

GEOmatik



ISSN:2564-6761

3B Kent Modelleri İçin Yeni Bir Silüet Analizi Modülünün Geliştirilmesi

Sebahat TEMUÇİN KILIÇER^{1*}, Çetin CÖMERT², Halil AKINCI³

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Artvin
(stemucin@artvin.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0001 – 5839 – 6616

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Trabzon
(ccomert@ktu.edu.tr) ORCID ID 0000 – 00002 – 2019 – 6990

³Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Artvin
(hakinci@artvin.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 9957 – 1692

Öz

Üç boyutlu kent modelleri; arazi yüzeyleri, yerleşim bölgeleri, binalar, bitki örtüsü, altyapı ve peyzaj öğeleri gibi kentsel alanlara ait nesnelere içeren dijital temsilleridir. Üç boyutlu kent modelleri, bilgisayar oyunları ve eğitim amaçlı kullanıldığı gibi kentsel planlama, afet yönetimi, tesis yönetimi, lojistik, güvenlik, telekomünikasyon, konumsal servisler, gayrimenkul değerlendirmeleri gibi birçok farklı uygulamada sunum, üretim, analiz ve yönetim görevlerinde de kullanılmaktadır. 3B konumsal analizlerden biri olan silüet analizi, kentsel alan düzenlemesi ve peyzaj planlaması için önemli analizlerdendir. Silüet analizleri, özellikle kentsel alanlarda kent simgesi haline gelmiş önemli binaların silüetinin korunması için kullanılmaktadır. Yaygın kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımlarından biri olan ArcGIS, sahip olduğu 3D Analyst modülünün sunduğu fonksiyonlar sayesinde çeşitli görünürlük analizlerinin gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak, 3D Analyst modülünde binaların silüet görünümünü oluşturacak bir fonksiyon bulunmamaktadır. Bu çalışmada, ArcGIS yazılımı için Python programlama dili kullanılarak bir silüet analiz modülü geliştirilmiş ve bu modülün kullanılacağı bir araç çubuğu tasarlanmıştır. Silüet analiz modülü, gözlem yapılan noktadan belirli bir görüş alanında kalan binaların silüet görüntüsünü üretebilmekte ve aynı alanda yapılması düşünülen yeni binaların silüete etkilerini tespit edebilmektedir. Ayrıca silüet analiz modülünün kullanılması ile yeni yapılan binanın kent silüetini bozup bozmadığı belirlenebilmekte ve yeni binaların maksimum yüksekliği ve kat adedi hesaplanabilmektedir. Böylelikle kentsel planlama sürecinde ve imar planlarının uygulanmasında karşılaşılan kentsel silüetin bozulması problemlerinin çözümüne önemli katkı sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: CBS, 3B kent modelleri, kentsel planlama, silüet analizi, ArcGIS, Python

Development of a New Silhouette Analysis Module For 3D City Models

Abstract

3D city models are digital representations of objects such as terrain surfaces, sites, buildings, vegetation, infrastructure and landscape elements belonging to urban areas. 3D city models are used in presentation, exploration, analysis, and management tasks for a large number of different applications including urban planning, disaster management, facility management, logistics, security, telecommunication, location-based services, real estate portals as well as being used for computer games and educational purposes. Silhouette analysis, one of 3D spatial analyses, is important for urban area designing and landscape planning. Silhouette analysis is used to protect the silhouette of important buildings that have become landmark especially in urban

* Sorumlu Yazar

areas. As a widely used software in the Geographical Information Systems (GIS) market, ArcGIS has a module called “3D Analyst Tools” that provides opportunities for enabling various visibility analyses with the help of functions within that module. However, the 3D Analyst Tools does not have a function to create a silhouette view of buildings. In this study, a silhouette analysis module was developed using the Python programming language for the ArcGIS software and a toolbar was designed to use this module. Silhouette analysis module can produce a silhouette view of buildings in a certain field of view from the observation point and can track changes on silhouette when new buildings planned to be built in the same area. In addition, the use of the new silhouette analysis module can determine whether a newly built building has distorted the urban silhouette and calculates the maximum height and floor number of new buildings. Thus, important contribution was provided in solving the distortion problems of urban silhouette encountered in the urban planning process and in the implementation of the development plans.

Keywords: GIS, 3D city models, urban planning, silhouette analysis, ArcGIS, Python

1. GİRİŞ

Genel olarak, “konumsal veri tabanı yönetimi için tasarlanmış yazılım ve donanım elemanlarının bütünü (Masry ve Lee, 1988)” şeklinde tanımlanan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), dünya üzerindeki karmaşık sosyal, ekonomik ve çevresel sorunların çözümüne yönelik konuma dayalı karar verme süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. CBS, konumsal verilerin gösterimi ve sunumunun ötesinde, sahip olduğu iki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) veri modelleme, sorgulama ve analiz fonksiyonları sayesinde turizm, çevre, enerji, tarım, orman, ulaşım, afet ve acil durum yönetimi, araç takibi, kentsel planlama, şehircilik ve arazi kullanım uygulamaları gibi farklı birçok alanda karar vericilerin doğru kararlar almasına katkı sağlamaktadır.

Konumsal verilerin 2B düzlemde temsil edilmesiyle üretilen 2B haritalar, CBS'nin kullanıldığı birçok çalışmada altlık olarak kullanılmaktadır. Ancak, gürültü tahmin modelleri (Kluijver ve Stoter, 2003), hava kirliliği modelleri, taşkın modelleri, jeolojik modeller (Van Wees vd., 2002) ve emlak piyasası (Stoter ve Zlatanova, 2003; Stoter ve Ploeger, 2003) ile ilgili uygulamalarda 2B konumsal verilerin ve bu veriler üzerinde gerçekleştirilen analizlerin yetersiz kaldığı görülmektedir (Stoter ve Zlatanova, 2003). Donanım ve bilgisayar grafiklerindeki gelişmeye paralel olarak uygulamalarda 3B veriye olan talebin artması, konumsal veri modellemesinde üçüncü boyuta odaklanılmasını sağlamıştır (Zlatanova vd., 1998). Böylelikle yeryüzünde bulunan enerji nakil hatları, aydınlatma direkleri, yollar, ağaçlar ve binalar gibi objeler bilgisayar

ortamında 3B temsil edilerek “3B Kent Modelleri” üretilmiştir. 3B kent modellerinin kullanıldığı uygulama alanlarının genişlemesi ile birlikte 3B konumsal modelleme ve analizler, günümüzde CBS alanında önemli araştırma konuları haline gelmiştir.

Literatürde 3B kent modelleri kullanılarak kentsel alanların planlanması ve yönetimine katkıda bulunan birçok çalışma bulunmaktadır. Sadek vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada, şehirlerin 3B görselleştirilmesi için şehir planlarının kullanabileceği bir 3B kent modeli oluşturulmuştur. Czerwinski vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada, Almanya'nın nüfusa göre birinci şehri olan North Rhine-Westphalia'da 3B modellenen binaların gürültü emisyon hesapları ile gürültü analizleri yapılmıştır. Ban vd. (2011) tarafından yapılan ViSuCity projesi ile sürdürülebilir kent ve çevre planlamasını desteklemek için web tabanlı interaktif bir görüntüleyici tasarlanmıştır. Lamberti vd. (2011), 3B kent modelini kullanarak cadde ve sokakların aydınlatılması üzerine çalışmışlardır (Mao, 2011). Schulte ve Coors (2008), 3B tasarlanmış binaların taşkın simülasyonunu yaparak afet yönetimi alanında uygulama geliştirmişlerdir. Lee ve Zlatanova (2008) ise yangın gibi insanların acil tahliye edilmesi gereken durumlarda uygun tahliye yollarını belirlemek için binaların 3B modellenmesi ve 3B topolojik analizler üzerinde çalışmışlardır.

Gürültü analizi (noise analysis), hava kirliliği analizi (air pollution analysis), ağ analizi (network analysis), gölge analizi (shadow analysis), görünürlük analizi (visibility analysis) ve silüet analizi (silhouette analysis) gibi konumsal analizler, 3B CBS uygulamalarında ihtiyaç duyulan analizlere örnek olarak gösterilebilirler. Görünürlük

