\pm 3$ ila $h=\pm 5$ arasında parsellerdeki binaların ön cephelerinin ve güneye bakan cephelerinin güneş ışığına maruz kaldığı, binaların kuzeye bakan cephelerinin (adanın kuzeyinde yer alan binaların ön cephelerinin, adanın güneyinde yer alan binaların arka cephelerinin) gölgede kaldığı,
- $h=0$ ila $h=\pm 2$ arasında parsellerdeki binaların güneye bakan yan cephelerinin yani adanın güneyindeki binaların yan cephelerinin güneş ışınlarına maruz kaldığı, binaların kuzeye bakan arka cephelerinin gölgede kaldığı görülmüştür.

Binaların ön ve arka cephelerinin kuzey güney doğrultusunda konumlandırılması durumunda;

- $h=\pm 6$ da sabah ve akşam saatlerinde parsellerdeki binaların kuzeye bakan genellikle kapalı olan yan cephelerinin yandan gelen güneş ışınlarının etkisinde olduğu, binaların arka cephelerinin ve güneye bakan yan cephelerinin gölgede kaldığı,
- $h=\pm 3$ ila $h=\pm 5$ arasında parsellerdeki binaların ön cephelerinin ve güneye bakan yan cephelerinin güneş ışığına maruz kaldığı, binaların arka cephelerinin gölgede kaldığı,
- $h=0$ ila $h=\pm 2$ arasında parsellerdeki binaların güneye bakan cephelerinin yani adanın güneyindeki binaların yan cephelerinin güneş ışınlarına maruz kaldığı, binaların kuzeye bakan diğer yan cephelerinin gölgede kaldığı görülmüştür.

Binaların ön ve arka cephelerinin kuzey- güney doğrultusunda konumlandırılmasında, binaların

batı doğu doğrultusunda konumlandırılmasına göre; ön ve arka cephelerinin daha az güneşe maruz kaldığı ve daha çok gölgede kaldıkları görülmektedir.

6. BULGULAR

Genel olarak, 1 Mayıs'tan 1 Ekim'e kadar oluşan gölgelerin zemindeki uzunluğunun, $h=0$ ila $h=\pm 6$ güneş saatleri arasında zamanla orantılı olarak arttığı görülmüştür.

6.1- Bina cephesi veya ada cephesi kuzey- güney doğrultusunda (yani (AB)=200° veya (BA)=0° olduğunda) olduğunda

Şekil 8 incelendiğinde; arka bahçeler sahasında güneşli bir havada:

- 15 Ağustos'tan itibaren 1 Ekim'e kadar $h=\pm 3$ saatinde ve $h=\pm 4$ ila $h=\pm 6$ saatleri arasında, sahanın tamamı gölgede kaldıktan sonra gölgenin, komşu binanın yüzeyinde oluştuğu,
- Bu oluşumun 15 Ağustos'ta $h=\pm 3$ de zeminden itibaren 0.89 m den $h=\pm 6$ da 15 Eylül'de 15.20 m ye yükseldiği görülmüştür.

Şekil 9 incelendiğinde; komşu bahçe sahasında güneşli bir havada:

- 1 Haziran'dan 15 Temmuz'a kadar $h=0$ den $h=\pm 2$ 'ye kadar sahada gölge oluştuğu,
- 1 Mayıs'tan 1 Ekim'e kadar $h=\pm 2$ ila $h=\pm 6$ saatleri arasında sahanın tamamı gölgede kaldıktan sonra gölgenin, komşu binanın yüzeyinde oluştuğu,
- $h=\pm 1$ ila $h=\pm 2$ saatleri arasında kısmen komşu bina cephesinde gölge oluştuğu,
- komşu bina cephesinde oluşan gölgenin yerden itibaren 0.03 m den 15.32 m ye kadar yükseldiği görülmüştür.

6.2- Bina cephesi veya ada cephesi kuzey- güney doğrultusunda (yani (AB)=100° veya (BA)=300° olduğunda) olduğunda

Şekil 10 incelendiğinde; arka bahçeler sahasında güneşli bir havada:

-Genel olarak arka bahçe sahasında, kısmen 1 Ekim'de $h=\pm 2$ ila $h=\pm 5$ saatleri arasında, sahanın tamamı gölgede kaldıktan sonra komşu bina cephesinde gölge oluştuğu görülmüştür.

Şekil 11 incelendiğinde; komşu bahçeler sahasında:

- 1 Ağustos'tan 1 Ekim'e kadar $h=\pm 1$ ila $h=\pm 5$ saatleri arasında komşu bina yüzeyinde, diğer zamanlarda komşu bahçe sahasında gölge oluştuğu,
- $h=\pm 6$ saatinde 1 Mayıstan 1 Ekim'e kadar komşu bina yüzeyinde oluşan gölgenin 8.50 m sabit uzunlukta kaldığı görülmüştür.

7. TARTIŞMA

1- Trakya bölgesinde yapılan bir araştırmada (İnce, 2005); binaların yıl boyunca güneşlenmesi için, yapılacak bir binanın cephesinin, 150° – 250° semt açısı değerleri arasında kalması gerektiği

belirtilmektedir. Bu tespitten hareket edilerek, Trakya bölgesinde gölgelenme konusunun araştırılmasında; oluşacak gölgede, bina veya ada cephesinin konumunun etkisini tespit etmek amacıyla, iki farklı doğrultuda yani kuzey- güney doğrultusunda ve batı-doğu doğrultusunda bina konumu sabit kabul edilmiştir.

2-Belirlenen doğrultularda bina cephesinin konumu sabit kabul edildiğinde, değişken olan, gün boyunca değişen güneş azimut açısının doğrultusudur.

3- Bina cephesinin konumu sabit bir değerde alındığında, bina cephesi ile güneş ışınının doğrultusu arasındaki ϵ açısının gerçek değerlerinde elde edilmesi sağlanmıştır.

4- Bina cephesi semt açısının 200° alınması durumunda, bütün güneş saatlerinde ϵ açısının hiç dar açı oluşturmadığı, oluşan gölgelerin bahçe sahalarında ve komşu bina cephesinde yer aldığı görülmüştür.

5- Bina cephesi semt açısının 100° alınması durumunda $h=\pm 5$ güneş saatinde hesaplanan ϵ açıları dar açılar tespit edilmiştir. ϵ nun dar açılı olması durumunda, güneş azimut açısı doğrultusunda, bahçe sahalarına girmeyen çok uzun gölgelerin oluştuğu görülmüştür.

6- Yukarıdaki şekillerin analizinden; binaların komşu bahçe sahasında ve arka bahçe sahasında; bina veya ada cephesinin kuzey güney yönünde konumlandırılmasında, batı-doğu yönünde konumlandırılmasına göre; daha az güneşe maruz kaldığı ve daha çok gölgede kaldıkları görülmektedir.

8. SONUÇLAR

- Trakya bölgesinde bir imar adasında ayrıık yapı nizamında yer alan binaların, 1 Mayıs – 1 Ekim tarihleri arasında güneşli bir havada gölgelenme durumunun, güneş açılarının 0 ila 6 saatleri arasında, β azimut açısına ve bina cephesinin konumuna ve dolaylı olarak ϵ açısına bağlı olarak, genel olarak zemindeki gölge uzunluğunun arttığı görülmüştür.
- Gün boyunca azami güneş ışığından yararlanmak için imar parseli ve ada cephesinin, güneş azimut açılarının 50° ila 250° değerlerine göre konumlandırılması; gerektiği ilkelerine göre, binanın güneşlenmemesi için imar adası cephesi semt açısının 200° (veya 0°) veya 100° (veya 300°) olması gerekmektedir.
- Binaların, bina veya ada cephesinin kuzey güney yönünde konumlandırılmasında, batı-doğu yönünde konumlandırılmasına göre; daha az güneşe maruz kaldığı ve daha çok gölgede kaldıkları görülmektedir.