analizleri, 1970'li yıllardan beri CBS uygulamalarında kullanılan analizlerdir (Yang vd., 2007). Görünürlük analizleri; özellikle kentsel planlama, çevre düzenlenmesi, peyzaj planlamaları ile baz istasyonları, rüzgâr türbinleri ve güneş enerjisi sistemlerinin kurulacağı alanların belirlenmesi gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Görünürlük analizleri içinde yer alan silüet analizi, kentsel planlamada kent mimarisini korumak ve imar planlarının üretilmesinde doğru kararlar verebilmek açısından büyük öneme sahiptir. Güney vd. (2012) çalışmalarında iki ayrı silüet tanımına yer vermişlerdir. Birincisinde silüet, "yerin ve gökyüzün buluştuğu çizgi, ufuk; bunun resim veya başka bir sanattaki temsili" olarak tanımlanmaktadır. İkincisinde ise silüet, "bir veya bir dizi binanın veya gökyüzünde görülen diğer nesnelere taslağı" olarak tanımlanmaktadır. Kentsel silüet veya şehir silüeti ise kentsel alanlardaki binaların bir noktadan olan görüntüsü olarak tanımlanabilir. Literatürde, kentsel alanlardaki binaların silüetlerini üreten çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Nasar ve Terzano (2010) tarafından, dijital fotoğraflar kullanarak doğal ve kentsel alanların silüetlerini kıyaslayan bir çalışma yapılmıştır. Yusoff vd. (2014) tarafından, 3B kent modeli kullanarak Kuala Lumpur şehrinin silüetinin korunmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Czyńska (2015) tarafından yapılan çalışmada, kentsel alanlarda yüksek yapı binaların tarihi yapılar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tafahomi vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada ise İran'ın ikinci büyük şehri olan Mashhad şehrindeki binalara ait silüet çalışmaları yapılmıştır. Tavernor ve Grassner (2010) ise Londra'daki yüksek yapı kulelerin, Waterloo köprüsü ve St. Paul katedrali üzerindeki görsel etkisini incelemişlerdir. Akdag vd. (2010), İstanbul'da Zincirlikuyu-Malak yolunda yer alan yüksek katlı binaların İstanbul Boğazındaki silüetin değişimine olan etkilerini incelemişlerdir. Güney vd. (2012), kentsel alanların planlamasında kent silüeti öneminin vurgulandığı çalışmalarında, İstanbul'un Levent semti civarında pilot bir bölge belirleyerek çalışma alanının 3B kent modelini oluşturmuşlardır. Boğaziçi Köprüsü, Fatih Sultan Mehmet Köprüsü, Harem ve Çamlıca Tepesi gibi şehrin önemli noktalarından çalışma alanının görünürlüğü incelenmiş ve

çeşitli 3B analizler gerçekleştirmişlerdir. Şahin vd. (2012), mevcut durumun belgelenmesini, kent plancılarının tasarım kararlarını kolaylaştırmayı, binaların mekânla ve birbirleriyle ilişkilerini daha kolay kurgulamayı amaçladıkları çalışmalarında fotogrametrik yöntemlerle silüet görüntüsü üretmişlerdir. Çalışmada, Rolleiflex6008 metrik resim çekim kamerası kullanılarak çekilen resimlerden Pictran D yazılımıyla stereo modeller oluşturulmuştur. Ardından, stereo model üzerinden silüet çizimleri yapılmış ve AutoCAD ortamına aktarılmıştır. Yastıklı vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada ise yersel sayısal fotogrametrinin sunduğu imkânlar kullanılmıştır. Çalışmada, İstanbul Boğazı'nda yapı yasağı bulunan Sarıyer Yenimahalle'sinde silüetin korunması ve değişimlerin izlenmesi amacıyla bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada, kalibre edilmiş Nikon D3X sayısal SLR kamera kullanılarak konvergent alım yöntemi ile çalışma alanının denizden sayısal fotoğrafları kaydedilmiştir. Daha sonra, PhotoModeler yazılımında bu sayısal fotoğraflar kullanılarak yönelme işlemleri, 3B silüet çizimi ve nokta bulutu üretimi gibi işlemler gerçekleştirilmiştir.

Şehirlerin doğal ve tarihi güzellikleri, kültürü, hatta geçmiş medeniyetlere ait kültürel etkileri, bir şehrin cadde, sokak ve binalarına tarihi doku olarak yansımaktadır. Şehirlerin köprüleri, kaleleri, camileri, kuleleri, duvar ve surları gibi tarihi yapıları zamanla o şehirle özdeşleşen objeler haline gelmektedir. Benzer şekilde, söz konusu yapıların silüetleri de buldukları şehirleri temsil eden simgelere dönüşmektedir. Kent silüetleri sadece simge olarak kullanılmamaktadır. Kent silüetleri, aynı zamanda, çevre düzeni planları, mekansal strateji planları, kentsel dönüşüm planları ve imar planları gibi kentsel alanlara yönelik planlamalarda ihtiyaç duyulan önemli bir veridir.

Kültürel değerler ile doğal güzelliklerin bulunduğu ve doğal yapının korunması gerektiği alanlarda mevcut silüetin korunması, şehir simgesi haline gelmiş yapıların silüetinin korunması veya turistik öneme sahip stratejik noktaların turistik önemini kaybetmemesi için silüetinin korunması gibi durumlar, silüet analizlerine olan gereksinimi ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, hızlı nüfus

artışı ve kırsal kesimden kentlere olan yoğun göç nedeniyle konut talebinin artması, buna bağlı olarak hızlı yapılaşma faaliyetlerinde rant kaygısı ve yerel yönetimlerin yetersizlikleri, kentlerin doğal ve tarihi çevresine zarar vermekte ve kentlerin silüetleri bozulmaktadır.

Kuala Lumpur, Singapur, Chicago, Miami, Londra ve İstanbul gibi mega kentlerde hızla yükselen gökdelenlerin kentin silüeti üzerindeki olumsuz etkileri birçok kez gündeme getirilmiştir. İstanbul'da Dolmabahçe Sarayı ve arkasında hızla yükselen binalara ait silüet ile Haliç Metro Geçiş Köprüsü'nün Unkapı Köprüsü ve Tarihi Yarımada'daki silüete etkileri çeşitli çalışmalarda incelenmiştir. Zincirlikuyu ve Maslak gibi hızla gelişmekte olan ve bir yatırım fırsatı haline gelen bölgelerdeki binaların, İstanbul'un kentsel silüetine etkileri geçtiğimiz yıllarda sıkça gündeme getirilmiş hatta bazı binalar için Tarihi Yarımada'daki silüet dokusunu bozduğu için mahkeme tarafından yıkım kararı verilmiştir.

İmar planlarına uygun olarak inşa edilen ruhsatlı binalar için silüeti bozduğu gerekçesiyle yıkım kararı verilmesi bir yandan önemli ekonomik kayıplara neden olmakta diğer yandan da "bu binalar inşa edilmeden önce daha proje aşamasında iken silüeti bozup bozmadığı belirlenemez miydi?" sorusunu akla getirmektedir.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan ticari veya açık kaynak kodlu CBS yazılımları, sundukları 3B analiz fonksiyonları ile çeşitli analizlerin yapılmasına olanak sağlamalarına rağmen silüet analizi konusunda yetersiz kalmaktadırlar. Silüet analizinin yetersizliği, "hangi binaların silüeti bozduğu, hangilerinin bozmadığı, silüetin bozulmaması için nereye ne kadar yükseklikte bina yapılması gerektiği, farklı noktalardan bakıldığında silüetin nasıl değiştiği" gibi soruları yanıtsız bırakmaktadır. Kentsel alanların planlanması ve imar planı uygulamaları sürecinde, kentsel silüet analizlerine olanak sağlayan yazılımların bulunması, karar vericilerin benzer sorulara cevap bularak doğru karar vermelerine katkı sağlayacaktır.

ESRI (Environmental Systems Research Institute Inc) firması tarafından geliştirilen ArcGIS yazılımı, CBS'nin veri girişi, işleme, sorgulama, analiz ve sunum gibi temel

modülleri ile ilgili birçok fonksiyon sağlamakta ve tüm Dünya'da yaygın olarak kullanılmaktadır. ArcGIS yazılımı, verileri 3B olarak temsil edebilmekte ve sunduğu "3D Analyst" modülü ile çeşitli konumsal analizlere olanak sağlamaktadır. 3D Analyst modülünün görünürlük analizleri alt modülü; görüş hatları çizme analizi (construct sight lines), görüş analizi (intervisibility), görüş hattı analizi (line of sight), gözlemci noktaları analizi (observer points), gölge analizi (sun shadow volume), görüş alanı analizi, görünürlük analizi ile skyline, skyline bariyer ve skyline grafik analizleri gibi görünürlük analizlerinde kullanılan çeşitli fonksiyonlara sahiptir. Bu analiz fonksiyonlarının birçoğu, genel olarak, arazi yüzeyi, 3B bina modelleri veya diğer 3B objeleri dikkate alarak bir noktadan görülebilen veya görülemeyen alanların belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Söz konusu analiz fonksiyonları kullanılarak, 3B binaların silüet görüntüsü üretilememekte veya yeni yapılacak binaların tarihi veya kültürel öneme sahip binaların silüetini bozmaması için sahip olması gereken yükseklik veya kat adedi gibi özellikleri hesaplanamamaktadır. Bu çalışmada, Python programlama dili kullanılarak ArcGIS CBS yazılımında silüet analizlerinin gerçekleştirilmesine olanak sağlayan yeni bir modülün tasarlanması ve gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, 3B kent modelini kullanarak silüet analizi gerçekleştirme yeteneğine sahip olan bir modülün geliştirilmesi için sırasıyla aşağıdaki işlem adımları izlenmiştir.

- Örnek bir çalışma alanına ait bina katmanının ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)'nin üretilmesi,
- CityEngine programında 3B bina modellerinin üretilmesi,
- 3B bina modellerinin ArcGIS ortamına aktarılması,
- Python programlama dili ve PyScripter programı ile silüet analizi modülünün geliştirilmesi,
- ArcGIS Python Add-In Wizard programı ile silüet analiz modülü için araç çubuğunun

(toolbar) tasarlanması ve ArcGIS programına entegre edilmesi,

- Geliştirilen silüet analiz modülü kullanılarak örnek bir çalışma alanındaki binaların silüet görüntüsünün üretilmesi.

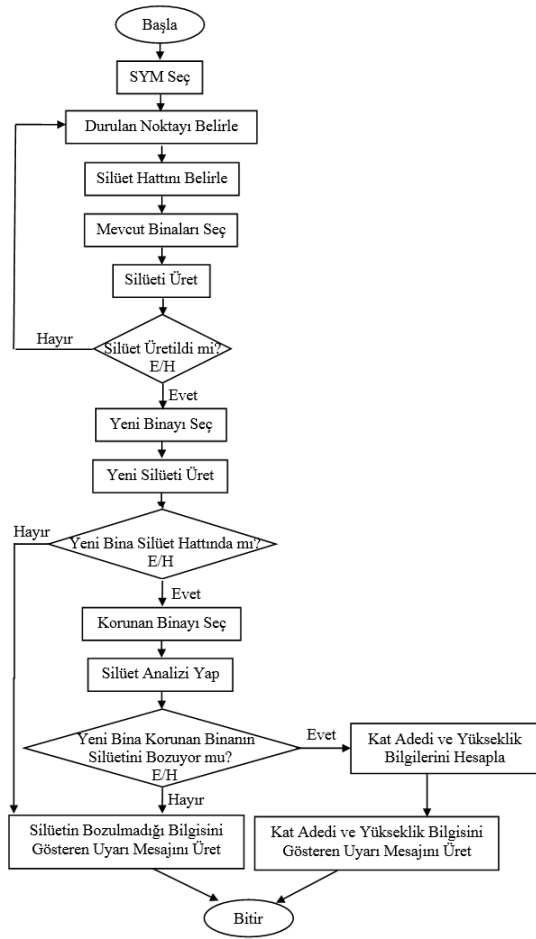
Yukarıda sıralanan işlemler çalışmada dört ana başlık altında ele alınmakta ve açıklanmaktadır: CityEngine programı kullanılarak örnek bir çalışma alanındaki binaların 3B bina modelinin üretilmesi, üretilen 3B modeldeki binalar için Python programlama dili kullanılarak silüet analizini gerçekleştirecek olan silüet analiz modülünün geliştirilmesi, geliştirilen silüet analiz modülünün ArcGIS yazılımına entegre edilmesi için bir araç çubuğunun tasarlanması, ve son olarak, silüet analiz modülünün çalışma prensibi ve analiz çıktılarının örnek bir uygulama ile gösterilmesi.

2.1. 3B Bina Modellerinin Üretimi

ArcGIS programında silüet analizini gerçekleştirmek için ilk olarak örnek bir çalışma alanının SYM'si üretilmiştir. Çalışmada kullanılan SYM, 1/1000 ölçekli halihazır haritalardaki eşyükseklik eğrileri kullanılarak üretilmiştir. Belediyelerden temin edilebilecek olan sayısal 1/1.000 ölçekli halihazır haritalardaki bina katmanları ve bina yükseklikleri kullanılarak 3B bina modelinin üretilmesi mümkündür. Ancak bu çalışmada, silüet analizindeki farklı durumları (örneğin binaların farklı şekil ve yüksekliklerde olması, birbirlerine göre farklı konumlarda olması, durulan noktaya ve görüş hattına farklı uzaklıklarda olması ve estetik bir silüet görüntüsü elde edilebilecek şekilde konumlandırılmış olmaları gibi farklı bütün faktörleri) göz önünde bulunduracak şekilde sanal bir bina katmanı oluşturulmuştur. ESRI Shape formatında üretilen bina katmanına kat adeti özniteliği eklenmiş ve tüm binaların sanal kat adetleri öznitelik tablosuna girilmiştir. Daha sonra CityEngine v.2015.2 programında kat adetleri kullanılarak çalışma alanına ait bina katmanından 3B bina modelleri üretilmiştir. CityEngine programında 3B model üretimi tamamlandıktan sonra konumsal analizlerin gerçekleştirilebilmesi için verinin dışa aktarılması gerekmektedir. Bu nedenle, üretilen 3B bina modeli ArcGIS ortamında kullanılmak üzere multipatch veri yapısında dışa aktarılmıştır.

2.2. Silüet Analizi Modülünün Geliştirilmesi

ArcGIS programı, nesne yönelimli (object-oriented) bir programlama dili olan Python programlama dili kullanılarak genişletilme imkânı sunmaktadır. ArcGIS programı kullanıcılarına masaüstü CBS yazılımları ile birlikte IDLE editörünü de sunmaktadır. Fakat bu çalışmada, daha pratik olduğu düşünülen PyScripter editörü kullanılarak silüet analizi için gerekli kodlar yazılmıştır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen silüet analizi modülü ile 3B kentsel alanlarda, kullanıcılar tarafından belirlenecek olan bir durulan nokta ve bir görüş hattındaki belirli binalara ait silüet görüntüsü üretilmektedir. Ayrıca mevcut binalardan silüetinin korunması önem arz eden bina seçilerek, silüeti korunmak istenen bina ile yeni yapılacak olan bina arasında silüet analizi gerçekleştirilmektedir. Bu analiz ile yeni binanın, korunan bina silüetini bozmaması için maksimum bina yüksekliği ve yapılabilecek maksimum kat adedi hesaplanabilmektedir. Böylelikle kentsel alanlarda yeni bir bina yapılacağı zaman silüet analizi uygulanarak yeni yapılacak binanın silüet durumu hem görsel hem de sayısal olarak yorumlanabilmektedir. Çalışmada geliştirilen silüet analizi modülüne ait akış diyagramı ise Şekil 1'de gösterilmektedir.

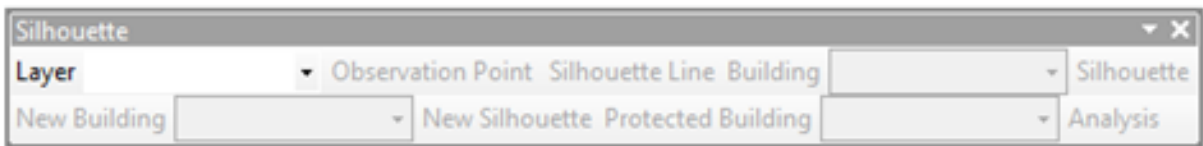


Şekil 1. Akış Diyagramı

2.3. Silüet Analiz Modülü için Araç Çubuğunun Tasarımı

ArcGIS Python Add-In Wizard programı pratik olarak araç çubuğu tasarımına imkân sağlamaktadır. Bu çalışmada, silüet analizi modülü için Şekil 2’de gösterilen “Silhouette” isimli araç çubuğu tasarlanarak ArcMap programında kullanıma sunulmuştur. Tasarlanan silhouette araç çubuğu kullanıcıya pratiklik sağlaması ve kullanıcıyı bilgi karmaşasından kurtarmak adına aşağıda ifade edilen özellikleri kullanıcıya sunmaktadır.

- Araç çubuğunda yer alan butonlar, silüet analizindeki işlem adımlarının akışına göre



Şekil 2. Silhouette Araç Çubuğu

aktif hale gelecek şekilde kodlanmıştır. Örneğin, Layer isimli açılır kutudan raster formatta bir yüzey modeli seçildiği anda bu açılır kutuya ait işlemler tamamlanmakta ve silüet analizi için gözlem yapılacak durulan noktanın belirlenmesine olanak sağlayan “Observation Point” isimli buton aktif hale gelmektedir.

- Araç çubuğundaki Layer isimli açılır kutu sadece raster formattaki sayısal yükseklik modelini, Building ve New Building isimli açılır kutular sadece multipatch veri yapısındaki binaları, Protected Building isimli açılır kutu ise silüet analizine giren multipatch veri yapısındaki binaları listeleyebilecek şekilde kodlanmıştır. Örneğin, Table of Context’de multipatch formatında birçok bina bulunurken, Protected Building sadece silüete giren multipatch binalardan bir seçim yaptırmaktadır. Ayrıca normalde açılır kutular belirtilen veri yapılarını görüntüleyebilmekte iken, burada uygulamaya yeni veriler eklediği anda açılır kutular bu veriyi de gösterebilmektedir.
- Silüet analiz modülünde analiz işlemleri bazı özel durumlarla karşılaşıldığında işlemi durdurarak dikkat edilmesi veya yapılması önem arz eden bilgi veya uyarıları mesaj kutusu olarak ekranda göstererek kullanıcının yapacağı düzeltmelerle işlemi kaldığı yerden devam ettirebilmektedir.
- Analiz sonucunda üretilen silüet görüntüleri, dosya adına tarih ve saat bilgileri eklenerek kayıt edilmektedir. Ayrıca üretilen silüet görüntüleri hem ESRI shape formatında hem de ayrı bir pencerede SVG formatında gösterebilmektedir.