- Bu sonuçtan hareketle, Trakya bölgesinde yapılacak binaların daha çok gölgede kalması için, imar düzenlemesinde, genel olarak imar adaları cephelerinin kuzey güney doğrultusunda konumlandırılması önerilir.

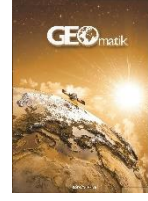
BİLGİLENDİRME

Bu çalışmanın genişletilmiş özeti 8-10 Kasım 2018 tarihleri arasında Harran Üniversitesi'nde (Şanlıurfa) düzenlenen "6. Uluslararası GAP Mühendislik Kongresi-(GAP 2018)" isimli etkinlikte sunulmuş ve elektronik ortamdaki etkinlik bildiri kitapçığında yayınlanmıştır.

KAYNAKÇA

- Abood, A.A. (2015). A Comprehensive solar angles simulation and calculation using Matlab. *International Journal of Energy and Environment (IJEE)*, Volume 6, Issue 4, pp. 367-376.
- Aksoy, A. (1975). Jeodezik astronominin temel bilgileri (küresel astronomi), M. T. Basımevi, İstanbul.
- Al-Qeeq, F. (2008). Passive solar urban design-shadow analysis of different urban canyons, *An-Najah Univ. J. Res. (N. Sc.)* Vol. 22.
- Al-Sareef, F. M., Oldham, D. J. and Carter, D. J. (2001). A computer model for predicting the daylight performance of complex paralel shading systems. *Building and Environment*, n: 36; 605-18.
- Anderson, J.M. and Mikhail, E.M. (1998). *Surveying theory and practice*, 7th ed. Boston, MA: Mc Graw Hill.
- Arumı-Noe, F. (1996). Algorithm for geometric contruction of an optimum shading. *Automation in Construction*, n: 5; 211-7.
- Chatzidimitriou, A. and Axarli, K. (2017). Street, canyon geometry effects on microclimate and comfort; a case study in Thessaloniki, *Procedia Environmental Sciences*, 38, 643 – 650
- Deriş, N. (1979). Güneş enerjisi sıcak su ile ısıtma tekniği, Sermet Matbaası, İstanbul.
- Djekica, J., Djukicb, A., Vukmirovicb, M., Djekicc, P. and Brankovic, M.D. (2018). Thermal comfort of pedestrian spaces and the influence of pavementmaterials on warming up during summer. *Energy and Buildings*, 159, 474–485
- Erdem, N. ve İnce, H. (2016). The proposal of the building application for more benefiting from solar light, *Selçuk International Scientific Conference on Applied Sciences Conference*, 27-30 September, Belek- Antalya, CD Copy, 199 p., 175x250 mm, ISBN 978-605-65700-1-8.
- Farr, D. (2008). *Sustainable urbanism: urban design with nature*, Wiley, New Jersey.
- Mcmullan, R. (1990). *Environmental Science in Building*, Macmillan, Hong Kong.
- Oduncu, E., and Esen Yüksel, S. (2018). An investigation of the effect of neighboring objects to shadow areas on real data based on the physical radiance model. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33:3 (2018) 887-904, <https://doi.or./10.17341/gazimmfd.416393>.
- Oktay, D. (2004). Urban design for sustainability: a study on the turkish city. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 11/1, March, 24-35.
- Keleş, N. S. (2016). Gölgeleme elemanlarının bina enerji harcamalarına ve kullanıcı konforuna etkisinin değerlendirilmesi: üniversite kampüsünde bir ofis binası örneği, 2. Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi, Yapı Fiziği Derneği, 04-06 Mayıs, İTÜ Mimarlık Fak, İstanbul.
- Kılıç, A., ve Öztürk, A. (1980). Güneş enerjisi, İTÜ Mak. Fak., Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul.
- İnce, H. (2005). Trakya bölgesinde toplu konut alanlarında yapılacak binaların gün boyu güneş ışığından yararlanması için bir tasarım önerisi, 4. Planlı Dönemde Trakya'da Sanayileşme ve Çevre Sempozyumu, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Bildiriler Kitabı, Sayfa 371-380, 14-15 Ekim, Edirne.
- İnce, H. ve Erdem, N. (2018). Gün ışığından azami yararlanacak şekilde yapılacak binalar için alan tasarrufu bakımından parsel konumunun araştırılması, *Mühendislik Alanında Akademik Araştırmalar*, ISBN.978-605-288-390-7, www.gecekitapligi.com, s.143-161, Ankara.
- Mo, K.M. and Nobuo, M. (2018). A study of tree pattern and tree species of colonial grid pattern city in tropical zone considering urban morphology using statistical analysis, *International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 10, No. 5, October.
- Morakinyo, T.E., Kong, L., Lau, K.K.L., Yuan, C. and Ng, E. (2017). A study on the impact of shadow-cast and tree species on in-canyon and neighborhood's thermal comfort, *Building and Environment*, 115, 1-17.

- Jaillot, V., Pedrinis, F., Servigne, S., Gesquière, G. (2017). A generic approach for sunlight and shadow impact computation on large city models. 25th International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision 2017, May, Pilsen, Czech Republic. 10 p. hal-01559175
- Jamei, E. (2016). Priyadarsini Rajagopalan, Mohammadmehdi Seyedmahmoudian, Yashar Jamei, Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1002–1017
- Jamei, E. and Rajagopalan, P. (2017). Urban development and pedestrian thermal comfort in Melbourne, *Solar Energy*, 144, 681–698.
- Peeters, A. (2016). A GIS-based method for modeling urban-climate parameters using automated recognition of shadows cast by buildings, *Computers, Environment and Urban Systems*, 59, 107–115.
- Rehan, S.M.T.I. and Islam, K.S. (2015). Analysis Of Building Shadow in Urban Planning: A Review, June, *Jahangirnagar University Planning Review*, No 13, pp. 11–22.
- Shishegar, N. (2013). Street design and urban microclimate: analyzing the effects of street geometry and orientation on airflow and solar access in urban canyons, *Journal of Clean Energy Technologies*, Vol. 1, No. 1, January.
- Som, T. and Pathak, R. (2015). Maximum solar power generation through optimization of tilt solar angles of solar panels by heuristic technique. *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*, DOI 10.17148/IJIREICE.2015.3409, Vol. 3, Issue 4, April.
- Sun, S., Xu, X., Lao, Z., Liu, W., Li, Z., García, E.H., He, L. and Zhu, J. (2017). Evaluating the impact of urban green space and landscape design parameters on thermal comfort in hot summer by numerical simulation, *Building and Environment*, 123, 277-288
- Taleghani, M. (2018). Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies- A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2011–2018.
- Tapias, E. and Soni, S. (2016). Building-up urban open spaces from shadow range analyses, *Towards Smarter Cities - Volume 1 - eCAADe 32, Proceedings of the 5th International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems April 23-25, in Rome, Italy.*
- Tsoka, S. (2017). Investigating the Relationship Between Urban Spaces Morphology and Local Microclimate: a study for Thessaloniki, *Procedia Environmental Sciences*, 38, 674–681.
- Yang, S.R. and Lin, T.P. (2016). An integrated outdoor spaces design procedure to relieve heat stress in hot and humid regions. *Building and Environment*, 99, 149-160.
- URL_1: <https://www.sketchup.com/>
- URL_2: <https://www.autodesk.com/products/revit/new-features>
- URL_3: <https://www.graphisoft.com/archicad/>



6306 sayılı Kanun Kapsamında Yapısal Değişiminin Yıllara Göre Elektrik Tüketim Boyutuyla İncelenmesi: Uşak İli Örneği

Fatih Taktak*¹, Mehmet İli²

¹Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Uşak, Türkiye

²OEDAŞ, Harita Mühendisi, Uşak, Türkiye

Anahtar Kelimeler

6306 sayılı kanun
Kentsel yenileme
Elektrik enerjisi tüketimi
Konumsal veri analiz