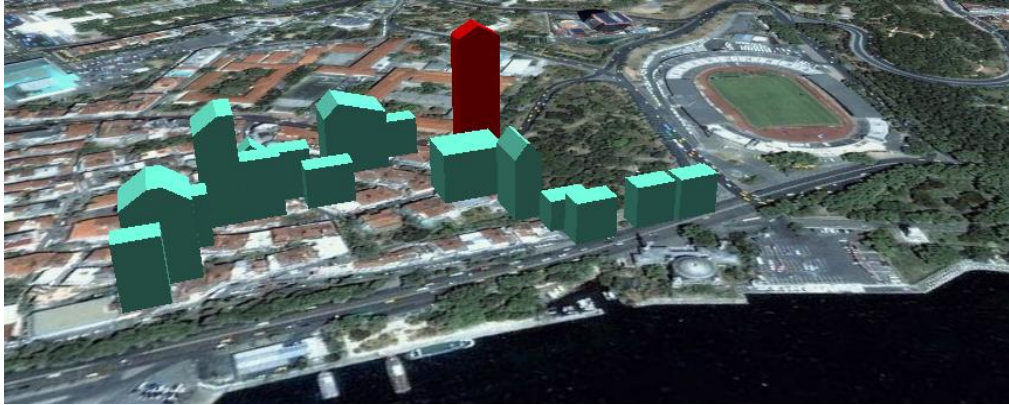
2.4. Uygulama

Bu çalışmada, silüet analizi çalışmaları yapılacak bölgeye ait 3B bina modellerini üretebilmek adına SYM ve CityGML standartlarına göre LoD 1 seviyesinde blok modeller olarak farklı yapılarda 17 ayrı bina modeli üretilmiştir. CityEngine programı 2015.2 versiyonu kullanılarak oluşturulan 3B bina modellerinin ArcGIS 10.2 programındaki görünümü Şekil 3'de gösterilmektedir. Üretilen 3B bina modellerinden silüet analizinde yeni bina olarak bahsi geçen ve silüet durumu değerlendirilecek olan bina kırmızı renkte gösterilmektedir.

Bu uygulama ile bir durulan nokta ve silüet hattı belirlenerek hem sadece mevcut binaların silüet görüntüsü hem de yeni yapılacak binanın mevcut binalarla olan silüet görüntüsü üretilmektedir. Ayrıca mevcut binalardan silüetinin korunması önem arz eden bina

kullanıcıya seçtirilmekte ve silüeti korunmak istenen bina ile yeni yapılacak olan bina arasında bir silüet analizi gerçekleştirilmektedir. Bu analiz ile yeni binanın silüeti korunması istenilen binanın silüetinin bozup bozmadığı değerlendirilmektedir.

Yeni binanın korunan bina silüetini bozmaması durumunda, yeni binanın korunan binanın silüetini bozmadığına dair bir bilgi mesajı sunulmaktadır. Yeni binanın korunan binanın silüetini bozması durumunda ise yeni bina ve korunan bina arasında analiz gerçekleştirilmektedir. Böylelikle yeni binanın korunan bina silüetini bozmaması için sahip olması gereken maksimum bina yüksekliği ve yapılabilecek maksimum kat adedi hesaplatılarak bu değerler başka bir bilgi mesajı ile sunulmaktadır. Silüet analiz modülünün işlem adımları aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

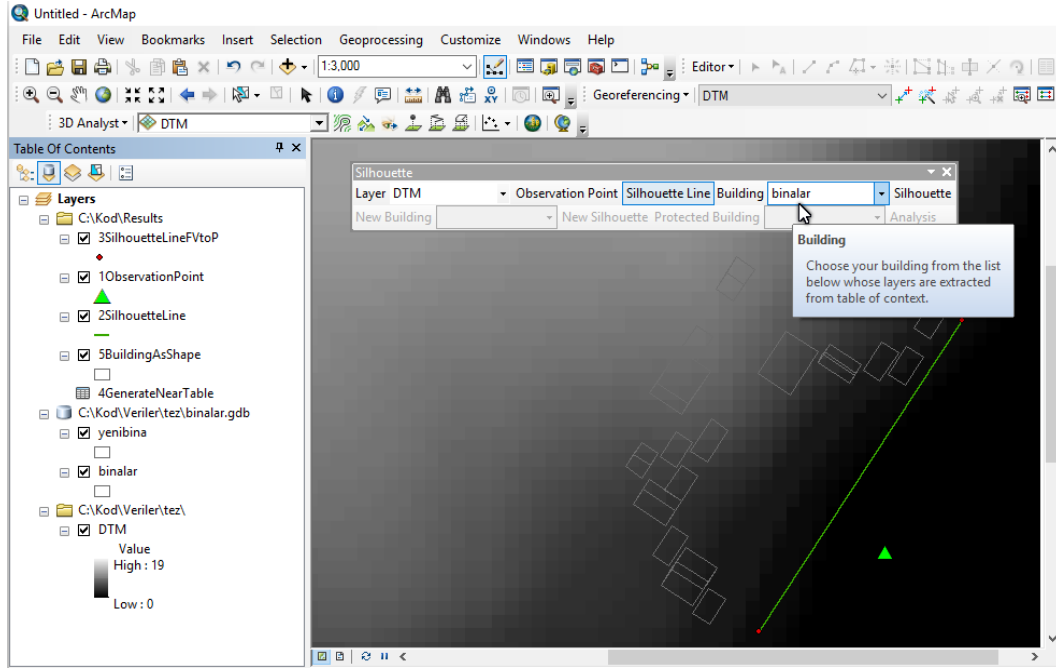


Şekil 3. 3B Bina Modellerinin ArcGIS 10.2 Yazılımında Gösterimi

1. Kullanıcı araç çubuğundaki Layer isimli açılır kutuyu kullanarak çalışma alanına ait SYM'yi harita penceresine yükler (Şekil 4).
2. Kullanıcı daha sonra araç çubuğundaki Observation Point butonunu kullanarak silüet görüntüsünün üretileceği durulan noktayı SYM üzerinde işaretler (Şekil 4).
3. Kullanıcı araç çubuğundaki Silhouette Line butonunu kullanarak silüet hattını belirler. Silüet hattı, kullanıcı tarafından yine SYM üzerinde hattın başlangıç ve bitiş noktaları

işaretlenerek belirlenir (Şekil 4). Daha sonra, durulan nokta ile silüet hattının başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki semt açıları hesaplanarak skyline analizinde kullanılacak olan "From Azimuth" ve "To Azimuth" parametreleri belirlenir.

4. Kullanıcı, durulan noktadan belirlenen silüet hattına göre silüeti üretilen çoklu binalar katmanını seçer (Şekil 4).

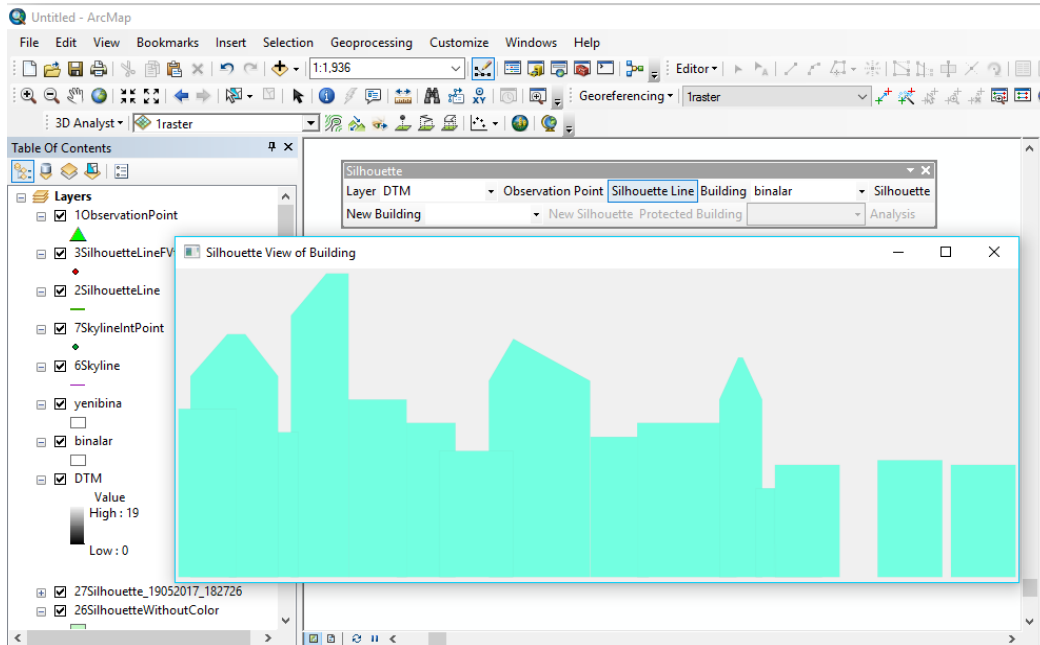


Şekil 4. Yüzeysel Modelinin Seçtirilmesi, Durulan Noktanın Belirlenmesi, Silüet Hattının Belirlenmesi ve Binalar Katmanının Belirlenmesi