ÖZ

Son dönemlerde dünyada olduğu gibi Türkiye’de de gündemin önemli maddelerinden biri kentsel dönüşüm olgusudur. Ülkemizde 1950 yılından itibaren kanuni düzenlemelerde yeri olan kentsel dönüşüm konusu, 2012 yılında yürürlüğe giren “6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi” kanunuyla odak noktası haline gelmiştir. Bu kanun çerçevesinde, Uşak ili merkezde uygulamaya konulan kentsel yenileme sonucunda riskli yapılar (kerpiç, ahşap veya kagir yapılar vb.) yıkılarak yerine daha modern ve bölge ihtiyaçlarına uygun (İmar planına uygun konut veya apart daireler vb.) konutlar yapılmıştır. Eski yapıların genellikle tek katlı ya da 2 katlı (1-2 daireli) olması nedeniyle konum başına elektrik tüketimi daha az olarak gerçekleşmiştir. 6306 sayılı kanunun çıkışından önce ve sonraki dönemi kapsayan 2009-2016 yılları arasında bakıldığında, imar durumuna göre yapılan yeni yapılar 3-5 katlı daire ya da apart daire şeklinde bitişik nizamdır. Bu sebeple, konumsal olarak bağımsız daire ve kişi sayısındaki artışında etkisiyle elektrik enerjisi tüketimindeki değişim ilgili yıllarda dikkat çekici bir oranda yükselişe geçmiştir. Bu çalışmada, konumsal veri analizi yapılarak Uşak ilinde 2009-2016 yılları arasında ekonomik ömrünü tamamlamış olan eski binaların yıkılarak geneli bitişik nizam imar düzenine sahip ve dikey konut yapılanmasının hızlı bir şekilde gerçekleştiği Ünalın Mahallesi’ndeki konut başına elektrik tüketim yoğunluğu ve değişimi belirlenmiştir.

Investigation of Structure Changes in the Scope of Law No. 6306 by Electricity Consumption According to Years: An Example of Uşak

Keywords

Law no. 6306
Urban renewal
Electricity consumption
Spatial data analysis

ABSTRACT

As one of the key ingredients in the world in recent years in Turkey’s agenda is urban renewal cases. The subject of urban transformation, which has a place in the legal regulations since 1950, has become the focal point with the Law No. 6306, which came into force in 2012. Within the framework of this law, as a result of the urban transformation implemented at Uşak center, risky structures (adobe, wood or masonry structures, etc.) were demolished and replaced with modern and residential buildings. Due to the fact that the old buildings were usually single-storey or 2-storey, electricity consumption was less used in the spatial dimension. But before and after the exit of Law No. 6306; When looking between 2010 and 2016, new buildings constructed according to the zoning status have taken the form of a 3-5-storey apartment or apart-shaped apartment. Thus, the change in electricity consumption, positively due to the increase in the number of apartments and the number of people, has increased considerably between the relevant years. In this study; In the city of Uşak, between 2010 and 2016, the Unalan quarter, which has a complex zoning order and completed its economic life, has been investigated. According to the density of electricity consumption, the change in years has been realized by Geographical Information System (GIS) and spatial data analysis.

1. GİRİŞ

6306 sayılı kanun ile, afet riski altındaki, ekonomik ömrünü doldurmuş bulunan alanların, gerekli tüm kentsel ve sosyal fonksiyonlarının yenilenerek fiziki ve konumsal özelliklerinden kaynaklanan olası tüm doğal afet riskleri de ortadan kaldırılacak biçimde yeniden yapılması hedeflenmektedir. Dönüşüm biçimlerine bakıldığında, genellikle yenilemenin ön plana çıktığı uygulamaların desteklendiği görülmektedir. Genel olarak kentsel yenileme, üst-orta sınıfların, kentin içinde bulunan ve süreç içinde çeşitli ekonomik, siyasal ve toplum koşulları sonucu çöküntü haline gelmiş alanlardaki yıpranmış konutların gerek bireysel gerekse örgütlü bir yenileme sonucu, bu konutlara yerleşerek yer değiştirmesi süreci olarak ifade edilmiştir (Daşkıran, 2015; Uğur, 2016; Kaplan, 2017).

2012 yılı Mayıs ayı içerisinde yayınlanarak yürürlüğe giren bu kanun, afet riskleri sebebiyle kentsel dönüşüm uygulamalarını gerçekleştirmek amacıyla düzenlenmiştir. Bu kanun ile dönüşüm faaliyetlerinin gerçekleştirilmesine yönelik olarak ekonomik teşvikler ve yaptırımlar eklenmiştir. İlgili kanunun uygulamalarına ışık tutmak amacıyla 6306 sayılı Kanunun Uygulama Yönetmeliği ve riskli yapıların tespitine yönelik esasları barındıran yönetmeliğin ekleri yayınlanmış, kentsel dönüşüm faaliyetlerini finanse etmek amacıyla “Dönüşüm Projeleri Özel Hesabı” oluşturulmuştur. Bu hesap çerçevesinde gerçekleştirilecek iş ve işlemlere ve harcamalara yönelik “Dönüşüm Projeleri Özel Hesabı Yönetmeliği” yayınlanmış, ayrıca bahse konu özel hesaptan yapılacak kira yardımı ödemelerine yönelik “Kira Yardımı Uygulamaları Kılavuzu” yayınlanmıştır. Burada, 6306 sayılı kanunun dönüşüm faaliyetlerini çok yönlü olarak ele almayı amaçlayan ve kanun kapsamında yapılacak işlemleri hükümlere bağlayarak uygulama bütünlüğü sağlamayı amaçlayan bir düzenleme yapılmıştır (Bentley, 2004; Trencher, 2013; Bilecen, 2015; McPhearson, 2016; Yenice, 2016).

Ülkemizde kentsel dönüşüm ve yenileme süreci, 2012 yılında yürürlüğe giren 6306 sayılı kanununda tanımlanan, “... afet riski altındaki alanlar ile bu alanlar dışındaki riskli yapıların bulunduğu arsa ve arazilerde, fen ve sanat norm ve standartlarına uygun, sağlıklı ve güvenli yaşama çevrelerini teşkil etmek üzere iyileştirme, tasfiye ve yenilemeler” olarak belirtilmiştir. Kanunun genel kapsamında, sürecin aktörleri ve yasal çerçeveyi tanımlamakta ve hangi alanlarda kentsel dönüşüm sürecine başvurulması gerektiğine işaret etmektedir. Kanun ile süreçte görev alacak aktörleri; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, idareler (Belediyeler - Büyükşehir ve İlçe Belediyeleri - İl Özel İdareleri) ve TOKİ (Toplu Konut İdaresi Başkanlığı) olarak tanımlamıştır. Anlaşıldığı üzere bu kurumlar sürecin kamu bileşenini oluşturmaktadır (Genç, 2008; Aydınli, 2012; Yenice, 2016; Özgür, 2018). Öte taraftan, özel sektör tarafı

ise riskli yapı tespitinde Bakanlık tarafından lisanslı kurum ve kuruluşlar ile uygulama sürecini üstlenecek şirketler belirtilmiştir. Üniversitelerin ise bilirkişilik kapsamında, hak sahipleri ile kamu arasındaki uyumu kurması amaçlanmıştır (Farías, 2012; Trencher, 2013; e-mevzuat, 2019).

Günümüzün kent planlama çalışmaları, sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde gerçekleştirilmesi yadsınmaz bir gerekliliktir. Ekonomik, işlevsel ve görsel olarak yıpranan ve afet riski taşıyan konutların yenilenmesi amacıyla gerçekleştirilen kentsel yenileme çalışmaları da, sürdürülebilir kentsel gelişimin hayata geçirilmesi açısından bir fırsat olarak görülmektedir (Turgay, 2018; Parlak, 2018; Kocaoğlu, 2018).

Kentsel yenileme ile mevcut yerleşim yerlerinde ve yeni yerleşim alanlarında alınacak önlemlerin, sürdürülebilirlik açısından eşit derecede öneme sahip, dengeli ve bütüncül bir sistem içerisinde olması amaçlanmıştır. Riskli bina olarak ya da imar adası bazında gerçekleştirilen kentsel yenileme uygulamalarının sürdürülebilir gelişime çözüm olamayacağı açıkça ilgililer tarafından görülmüştür. Ülke çapında verilen kararlar ve bu kararlar doğrultusunda tanımlanan ilkeler ve politikalar, karşılaşılmakta olan problemlerin önüne geçmede önemli rol almıştır. Ancak, bu kısımda unutulmaması gereken, politika ve ilkelerin ölçülebilir olması, bu sayede de denetlenebilir, şeffaf ve değerlendirmeye açık olması gerektiğidir. Buna rağmen, kentsel yenilemeye yönelik politika ve ilkelerin puanlanmasına yönelik performans göstergeleri tanımlanmamış ve bu konuda bir çalışma yapılmamıştır (Kocaoğlu, 2018; Özbek, 2018; Adilhan, 2018; Turgay, 2018).

Enerji, ekonomik büyümenin ve gelişmenin en temel yapı taşlarından biridir. Elektrik enerjisi ise, sosyal ve ekonomik altyapının temel unsurlarından birini oluşturan enerji kalemlerinden en esnek yapıda olanlarından biridir. Bu sebeple gündelik yaşamın her alanında geniş kullanım alanlarına sahip durumdadır. Türkiye’de iktisadi kalkınma ile beraber çeşitli mal ve hizmetlerde tüketim artmaktadır. Bunların başında ise elektrik enerjisi kullanımı gelmektedir (Kar, 2018; Haliloğlu, 2018; El-Hawary, 2018).

İçinde bulunduğumuz yüzyılda ülkelerin sosyal ve ekonomik alt yapısının ve fiziksel gelişmelerinin en önemli belirleyicisi enerji temini ve tüketimidir. Bu durum tüketimin ana kaynağı olan ve giderek yükselen kentleşme olgusu ile ilişkilendirildiğinde, kentsel planlama ile enerji ilişkisinin iyi kurgulanması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte özellikle Avrupa Birliği ülkeleri öncülüğünde gelişen enerji verimliliği teması kent planlarında ve uygulamalarında görülmektedir. Yakın gelecekte kentlerinin ‘verimli enerji yönetimi’ stratejisine göre biçimlenmesi için, kentsel dönüşüm ve yenileme gerçeği; yerleşme fiziksel planlarının ve yasal zemininin “enerji verimliliği” sistemine göre ele

alınması gereken konular arasındadır (Uzgören, 2018; Kara, 2018).

Kentsel dönüşümlerde veya yenilemelerde, enerji verimliliği ile maliyetler indirilebilir, yerel istihdam artırılabilir, yerel ve küresel kirlenme azaltılabilir, enerji ihtiyacı düşürülebilir ve sosyal yaşam koşulları düzenlenebilir. Ağırlıklı olarak yapılanma teknolojisi kapsamında değerlendirilen bu potansiyelin çevresel etkilerinin analiz edilerek, kent planlama aşamalarına aktarılması önemlidir. Enerji verimliliği yönünden; kentin gelişimi, yenilenmesi ve sürdürülebilirliği açısından öncelikli konular arasında olması, bu konuların uzmanları tarafından ileri sürülmektedir. (Bozkurt, 2008; Özyurt, 2009; Saatçi, 2013).

Uşak Üniversitesi 2006 yılında kurulmuştur. Üniversitesinde, yıllar içinde artan bölüm sayısı ve kontenjanlardan dolayı öğrenci sayısı her yıl artmaktadır. Üniversite öğrencileri barınma açısından, geçmiş yıllarda yurt sayısının az olması dolayısıyla apart dairelere zorunlu bir yöneliş olmuştur. Bu yüzden Uşak ili merkez, apart daire ihtiyacı fazla olan iller arasındadır. Uşak İli merkezde apart daire ihtiyacını karşılayacak uygun mahalle sayısı kısıtlıdır. Konumu ve yapısı itibarıyla apart daire yapımına elverişli olan alan “Ünalın Mahallesi” dir. Konut alanı açısından ağırlıklı bitişik nizam ve sıkışmış bir imara sahip olması dolayısıyla yapılan yenilemeler yatayda değil, dikey mimari olarak ilerlemektedir. Ünalın mahallesinde yıllara göre, konutsal sıkışmışlık giderek artmaktadır. Konutsal değişimi görsel olarak anlaşılmasını sağlayacak yöntemlerden biri “Yoğunluk Analizi” yöntemidir. Bu yöntem, 2009-2016 yıllarında elektrik enerjisi tüketiminden faydalanılarak, 6306 sayılı kanunun çıkmış olduğu 2012 yılı itibarıyla kentsel yenileme sürecinde, yasanın sunmuş olduğu teşvik ve yaptırımlarla birlikte konut yapı yoğunluğunun artışının, 2012 yılı öncesi ve sonrası değişimi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2. 6306 SAYILI AFET RISKİ ALTINDAKİ ALANLARIN DÖNÜŞTÜRÜLMESİ HAKKINDA KANUN

Türkiye kentsel dönüşüm ve yenileme ile ilgili, konuyu farklı boyutlarıyla inceleyen, birçok yasal düzenleme hazırlamıştır. 2005 yılındaki 5393 sayılı Belediye Kanunu’nun 73. maddesi ile ilgili belediyeler; konut alanları, sanayi alanları, ticaret alanları, teknoloji parkları, kamu hizmeti alanları, yenileme alanları ve her türlü sosyal donatı alanları oluşturularak, eskiyen kent kısımlarını yeniden inşaatı ve restorasyonu yapmak, şehrin tarihi ve kültürel dokusunu korumak veya deprem riskine karşı önlemler almak amacıyla kentsel dönüşüm ve yenileme projeleri uygulanmıştır. Yine 2005 yılında yürürlüğe konulan 5366 sayılı “Yıpranan Tarihi ve Kültürel Taşınmaz Varlıkların Yenilenerek Korunması ve Yaşatılarak Kullanılması Hakkında Kanun”, tarihi alan olarak tescil edilen bölgeler ile bu bölgelere ait koruma alanlarının, bölgenin gelişimine

uygun olarak yeniden inşa ve restore edilerek, bu alanlarda konut, ticaret, kültür, turizm ve sosyal donatı alanları oluşturulması, tabii afet risklerine karşı önlemler alınması, tarihi ve kültürel taşınmaz varlıkların yenilenerek korunması ve yaşatılarak kullanılmasını amaçlamıştır (Genç, 2008; Çelik, 2013; Kaplan, 2017).

Bu yasal düzenlemelerin yeterli olamaması, konunun bütünüyle ele alınamaması ve kent problemlerine sürdürülebilir çözümler bulunamaması üzerine, ortaya çıkan doğal afetlerin de yıkıcı sonuçlarından ders çıkarılarak; 2012 yılının mayıs ayı içerisinde “6306 Sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun” yürürlüğe konulmuştur. Bu kanunun amacı, afet riski altındaki alanlar ile bu alanlar dışındaki riskli yapıların bulunduğu arsa ve arazilerde, fen ve sanat norm ve standartlarına uygun şekilde sağlıklı ve güvenli yaşam çevrelerini teşkil etmek üzere iyileştirme, ayıklama ve yenilemelere dair usul ve esasları belirlemeye çalışmaktır (Daşkiran, 2015; Uğur, 2016; e-mevzuat, 2019).

“6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun” ile Kentsel yenileme ülkenin gündemine oturmuştur. Riskli yapıların ve alanların dönüştürülmesi ayrıca bozulan kent dokularının yenilenmesi maksadıyla yerel ve merkezi kurumlar tarafından kentsel dönüşüm ve yenileme uygulamaları yapılmaktadır. Kentsel dönüşüm; kentsel bir alanın fiziksel, çevresel, sosyal ve ekonomik koşullarıyla sürekliliği, iyileştirmesi ve sürdürülebilir olmasına yönelik, çok fonksiyonlu, bir imar uygulaması olarak tanımlanmıştır. (Ülger, 2010; Yomralıoğlu, 2013).