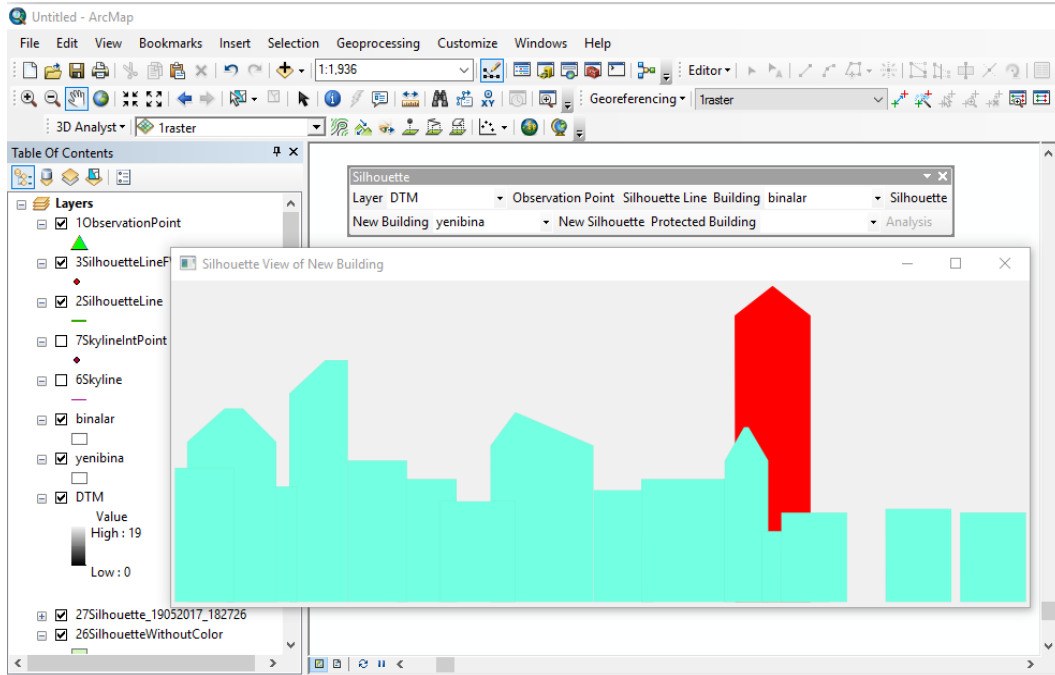
5. Araç çubuğundaki Silhouette butonu kullanılarak mevcut binaların SVG formatındaki silüet görüntüsü üretilerek ekranda gösterilir (Şekil 5).
6. New Building isimli açılır kutu kullanılarak kentsel alana yeni yapılacak olan multipatch formatında bina katmanı seçilir (Şekil 6).
7. NewSilhouette isimli buton kullanılarak yeni yapılacak bina ile mevcut binaların

birlikte yeni silüet görüntüsü üretilir. Yeni bina diğer binalardan farklı olarak silüette kırmızı renkte çizdirilmektedir (Şekil 6).

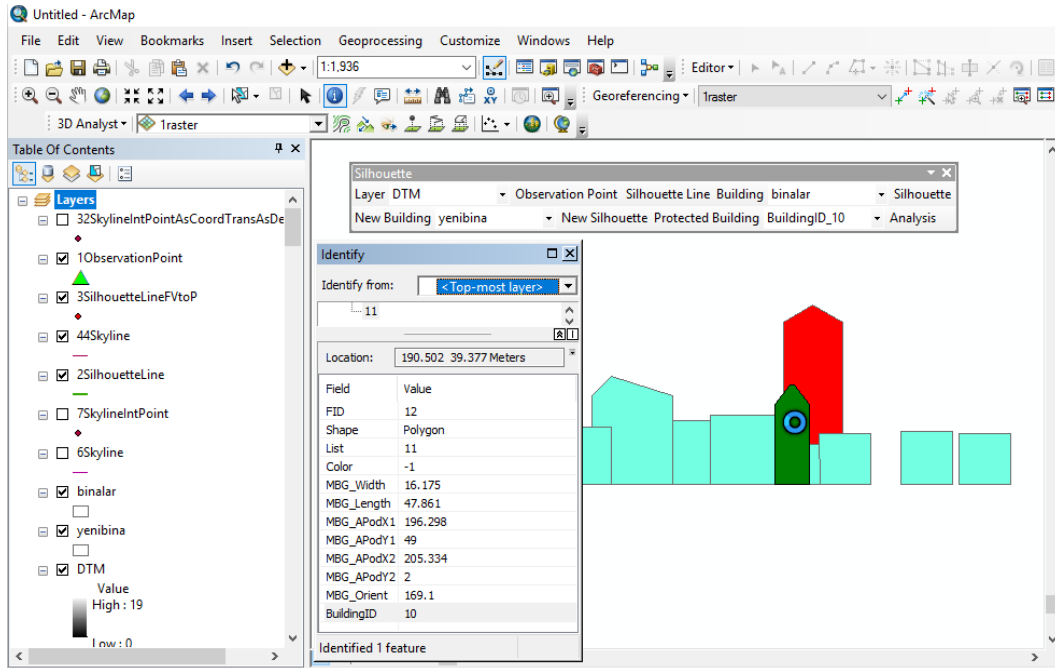
8. Protected Building isimli açılır kutu kullanılarak mevcut binalar arasında silüeti korunmak istenen bina seçilir (Şekil 7).



Şekil 5. Silüet Hattına Giren Mevcut Binaların Silüet Görüntüsü



Şekil 6. Yeni Bina Katmanının Seçtirilmesi ile Yeni ve Mevcut Binalara Ait Silüet Görüntüsü

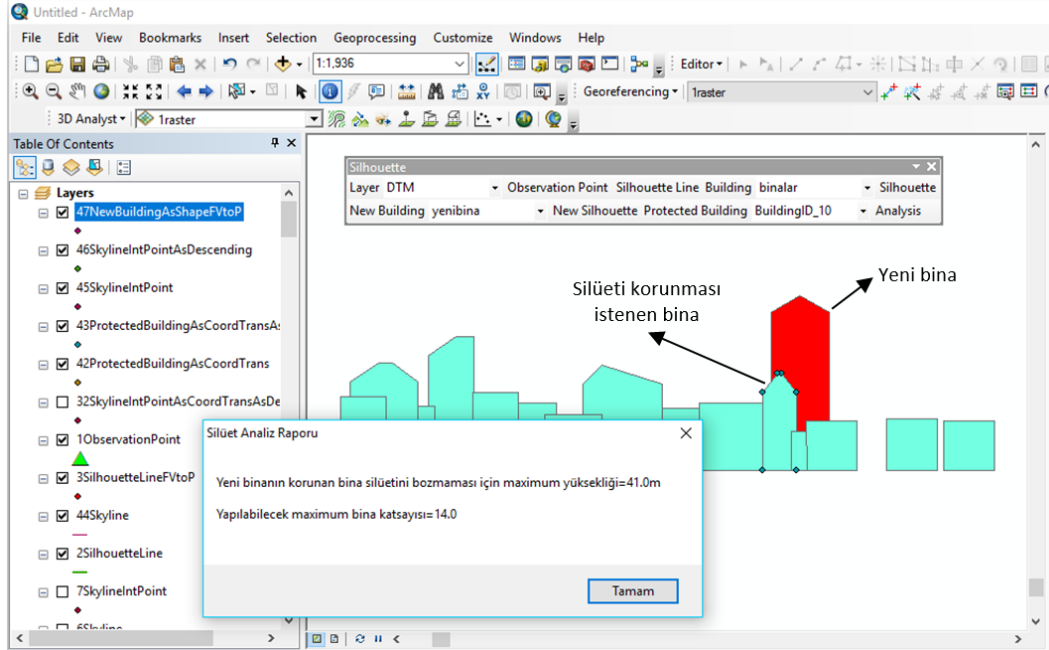


Şekil 7. Silüeti Korunmak İstenen Binanın Seçilmesi

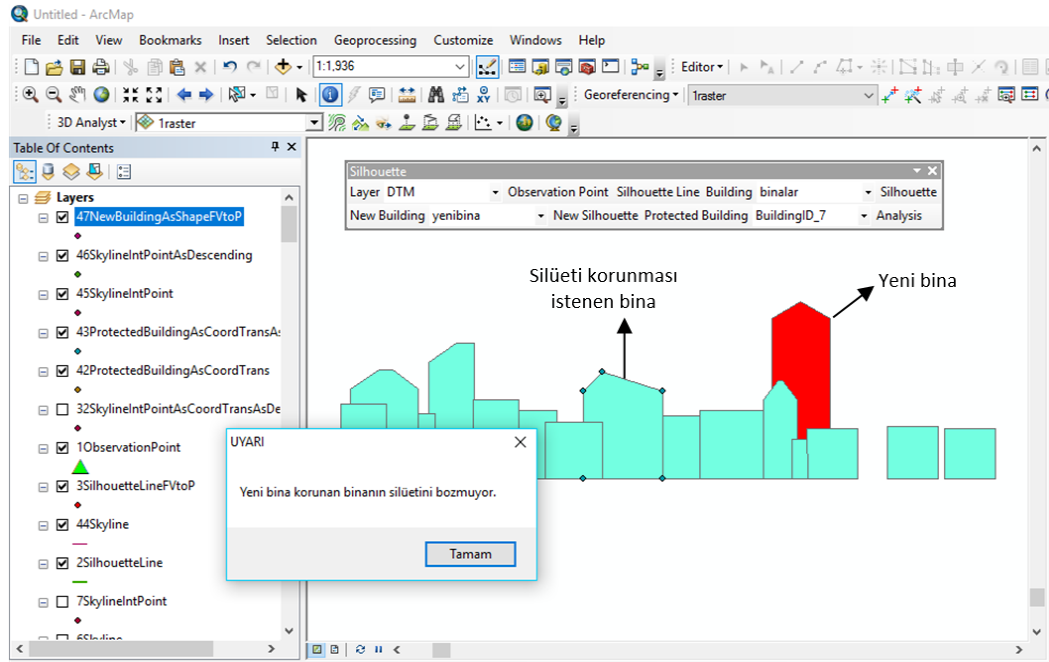
9. Daha sonra, Analysis isimli buton kullanılarak yeni yapılacak bina ile silüeti korunması istenen bina arasında silüet analizi yapılır ve yeni yapılacak olan binanın korunan binanın silüetini bozup bozmadığı değerlendirilir. Silüetin bozulması durumunda, yeni binanın korunan binanın silüetini bozması için sahip olması gereken maksimum yüksekliği ve maksimum

kat adedi hesaplanır (Şekil 8). Bu işlem, silüeti korunması istenen bina kullanıcı tarafından değiştirildiği takdirde yeniden yapılabilmektedir.