3. UYGULAMA

Geçmişten süregelen bozuk kentleşme, gecekondu ve kaçak yapılaşma, hızlı nüfus artışı, afetlere dayanıksız yapılar, alt yapı ve ulaşım eksikliği gibi sorunlar şehirlerin önemli problemleri arasında görülmektedir. Uzun zamandır plansız gelişen kentlerde, kent çevrelerinin yenilenmesi, riskli yapıların tespit edilerek güvenli konutların yapılması, kentlerdeki sosyal ve tarihi kimliklerin korunarak yenilenmesine olanak tanıyan uygulamaların gerçekleştirilmesi amaçlanmalıdır. Kentsel yenileme uygulamaları, mülkiyeti içine alan ve mülkiyete anlam katan önemli uygulamalar olduğu için şeffaf, anlaşılabilir ve kentsel dönüşümün “tüm disiplinler” tarafından kabul edilebilir olmalıdır.

Riskli yapıların yenilenmesinin, kent planına kattığı değişimin tespit edilmesi öncelikli durumlar arasında olması kaçınılmazdır. Kentin konut değişiminin, ilgili aktörlerin mevcut enerji tüketiminin yıllara göre değişiminden de ortaya çıkarılabileceği düşünülmüş ve bu kapsamda bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu duruma yönelik olarak, Uşak kentinde (Şekil 1), yapılanma hareketliliğinin en fazla olduğu mahalleler arasından, Uşak Belediyesinin ilgili

birimlerinden elde edilen veriler ışığında, Uşak'ın eski yerleşim yerlerinden biri olan ve yapısal değişimin en fazla yaşandığı "Ünalın Mahallesi" çalışma alanı olarak seçilmiştir.

Uşak ili yeni Üniversite kentlerinden biri olması dolayısıyla, apart daire ihtiyacı çok fazla olan illerden birtanesidir. Apart daire ihtiyacını gidermeye çalışan bir konumda olan Ünalın mahallesinde; konut alanı açısından sıkışmış bir yapıya sahip olması ve şartları kısıtlı olması dolayısıyla yapılan yenilemeler imar açısından yatayda değil, dikey mimari olarak ilerlemektedir. 16.05.2012 tarih ve 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanunun çıkmasından 4 yıl öncesi ve 4 yıl sonrasıyla ilgili; 2009-2016 yıllarını kapsayan bir çalışmadır. İncelemeyle Ünalın mahallesindeki yenileme değişimi, her binaya ait bağımsız bölümün elektrik abonelinin elektrik enerjisi tüketiminden tespit edilmeye çalışılmıştır (Şekil 2).

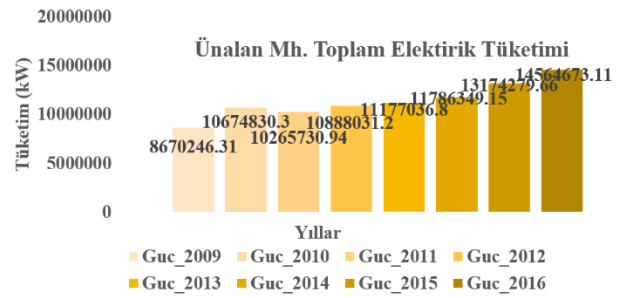


Şekil 1. Uşak ili Merkez Ünalın Mahallesi'nin Konumu ve Bölge, Sınır Durumu

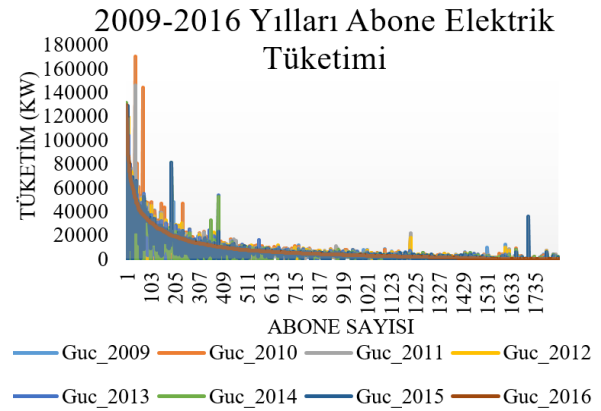


Şekil 2. Ünalın Mahallesi'nin 2009 ve 2016 Yılları Uydur Görüntüsü (Landsat 8 Uydusu)

Yıllara göre abonelik bazında elektrik enerjisi tüketimi verileri, 2009-2016 yılları arası Uşak ili Osmangazi Elektrik Dağıtım AŞ. (OEDAŞ) kurumundan elde edilmiştir. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi ışığında, 2009 ile 2016 yılları içerisinde, 1835 abonenin tüketici olarak kayıt olduğu tespiti yapılmıştır. Tüm abonelerin yıllara göre toplam tüketim değerleri Şekil 3'te ve abonelikler açısından yıllara göre tüketim verileri de Şekil 4'de verilmiştir. Bazı bağımsız bölüm abonesinin yıllara göre yıllık elektrik enerjisi tüketimi verileri kW (kilowatt) bazında Tablo 1'de verilmiştir. Tabloda; sarı renkle belirtilmiş olan yerlerde o dönemlerde; abonelik bazında tüketimin olmadığı ayrıca yeni aboneliklerin alınması dolayısıyla, yeni konutların yapıldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3. Yıllara Göre Ünalın Mahallesi'ndeki Elektrik Enerjisi Tüketimi



Şekil 4. Yıllara Göre Ünalın Mahallesi'ndeki Abonelerin Elektrik Enerjisi Tüketimi

Ünalın Mahallesi'ndeki konut üzerindeki yapısal değişimin kanıtı olarak, Uşak Belediyesinin ilgili birimlerinden binaların eski hali ve yeni hali olarak görüntüleri elde edilmiştir (Şekil 5). Şekil 5'te eski hali 1a'ya bakıldığında eski halinin 3 katlı olduğu görülmektedirken, yeni hali 1b'ye bakıldığında kat adeti bir değer artarak 4 katlı hale gelmiştir. Aynı şekilde eski hali 2a'ya bakıldığında, 1 katlı müstakim bir bina olarak görülmektedirken, yeni hali 2b'de garajı ile birlikte 3 kata çıktığı ve apart daire tarzı şekilde yapıldığı görülmektedir. Ünalın mahallesi için bu örnekleri çoğaltmak, mümkündür.



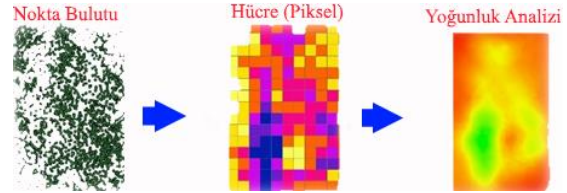
Şekil 5. Ünalın Mahalesi'nde Mevcut Binaların Eski ve Yeni hali

3.1. Materyal ve Yöntem

Çalışmada kullanılmak üzere, Ünalın Mahalesi'ndeki (16.6 ha büyüklüğündeki alan) elektrik enerjisi kullanan aboneliklerin yıllara göre elektrik tüketim verileri OEDAŞ kurumundan alınmıştır. Abone elektrik enerjisi tüketim verileri düzenlenmiş ve araştırma doğrultusunda kullanılabilir veriler haline getirilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımlarından ArcGIS 10.5 kullanılarak Ünalın mahallesindeki abonelerin bina başına düşen elektrik tüketim verileri ile ilişkilendirilmiştir. Mahalle verisindeki tüketim değerleri doğrultusunda veri tabanı oluşturulmuş ve analiz gerçekleştirilmiştir. Yıllara göre mahalledeki bölgesel değişimin anlaşılması için yoğunluk bölgelerinin tespiti gerekmektedir. Yoğunluk fonksiyonu noktalardan oluşan bir katmandan, noktaların ağırlıklarına göre matematiksel bir model kullanarak, sürekli bir yüzey üretilmesi amaçlanmaktadır. Yoğunluk Analizi ile nokta ve çizgi tipi özelliklerin kümelendiği yerler belirlenebilmektedir. Kümeleme çalışmasında üç farklı kümeleme incelenmektedir. Kümeleme çalışmaları için bu boyutların incelenmesinde genellikle yoğunluk analizi kavramı kullanılır. CBS'de konumsal yoğunluk analizi (spatial analysis) çalışmaları bilindiği gibi üç kısımda oluşmaktadır, bunlar; Noktasal, Çizgisel ve Kernel yoğunluk analizidir (Illian, 2008; Yalçın, 2013; Rawluk, 2019).

Araştırmamızda; konut değişimi noktasal bazlı (Şekil 8'de 2009 nolu haritada noktasal abone konumlarının görünümü) bakıldığı için, çalışmaya uygun yöntem "noktasal yoğunluk analizi" kullanılmıştır (Şekil 6). Nokta yoğunluk analizi, ayrıık noktalarla ifade edilen verilerin analizi ile noktalardan yoğunluk yüzeyi oluşturmaktadır. Nokta desenleri analiz edilirken, temel olarak tam konumsal rassallık (tesadüflük) hipotezine karşılık

noktaların kümeleme ve düzenlilik durumunu belirtmektedir. Noktasal yoğunluk analizi her bir pikselde ya da tanımlı bir hücre içerisine düşen noktaların sayısı ile değerlendirilerek hesaplanmaktadır. Analiz değerleri, her bir pikselde ya da tanımlı bir hücre içerisine düşen noktaların sayısı ile değerlendirilerek kW/m^2 olarak hesaplanmıştır (ArcGIS for Desktop, 2019; Netcad Portal, 2019). 8 yıllık abonelerin tüketim verileri yardımıyla yoğunluk analizi yapılmış ve elde edilen veriler ışığında 2009 ile 2016 yılları arası elektrik enerjisi tüketim değişimi belirlenmiştir (Şekil 8).



Şekil 6. Noktasal Yoğunluk Analizi Aşamaları

Tablo 1. Yıllara Göre Ünalın Mahalesi'ndeki Bazı Abonelerin Elektrik Enerjisi Tüketimi verileri (kW)

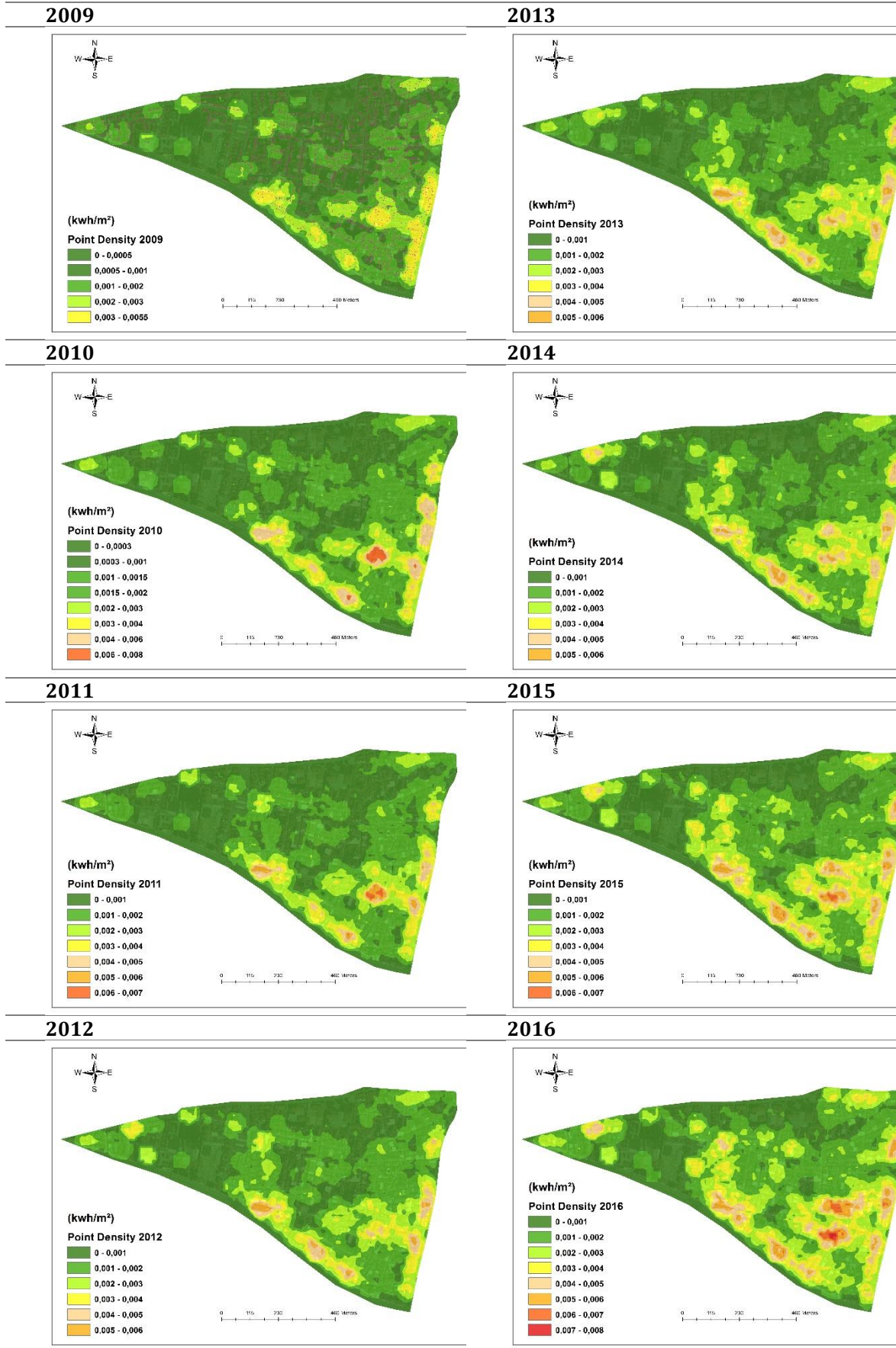
Abone No	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
77376	1113	1186	938	45	0	0	119	351
2010	0	0	1152	734	1044	2075	2330	46
68990	283	299	291	301	333	299	317	337
69365	0	0	0	0	0	0	0	330.2
75928	1185	1427	1808	1572	1779	120	19	311
33146	139	230	357	417	332	433	368.75	308.97
46307	0	0	214	539	678	834.73	483.32	301.66
75422	661	807	1045	979	1062	1078	811	288.83
2041	3084	3552	3081	1292	1173	852.29	679.24	285
78533	705	1558	364	165	35	108	320	272
*	*	*	*	*	*	*	*	*

Ünalın mahallesinin yıllara göre elektrik tüketim yoğunluk analizi karşılaştıracak olunursa, Şekil 8'e bakıldığında;

- Elektrik enerjisi tüketimi, yeşilden kırmızıya giden renk skalasına göre yıllar içinde tüketimin artışı görsel haritalardan anlaşılmaktadır.
- Haritalardaki renk skalalarına bakıldığında tüketim yoğunluğuna göre ara değerler oluşturulmuştur. Burdan yola çıkarak ilgili haritalarda, renksel yoğunluğa göre belirli alanlarda elektrik tüketiminin arttığından yola çıkarak afet riski altındaki eski konutların yenilendiği anlaşılmaktadır.
- 2010 yılı harita görüntüsüne bakıldığında güney-doğu kesiminde, diğer yıllara göre bir bölgenin kırmızı olduğu görülmektedir. İlgili bölgede elektrik tüketimini fazlaştıran durumun "İnşaat Elektriği" o dönem fazla kullanılmış olabileceği OEDAŞ uzmanları tarafından belirtilmiştir.
- Elektrik tüketim artışının güney-doğu kesim olan, Uşak-İzmir karayoluna paralel kısımda olduğu varsayımından konut artışının o bölgede yoğunlaştığı anlaşılmıştır.
- 2019-2016 yılları arası tüm haritalara bakıldığında, değişimin yaşanmadığı belirli kısımların devletin tasarrufu altında veya park

alanları olduğu ve o bölgelerde o yıllar arası

sahadan alınan bilgilerle (Şekil 2) anlaşılmıştır.