10. Yeni binanın korunan binanın silüetini bozması durumunda ise ekranda silüetin bozulmadığına dair bir bilgi mesajı görülür (Şekil 9).



Şekil 8. Silüetin Bozulması Durumundaki Silüet Analizi Sonuçlarının Ekranda Gösterilmesi



Şekil 9. Silüetin Bozulmaması Durumundaki Silüet Analizi Sonuçlarının Ekranda Gösterilmesi

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, gözlem yapılan noktadan belirli bir görüş alanında kalan binaların silüet görüntüsünü üreten ve aynı alanda yapılması düşünülen yeni binaların silüete etkilerini tespit eden yeni bir silüet analiz modülü geliştirilmiştir. Böylelikle kentsel planlama sürecinde ve imar planlarının uygulanmasında karşılaşılan kentsel silüetin bozulmasından

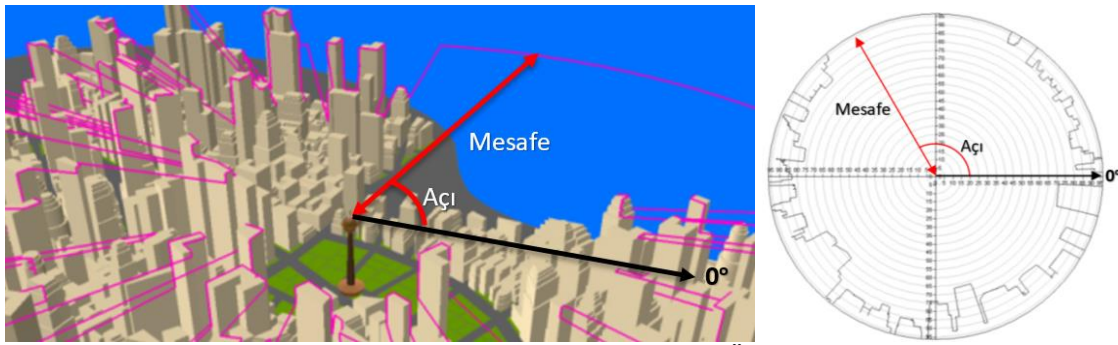
kaynaklanan problemlerin çözülmesi amaçlanmıştır.

Silüet analiz modülü, ArcGIS CBS yazılımında çalışacak şekilde Phyton programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Çalışmada kullanılan 3B binalar, CityGML standartlarına göre LoD 1 detay seviyesinde modellenmiştir. Çünkü LoD seviyesi arttıkça bina modellerinin içerdiği çatı yapıları, bina dokuları, duvar

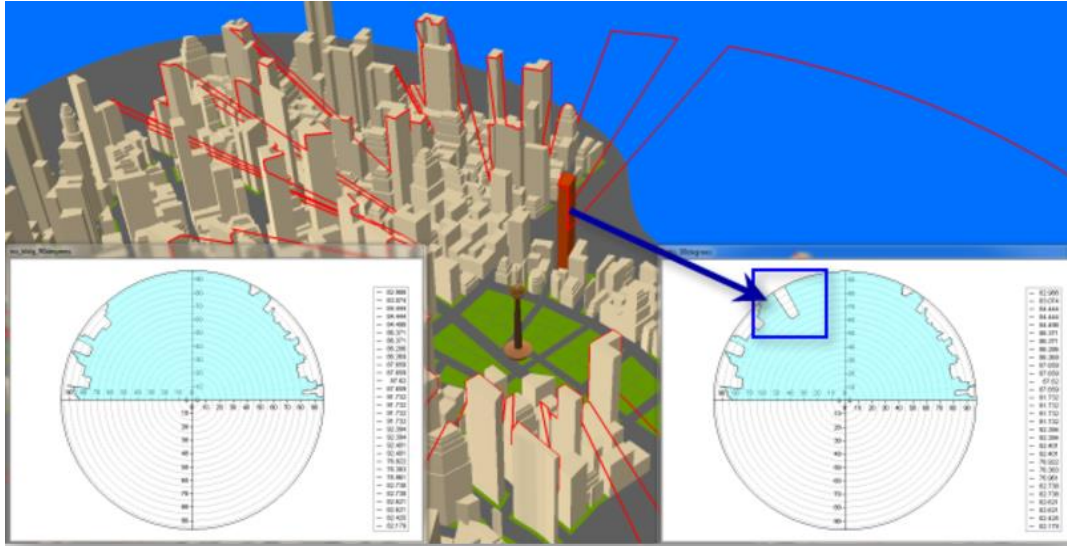
detayları ve balkonlar gibi mimari detaylar da artacaktır. Dolayısıyla multipatch geometri tipindeki detay noktaları da artacaktır. Böylelikle multipatch objeyi temsil eden yüzey parçalarındaki nokta koordinatlarının tekrar etmesi hem işlem adımlarında kullanılacak noktayı belirleme aşamasında sorunlar çıkaracak hem de performans açısından geliştirilen modülü yavaşlatacaktır.

Geliştirilen silüet analiz modülünün ArcGIS tarafından sunulan görünürlük analizi fonksiyonlarından ve bu fonksiyonlar kullanılarak literatürde yapılan çalışmalardan farkı aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

ArcGIS yazılımına ait görünürlük analizi fonksiyonları kullanılarak, 3B kentsel alanlarda çeşitli görünürlük analizleri yapılabilmektedir. Ancak, sunulan fonksiyonlar ile kentsel alanlardaki silüet durumunun analizi, hem çok sayıda işlem adımı ve parametre gerektirmekte hem de üretilen sonuç görsel olarak yorumlanmaktadır. Gözlem yapılan noktadan 3B kent modeline ait görünür alanlara, Şekil 10'da de gösterildiği gibi skyline analizi ile ulaşılabilmektedir. Görünürlüğün grafiksel olarak yorumlanabilmesi için ise Şekil 10'da verilen skyline grafikleri kullanılmaktadır.



Şekil 10. Skyline Analizi (Solda) ile Skyline Grafığı (Sağda) Üzerinde Açı ve Mesafelerin Gösterimi



Şekil 11. Skyline Grafikleri Üzerinden Silüet Durumunun Yorumlanması (URL-14, 2016)

ArcGIS yazılımı tarafından sunulan görünürlük analizi fonksiyonları ile sadece silüete benzer grafik görüntüleri üretilebilmektedir. Grafiklerin görsel olarak yorumlanması ile silüetin bozulup bozulmadığı tespit edilebilmektedir (Şekil 11). Bu grafiklerden gözlem yapılan noktadan görünen binaların yükseklik veya kat adedi gibi bilgilere ulaşılamamaktadır.

Üretilen grafiklerden, sadece gözlem yapılan noktadan ne kadar açı ve mesafede görünür objelerin bulunduğu tespit edilebilmektedir.

Buradan da anlaşılacağı gibi yeni yapılacak binanın, gözlem yapılan noktadan silüeti bozulup bozulmadığı görsel olarak belirlenebilmekte ve inşa edilecek yeni bina ile ilgili açı ve mesafe dışında herhangi bir bilgiye ulaşılamamaktadır.

Ayrıca, silüetinin korunması istenen bina ve yeni bina arasındaki silüet durumu da analiz edilememektedir. Başka bir ifadeyle, yeni yapılacak binanın silüeti bozmaması için inşa edilmesi gereken maksimum yükseklik veya kat adedi ile ilgili bilgilere ulaşılamamaktadır.

Literatürde, ArcGIS yazılımının sunduğu görünürlük analizi fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilen bazı silüet çalışmaları bulunmaktadır. Örneğin; Güney vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, İstanbul'un Levent semtinin 3B kent modeli üretilmiş ve çalışma alanına ait hem görsel skyline analizi (visual skyline analysis) hem de zamansal skyline analizi (temporal skyline analysis) olarak belirtilen analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, Levent semtinin 1999 ve 2008 yıllarına ait 3B kent modelleri kullanılarak görsel skyline analizi ile silüet değişimi incelenmiştir. Aynı çalışmada, İstanbul'un Boğaziçi Köprüsü, Fatih Sultan Mehmet Köprüsü, Harem ve Çamlıca Tepesi gibi şehrin önemli 4 farklı noktasından, Levent semtinin zamansal skyline analizi üretilmiş ve inşa edilen yüksek yapı binaların görsel etkileri değerlendirilmiştir.