Şekil 8. Ünalın Mahallesi'nin Yıllara göre Elektrik Tüketim Yoğunluk Analizi Karşılaştırma Haritaları değişimin az olduğu uydu görüntülerinden ve

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

2012 yılında yürürlüğe giren, “6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi” kanunuyla, kentsel yenileme odak noktası haline gelmiştir. Bu kanun çerçevesinde, Uşak merkezde uygulamaya konulan kentsel yenileme kapsamında Riskli yapılar yıkılarak yerine bölge ihtiyaçlarına uygun konutlar yapılmaktadır ve yapılmaya devam edecektir. Eski yapılar genellikle tek katlı ya da 2 katlı (1-2 dairesel) iken, 6306 sayılı kanunun çıkışıyla teşviklerin ve yaptırımların yardımıyla kentsel yenilemede değişim hızlanmıştır. 2012 yılında 6306 sayılı kanunun çıkışından öncesi ve sonrası; 2010 ile 2016 yılları arasında ilgili mahalleye bakıldığında, imar durumuna göre yapılan yeni yapılar 3-5 katlı daire ya da apart daire şeklinde ağırlıklı bitişik nizam olması sebebiyle, konumsal olarak binalardaki bağımsız bölüm sayısı ve kişi sayısındaki artışın da etkisiyle elektrik enerjisi tüketimindeki değişim ilgili yıllarda belirli alanlarda dikkat çekici şekilde artmıştır. Bu şekilde; Uşak ilinde 2009-2016 yılları arası kentsel yapı olarak ekonomik ömrünü tamamlamış karmaşık bir imar düzenine sahip ve konut yapılanmasının hızlı olduğu Ünalın Mahallesiindeki konut oluşumunun elektrik enerjisi tüketim yoğunluğuna göre, yıllar içindeki değişimi CBS ile konumsal veri analizi yapılarak değişimin tespiti görsel olarak ortaya konulmuştur.

Kentsel dönüşüm ve yenileme, daha çok konumsal bir düzenleme hareketinin adıdır. Kentlerde yıpranmış alanlar, birçok sebebe bağlı olarak, ortaya çıkabilmektedir. Gelişmiş ülkelerde kentsel yenileme eylemi, üç amacın gerçekleşmesine yönelik kullanılır. Bunlar, yoksulluk alanlarını düzenleme, kent merkezleri ile kentin uzağındaki yerleşim yerleri arasındaki, ekonomik canlılık farkını giderebilmek için, bu kısımların yenilenmesini sağlamak ve kent merkezlerindeki yerel yönetimlerin ekonomik olanaklarının arttırılmasını sağlamaktır. Bu kentsel yenilemeyle birlikte elektrik enerjisi tüketimi, bugünkü sosyal ve ekonomik yaşamın başta gelen temel gereksinimlerinden biri haline gelmiştir. Elektrik enerjisi, gündelik hayatın her alanında geniş kullanım alanlarına sahiptir. Gelişen teknoloji, yükselen yaşam düzeyi ve artan nüfusla birlikte bu enerjiye olan gereksinim her geçen gün büyük ölçüde artmaktadır.

Günümüzdeki kentsel düzenleme çalışmalarının sürdürülebilirlik ilkeleri açısından gerçekleştirilmesi kaçınılmaz bir gerekliliktir. Ekonomik, işlevsel ve görsel olarak yıpranan ve afet riski taşıyan kent bölgelerinin yenilenmesi amacıyla gerçekleştirilen kentsel yenileme veya dönüşüm uygulamaları, sürdürülebilir kentsel gelişim normlarına göre hayata geçirilmesi anlamında bir imkan olarak görülmelidir.

Kentsel dönüşümlerde veya yenilemelerde “enerji verimliliği önlemleri” ile maliyetler azaltılabilir, yerel istihdam artırılabilir, yerel ve küresel bazda kirlilik azaltılabilir, enerji bağımlılığı düşürülebilir ve sosyal yaşam olanakları iyileştirilebilir. Ağırlıklı olarak inşaat ve yapı teknolojisi kapsamında değerlendirilen bu potansiyelin çevresel etkilerinin tahlil edilerek, kentsel planlama süreçlerine aktarılması önem arz etmektedir. Enerji verimliliği açısından, kentin gelişimi, yenilenmesi ve sürdürülebilirliği açısından öncelikli konular arasında olmalıdır.

Özetlenirse; Uşak ili, merkez Ünalın Mahallesiindeki, yapısal değişimin ana nedenleri ve sonuçları sıralanacak olursa;

- Uşak ilindeki mevcut Uşak Üniversitesinin 2006 yılında kurulan yeni bir üniversite olması ve gelişime açık olması dolayısıyla öğrenci sayısındaki yıllara göre artışın barınma açısından; kent merkezindeki yurt sayısının azlığı nedeniyle, konut ihtiyacının artmasıdır. Bu nedenle ilgili mahallede öğrenciye yönelik apart daire tarzı bina sayısı artışı elektrik enerjisi tüketiminin artışı açısından en önde gelen nedenlerden biri olduğu Şekil 8’e bakıldığında anlaşılmaktadır.
- Ünalın mahallenin konum olarak Uşak merkeze yakın olması ve burada yaşayan vatandaşların veya öğrencilerin merkezdeki ihtiyaçlarını yürüme mesafesinde giderme ihtiyacından dolayı bu alana yerleşme oranının yıllara göre artış göstermesidir.
- Ünalın mahallesinin geneli itibarıyla imar planı açısından ağırlıklı bitişik nizam olmasından dolayı araştırmalarda arsa taşınmaz değerlerinin, m² bazında arsaların küçük olması dolayısıyla maliyetinin daha uygun olmasıdır.
- Yatay mimari değil, dikey mimari akımının artması dolayısıyla, bağımsız bölüm sayısının çoğalmasındır.
- Şehir içi ulaşım araçları açısından da güzergah olarak, Ünalın Mahallesi konumuna yakın yerlerden geçmesi de bu alana yerleşme oranının yıllara göre artış göstermesinde etkin nedenlerden bir tanesidir.
- Çalışma alanına bakıldığında; kentin gelişimi, yenilenmesi ve sürdürülebilirliği açısından belirli önlemlerin alınmadığı anlaşılmaktadır.
- 2009-2016 Yılları arası elektrik enerjisi tüketimi, konut sayısının artması veya kat yükselmesi sebebiyle enerji verimliliği açısından önlem alınmadığı için enerji tüketiminin arttığı söylenebilir.

Günümüzde yapılacak projelerde Çevre Şehircilik Bakanlığının da önemle üzerinde durduğu; Mekansal (konumsal) planlama ve uygulama çalışmalarının şehirlerin kimliğini canlandıran, yatay mimariyi esas alarak mahalle ve sokak kavramını öne çıkaran bir şehircilik anlayışıyla yürütülmesi gereklidir.

BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Çalışmaya; verilerini vererek destek sağlayan OEDAŞ kurumuna teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Adilhan, Ö. ve Ünverdi, L. (2018). Kentsel Yenileme Sürecinde Kentsel Tasarımın Önemi: Aydın-Söke Örneği. Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 5(1), 226-261.
- ArcGIS for Desktop. (5.07.2019). Erişim adresi <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-point-density-works.htm>
- Aydinli, H. I. ve Turan, H. (2012). Kuramsal ve yasal çerçevede Türkiye’de kentsel dönüşüm. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (28), 61-70.
- Bentley, I. (2004). Urban transformations: Power, people and urban design. Routledge.
- Bilecen, T. (2015). Yeni Afet Yasasında Hukuksal ve Demokratik Esneklik. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 15(3), 145-158.
- Bozkurt, A. U. (2008). Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji verimliliği açısından değerlendirilmesi. (Doctoral dissertation), DEÜ Sosyal Bilimleri Enstitüsü.
- Çelik, A. (2013). Yerel Özerklik Açısından 5393 Sayılı Belediye Kanunu’nun Genel Bir Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 18(1), 17-28.
- Daşkıran, F. ve Ak, D. (2015). 6306 Sayılı Kanun Kapsamında Kentsel Dönüşüm. Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 13(3), 264-268.
- El-Hawary, M. E. (2018). Electrical energy systems. Crc Press.
- e-mevzuat (6306 Sayılı Kanunun Uygulama Yönetmeliği). (03.04.2019). Erişim adresi <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.aspx?MezuatKod=7.5.16849&MezuatIliski=0&sourceXmlSearch=6306%20SAYILI>
- Farías, I. ve Bender, T. (Eds.). (2012). Urban assemblages: How actor-network theory changes urban studies. Routledge.
- Genç, F. N. (2008). Türkiye’de kentsel dönüşüm: Mevzuat ve uygulamaların genel görünümü. Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 15(1), 115-130.
- Haliloğlu, E. Y. ve Tutu B., E. (2018). Türkiye İçin Kısa Vadeli Elektrik Enerjisi Talep Tahmini. Journal of Yasar University, 13, 51.
- Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H., ve Stoyan, D. (2008). Statistical analysis and modelling of spatial point patterns (Vol. 70). John Wiley & Sons
- Kar, M., Ağır, H., Türkmen, S. (2018). Gelişmekte Olan Ülkelerde Elektrik Tüketimi ile Ekonomik Büyüme İlişkisinin Ekonometrik Tahmini. ICPESS 2018 PROCEEDINGS Volume 2: Economic Studies, 305.
- Kara, M. A., ve Ciğerlioğlu, O. (2018). Türkiye’de İl Düzeyinde Elektrik Tüketimi ile GSYİH Arasındaki İlişkinin Mekânsal Analizi. ICPESS 2018 PROCEEDINGS, Volume 2: Economic Studies, 269.
- Kaplan, O. (2017). 5366 Sayılı Kanun Kapsamında Yenileme Alanlarında Gerçekleştirilen Kentsel Dönüşüm Süreci Üzerine Bir Deneme. Hacettepe Hukuk Fakültesi Dergisi, 7(2), 275-304.
- Kocaoğlu, M. ve Sert, S. (2018). Kentsel Sürdürülebilirlik Kavramı Ve Kentsel Sürdürülebilirliğin Sağlanmasında Kent Konseylerinin Rolü Üzerine Bir Değerlendirme. Strategic Public Management Journal, 4(8), 52-61.
- McPhearson, T., Iwaniec, D. M., ve Bai, X. (2016). Positive visions for guiding urban transformations toward sustainable futures. Current opinion in environmental sustainability, 22, 33-40.
- Netcad Portal (01.07.2019). Erişim adresi <http://portal.netcad.com.tr/pages/viewpage.action?pageId=112787735#5d5a3ff753ef4ca7a98ef2f664f29aa1>
- Özbek, N. ve Uluoğlu, B. (2018). Geleneksel Konut Dokusunun Değişim Süreci ve Sürdürülebilirliği. Yaşam Dünyası Bağlamında Kastamonu-Kırkeçme Caddesi’nin Analizi. tasarım+ kuram dergisi, 14(25), 78-100.
- Özgür, T. ve Özgür, Ö. (2018). 6306 Sayılı Kanun Çerçevesinde Kentsel Dönüşüm Uygulamalarının Mekansal Deneyimi: Ordu İli Örneği. ODÜ Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi (ODÜSOBİAD), 8(1), 211-227.
- Özyurt, G. ve Karabalık, K. (2009). Enerji verimliliği, binaların enerji performansı ve Türkiye’deki durum. TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, Türkiye Mühendislik Haberleri, 457(54), 32-34.

- Parlak, B. (2018). Sürdürülebilir kalkınma ve kentli hakları perspektifinden kent kültürü ve kent kimliğinin dönüşümü: Bir proje örneği. TESAM Akademi, 11-48.
- Rawluk, M. B. (2019). Advancing Boreal Forest Archaeology: Intrasite Spatial Analysis of the Eaglenest Portage Site (Doctoral dissertation, University of Saskatchewan).
- Saatçi, M. ve Dumrul, Y. (2013). Elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisinin dinamik bir analizi: Türkiye örneği. Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 32(2), 1-24.
- Yomralıoğlu, T. (2013). Kentsel Dönüşüm için Coğrafi/Kent Bilgi Sistemleri. 1. Uluslararası Kentsel Dönüşüm Sempozyumu, 7-8 Ekim, Ankara.
- Trencher, G. P., Yarime, M. ve Kharrazi, A. (2013). Co-creating sustainability: cross-sector university collaborations for driving sustainable urban transformations. Journal of Cleaner Production, 50, 40-55.
- Turgay, T. (2018). Yeşil Tasarım ve Sürdürülebilir Mimari İle Kentsel Yenileme. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 7(2), 131-142.
- Uğur, L. O., Aliefendioğlu, Y. ve Saka, M. (2016). Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun'a göre riskli yapı tespitinde karşılaşılan uygulama problemlerinin vaka tabanlı incelenmesi: Tekirdağ ili örneği. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(1).
- Uzgören, E. ve Özer, P. (2018). Avrupa Birliği Ülkelerinde Sanayi ve Konut Sektörü Elektrik Enerjisi Talebinin Fiyat Esnekliği Tahmini. Journal of Kastamonu University Faculty of Economics and Administrative Sciences, 20/4, 39, 58, 2.
- Ülger, N. E. (2010). Türkiye'de arsa düzenlemeleri ve kentsel dönüşüm. Nobel Yayın Dağıtım.
- Yalçın, G. ve Düzgün, H. Ş. (2013). Mekansal İstatistikte Nokta Deseni Analizi: Trafik Kazaları Analizi Örneği. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 14-17 Mayıs 2013, Ankara.
- Yenice, M. S. (2016). Türkiye'nin kentsel dönüşüm deneyiminin tarihsel analizi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16(1), 76-88.

GEOmatik

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

*** Türkiye ve Çevresinde SRTM Sayısal Yükseklik Modelinin Doğruluğu*

İbrahim Öztüđ BİLDİRİCİ, Ramazan Alpay ABBAK 1

*** CenterPoint RTX Teknolojisinin Tekrarlanabilirliğinin Araştırılması*

Veli İLÇİ 10

*** İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi*

Ali ULVİ, Murat YAKAR, Abdurahman Yasin YİĞİT, Yunus KAYA 19

*** PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 Lazer Sistemleri ve Kullanım Alanları*

Müge AĞCA 27

*** Burdur'da Güneş Enerjisi Santrali (GES) Yatırımına Uygun Alanların CBS Tabanlı AHP Yöntemiyle Tespiti*

Cihan YALÇIN, Mustafa YÜCE 36

*** Tarihi Yiđma Kiliselerde Hasarların Fotogrametrik Ölçme Tekniğiyle İncelenmesi: Artvin Tbeti Kilisesi Örneği*

Mustafa ZEYBEK, Ali KAYA* 47

*** Bir İmar Adasındaki Binaların Oluşturduğu Gölğelerin Konum Bakımından İncelenmesi: Trakya Bölgesi Örneği*

Hüseyin İNCE, Nuri ERDEM 58

*** 6306 sayılı Kanun Kapsamında Yapısal Değişiminin Yıllara Göre Elektrik Tüketim Boyutuyla İncelenmesi: Uşak İli Örneği*

Fatih TAKTAK, Mehmet İLİ 72