Yusoff vd. (2014) tarafından yapılan benzer bir çalışmada ise, ArcGIS yazılımı kullanılarak Kuala Lumpur şehrinin silüetinin korunmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Burada da 3B kent modeli üretiminin tamamlanmasının ardından ArcGlobe programı kullanılarak 3 farklı gözlem noktasından mevcut binalara ait silüet görüntüleri üretilmiştir. Ardından, yeni yapılacak 3 farklı binanın aynı gözlem noktası ve görüş açısından görüntüleri üretilmiştir. Böylelikle yeni yapılacak olan binaların kentin silüeti üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma alanındaki 3 farklı gözlem noktasından (Ampang Tepesi, Malaysia Middle Ring Road 2 doğu sahili geçidi ve Sungai Besi Kuzey-Güney Karayolu) gözlem yapılarak, kırmızı renkte görünen 3 farklı yeni binanın Kuala Lumpur silüeti üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışmalar ve kullanılan 3B analiz fonksiyonlarına ait sonuçlar değerlendirildiğinde, ArcGIS ortamında verilerin üretimi, görselleştirilmesi ve analizi işlemlerinin tek bir platformda toplanmış olmaması (ArcMap, CityEngine, ArcScene ve ArcGlobe) ve sunulan görünürlük analizlerinin

çeşitliliği, yazılımın silüet çalışmalarında kullanılmasını dezavantajlı hale getirmektedir. Bu nedenle, silüet analizleri bağlamında yapılan çalışmalarla sadece modellerin görsel etkileri değerlendirilebilmiştir. Silüet analizi olarak bahsi geçen skyline analizleri ile sınırlı sayıda konumsal bilgilere ulaşılmaktadır. Bunların dışında her farklı gözlem noktasından farklı silüet oluşacağı için gözlem noktası değiştikçe iş yükü artarak analizlerin tekrarı gerekecektir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerek kentsel alanların planlama sürecinde gerekse imar planlarının uygulanmasında yeni inşa edilen binalara ruhsat verilmesi aşamasında, kentsel alanların silüet görüntülerinin üretilmesine ve kent silüetindeki değişimin izlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde kullanılan mevcut CBS yazılımları, silüet analizi için doğrudan fonksiyonlar sunmamakta, fakat sahip oldukları görünürlük analizi fonksiyonları ile silüet benzeri grafiklerin üretilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, yeni yapılacak olan binaların, mevcut binalar ile korunması istenen binaların silüetini nasıl etkilediğinin belirlenmesinde ve silüetin korunması için yapılması düşünülen yeni binaların maksimum yüksekliklerinin ve kat adetlerinin belirlenmesinde mevcut CBS yazılımlarının sunduğu fonksiyonlar yetersiz kalmaktadır.

Bu çalışmada, 3B bina modelleri üzerinde silüet analizi gerçekleştirebilecek bir silüet analiz modülü geliştirilmiştir. Geliştirilen modül, kullanıcının ekrandan belirleyebileceği gözlem yapılan nokta olan bir durulan nokta ve görüş hattındaki 3B binaların silüet görüntüsünü üretmekte ve yeni yapılacak binaların silüeti bozmaması için sahip olması gereken maksimum yüksekliği ve kat adetini hesaplamaktadır. Silüet analizi modülü, özellikle belediyelerin İmar Müdürlüklerinde görevli kullanıcıların, çok fazla teknik bilgiye ihtiyaç duymadan kolaylıkla kullanabilmeleri için basit ve fonksiyonel olarak tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Geliştirilen silüet analizi modülü kullanılarak özellikle İstanbul gibi mega kentlerin silüet görüntüleri üretilebilir ve silüetteki zamansal değişim analiz edilebilir. Ayrıca, bu büyük kentlerdeki tarihi dokunun korunması için yeni yapılacak binaların silüete etkisi geliştirilen modül sayesinde tespit edilebilir. Bu nedenle geliştirilen modülün

belediyelere önemli katkı yapacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Akdag, S. G., Cagdas, G., Guney, C. (2010). Analyzing the Changes of Bosphoru Silhouette, in education and research in computer aided architectural design in Europe (eCAADe), September, Zürich. 28th Conference: Future Cities, 815-823.
- Ban, Y., Jakobsson, P., Kjelldahl, L., Ranhagen, U. (2011). Visualization in ViSuCity, a tool for sustainable city planning, Proceedings of SIGRAD 2011. *Evaluations of Graphics and Visualization - Efficiency, Usefulness, Accessibility, Usability*, November 17-18, KTH, Stockholm, Sweden, 105-109.
- Czerwinski, A., Sandmann, S., Stöcker-Meier, E., Plümer, L. (2007). Sustainable SDI for EU noise mapping in NRW – best practice for INSPIRE, *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 2, 90-111.
- Czyńska, K. (2015). Impact of Tall Buildings on the Attractiveness of Urban Landscape-On the Example of Selected European Cities, *Norway Grants*, 131-144.
- Güney, C., Girinkaya, S. A., Çağdaş, G., Yavuz, S. (2012). Tailoring a Geomodel for Analyzing an Urban Skyline, *Landscape and Urban Planning*, 105, 160-173.
- Kluijver, H. de., Stoter, J. (2003). Noise mapping and GIS: optimising quality and efficiency of noise effect studies, *Computers, Environment and Urban Systems*, 27, 1, 85-102.
- Lamberti, F., Sanna, A., Ramirez, E. (2011). Web-based 3D visualization for intelligent street lighting, In *Proceedings of the 16th International Conference on 3D Web Technology (Web3D '11)*, June 20-22, Paris, France.
- Lee, J., Zlatanova, S. (2008). A 3D data model and topological analyses for emergency response in urban areas, *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), London, Geospatial information technology for emergency response*, 143-168.
- Mao, B. (2011). Visualisation and Generalisation of 3D City Models, Doctora Thesis, K. T. H., Stockholm.
- Masry, S.E., Lee, Y.C. (1988). An Introduction to Digital Mapping, *Department of Surveying Engineering publication*, UNB, Canada.
- Nasar, J. L., Terzano, K. (2010). The Desirability of Views of City Skylines After Dark, *Journal of Environmental Psychology*, 30, 215-225.
- Sadek, E. S. S. M., Ali. S. J. B. S., Rosdi, B., Kadzim, M. R. B. M. D. (2002). The Design and Development of a Virtual 3D City Model, 1-12.
- Schulte, C., Coors, V. (2008). Development of a CityGML ADE for dynamic 3D flood information, In *Proceedings Joint ISCRAM-CHINA and GI4DM Conference on Information Systems for Crisis Management*, Harbin, China.
- Stoter, J. E., Ploeger, H. D. (2003). Registration of 3D objects crossing parcel boundaries, *FIG Working week 2003*, April, Paris.
- Stoter, J., Zlatanova, S. (2003). 3D GIS where are we standing?, *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Joint Workshop on Spatial, Temporal and Multi-Dimensional Data Modelling and Analysis*, October, Quebec city, 6.
- Şahin, C., Ergun, B., Alkiş, A. (2012). Yakın Resim Fotogrametrisinde Üç Boyutlu Silüet Örnek Uygulaması: İstanbul Galata Bölgesi, *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, Zonguldak.
- Tafahomi, R., Hosseini, S. M. S. A., Lamit, H., Burshri, A. (2016). Application of GIS Method to Identify Urban Silhouette Form Case study: Mashhad city in Northeast of Iran, *Planning Tech*, 1-8.
- Tavernor, R., Gassner, G. (2010). Visual Consequences of the Plan: Managing London's Changing Skyline, *City, Culture and Society*, 1, 99-108.
- Van Wees, J.D., Versseput, R.W., H. J. Simmelink, Allard, R. R. L., H. J. M. Pagnier. (2002). Shared Earth system models for the dutch subsurface, *Netherlands Institute of Applied Geoscience TNO-National Geological Survey*.
- Yang, P. P., Putra, S. Y., Li, W. (2007). Viewsphere: a GIS Based 3D Visibility Analysis for Urban Design Evaluation, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 34, 971-992.
- Yastıklı, N., Çetin, Z., Arslan, E. (2017). Sayısal Yersel Fotogrametri Yöntemi ile Sarıyer İstanbul'da Silüet Üretimi, *TUFUAB IX. Teknik Sempozyumu*, Afron, Türkiye, 193-197.
- Yusoff, N. A. H., Noor, A. M., Ghazali, R. (2014). City skyline conservation: sustaining the premier image of Kuala Lumpur, *4th International Conference on Sustainable Future for Human Security*, Sustain, 583-592.
- Zlatanova, S., Painsil, J., Tempfli, K. (1998). 3D object reconstruction from aerial stereo images, *Journal of WSCG*, 6, 1-3.

Yarasa Algoritması ile Robust Kestirimin Nivelman Ağlarına Uygulanması

Mevlüt YETKİN^{1*}, Ömer BİLGİNER²

¹İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İzmir
(mevlut.yetkin@ikc.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0003 – 3438 – 1801

²İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İzmir
(omer.bilginer@ikc.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 1649 – 5584

Öz

Günümüzde, Yarasa Algoritması (YA) gibi modern metasezgisel algoritmalar karmaşık ve çözümü zaman alıcı zor optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Jeodezi'de robust parametre kestirim yöntemlerinin jeodezik ağlara uygulanması önemli bir optimizasyon problemidir. Bu çalışmada, robust En Küçük Medyan Kareler (EKMK) yöntemi bir nivelman ağına global bir doğal optimizasyon algoritması olan YA kullanılarak uygulanmış ve kaba hatalı gözlem vektörü olması durumunda önerilen yaklaşımın klasik En Küçük Kareler (EKK) yönteminden daha iyi sonuç verdiği sayısal bir örnek ile gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeodezik ağ, global optimizasyon, yarasa algoritması, robust kestirim.

Application Of Robust Parameter Estimation To Leveling Networks Using The Bat Algorithm

Abstract

Recently, modern metaheuristic algorithms such as the Bat Algorithm (BA) are successfully used to solve complex and time consuming tough optimization problems. In geodesy, the application of robust estimation methods to geodetic networks is an important optimization problem. In this study, the Least Median Squares (LMS) method that is a robust method is applied to a leveling network using a global nature-inspired algorithm called the BA. Numerical example shows that the proposed approach might produce better results than the classical the Least Squares (LS) method when the observation vector is burdened with blunders.

Keywords: Geodetic network, global optimization, bat algorithm, robust estimation

* Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Konum belirleme ve deformasyon izleme (yer kabuğu hareketleri, krip hareketleri ve yer çökmesi gibi) amacıyla oluşturulan jeodezik ağlar klasik olarak boyutlarına göre 1, 2 ve 3 boyutlu jeodezik ağlar olarak sınıflandırılabilir. 1 boyutlu ağlar yükseklik ağları (geometrik, trigonometrik ve hassas nivelman ölçme teknikleri kullanılabilir) 2 boyutlu ağlar ise yatay kontrol ağları olarak isimlendirilmektedir. 2 boyutlu ağlar geleneksel olarak açı ve mesafe ölçmeleri kullanılarak oluşturulabildiği gibi GPS ölçme tekniği de kullanılabilir. Hem yatay hem de düşey konumlanmanın birlikte yapıldığı 3 boyutlu ağlar ise geleneksel olarak eğik uzunluk, yatay doğrultu ve düşey açı gözlemleriyle oluşturulabilir. Öte yandan son zamanlarda GPS ölçmeleri 3 boyutlu konum belirlemelerinde en çok tercih edilen yöntem olmuştur. Düşey konumlama amacıyla oluşturulan yükseklik ağları düşey yönlü deformasyon hareketlerinin izlenmesi için çok önemli araçlar olmuşturlardır.

Herhangi bir jeodezik ağın kurulması tasarım, gözlem ve analiz olmak üzere başlıca üç aşamada gerçekleştirilebilir. Tasarım aşamasında ağdan beklenen kalite kriterlerine göre en uygun ağın planlaması yapılır. Gözlem aşamasında ise gerekli olan jeodezik ölçmeler yersel ve/veya uydu ölçmeleri ile yapılır. Analiz aşamasında ise toplanan veriler çeşitli yöntemler ile işlenerek kullanıcılara sunulur. Bu aşamanın en önemli ürünü noktaların koordinatları ve/veya yükseklikleridir (Kuang, 1996).

Nokta koordinatlarının ve yüksekliklerinin hesaplanması için jeodezide en yaygın kullanılan parametre kestirim yöntemi EKK yöntemidir. Minimum varyans ve maksimum olasılık gibi olumlu özelliklere sahip olan EKK yöntemi ile doğru bir parametre kestirimi yapabilmek için gözlem vektörünün kaba ve sistematik hatalardan arındırılması ve sadece kaçınılmaz olan rasgele hataların gözlemleri etkilemesi gerekmektedir (Kuang, 1996). EKK yönteminin önemli bir dezavantajı maskeleye ve batma etkisi yüzünden herhangi bir gözlemede yapılan kaba hatanın ilgili gözlemden çok diğer gözlemlerin düzeltme

değerlerini etkilemesidir. Bu nedenle EKK yöntemi ile sonunda uygulanan klasik uyuşumsuz ölçü belirleme yöntemleri başarısız olabilmektedir. Maskeleye kaba hatalı bir gözlemin diğer gözlemlerden daha küçük düzeltme değeri alması batma ise tam tersine iyi bir gözlemin kaba hatalıymış gibi büyük bir düzeltme değeri almasıdır (Hekimoğlu, 2005). Uyuşumsuz ölçülerin başarılı şekilde saptanabilmesi için ilgili ölçüdeki kaba hatanın düzeltilmesine büyük oranda yansımaları gerekmektedir. Bununla birlikte, ağın geometrik tasarımı ve kullanılan stokastik modelin etkisiyle oluşan redundans matrisi köşegen bir matris olmadığı için bir gözlemede yapılan hata diğer gözlemleri de redundans matrisine bağlı olarak etkilemektedir. Bilindiği gibi redundans matrisi bir jeodezik ağda gözlemler ile düzeltmeler arasında ki ilişkiyi tanımlamaktadır (Kuang, 1996).

Öte yandan, çeşitli robust parametre kestirim yöntemleri kullanılarak kaba hataların bilinmeyenler üzerinde ki bozucu etkisi büyük oranda yerleştirilmekte ve daha güvenilir sonuçlar elde edilebilmektedir (Rousseeuw ve Leroy, 1987). Bununla birlikte, bu çalışmada ele aldığımız EKMK yöntemi gibi robust parametre kestirim yöntemlerinin gerçekleştirilebilmesi için güçlü optimizasyon algoritmalarının kullanılması gerekmektedir (Baselga, 2007; Baselga ve Garcia-Asenjo 2008; Yetkin ve Berber, 2013; Yetkin ve Berber, 2014; Yetkin 2018).

Optimizasyon verilen bir amaç fonksiyonunun minimum veya maksimum yapılması suretiyle optimal değişken değerlerinin (bu çalışmada nivelman ağları kullanıldığı için değişken değerler nokta yükseklikleridir) bulunması işlemidir. Aşağıda (1) ve (2) numaralı eşitliklerde sırasıyla EKKY ve EKMKY'nin amaç fonksiyonları verilmiştir:

$$v^T P v \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\text{medyan}(Pv^2) \rightarrow \min \quad (2)$$

burada v düzeltmeler vektörü P ise ağırlık matrisidir. Her iki parametre kestirim yöntemi de aşağıda verilen Gauss-Markov modeline dayalı olarak yapılmaktadır:

Fonksiyonel model

$$l + v = Ax \quad (3)$$

Stokastik model

$$P = \sigma_0^2 C_l^{-1} \quad (4)$$

burada l gözlem vektörü, A tasarım matrisi, P ağırlık matrisi, σ_0^2 varyans faktörü, C_l ise gözlemlerin varyans-kovaryans matrisidir (Kuang, 1996).

Optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan optimizasyon algoritmaları lokal ve global optimizasyon algoritmaları olmak üzere ikiye ayrılabilir. Lokal optimizasyon teknikleri başlangıç noktasının global optimal çözüme yeterince yakın olmaması durumunda global optimal çözüm üretmeyi garanti edemez. Bu nedenle global optimizasyon tekniklerinin kullanılması gerekir (Xu, 2003). Başta Huber ve Andrews gibi M-Kestirim yöntemleri olmak üzere robust yöntemlerin gerçekleştirilmesi için kullanılan klasik yöntem Yinelemeli Yeniden Ağırlıklandırılmalı En Küçük Kareler (YYAEKK) yöntemidir. Kolay bir şekilde hesaplama yapılabilmesine rağmen bu yöntem eğer gerçek çözüm kaba hatalardan etkilenmiş başlangıç çözümünden uzak ise global optimum çözüm yerine lokal bir optimum çözüme yakınsayabilmektedir. Bu nedenle, global optimizasyon yöntemlerinin kullanılması önerilmiştir (Baselga, 2007).

Bu çalışmada, bir nivelman ağında robust EKK yöntemini global bir optimizasyon algoritması olan YA ile gerçekleştirilmiş ve sonuçlar klasik EKK yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

2. YARASA ALGORİTMASI

Global optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılabilecek YA, Xin-She Yang tarafından 2010 yılında bilim dünyasına sunulmuş bir algoritmadır. YA sesle konum belirleme (echolocation) esasına dayanır. Doğal hayatta çeşitli yarasa türleri avlarını tespit etme, engellerden kaçınma ve karanlıkta tüneme amacıyla kullandıkları yarıkları bulmak için bir çeşit sonar olan sesle konum

belirleme yöntemini kullanmaktadır. YA bu doğal sürecin çeşitli optimizasyon problemlerini çözmek amacıyla taklit edildiği bir doğal metasezgisel optimizasyon algoritmasıdır (Yang, 2010).

YA'nda aday çözümler sanal yarasa olarak isimlendirilir. Her bir yarasanın d boyutlu bir araştırma uzayında güncellenen bir konumu (x_i) ve hızı (v_i) vardır. Temel amaç araştırma uzayında yeni çözümler üretmek ve iteratif (yinelemeli) olarak global optimum çözüme ulaşmaktır. Bütün metasezgisel algoritmalarda olduğu gibi YA'nda da global arama ile bütün araştırma uzayı araştırılarak en uygun çözüm bölgeleri elde edilirken lokal arama aşamasında ise ümit veren bölgelerde daha iyi çözümler üretilmeye çalışılmaktadır

Yarasa algoritması aşağıdaki formüller ile uygulanabilmektedir:

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min})\beta \quad (5)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x_g)f_i \quad (6)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (7)$$

burada β 0 ile 1 aralığında uniform dağılıma sahip sayılardan oluşan bir vektör x_g ise güncel global optimum çözüm vektörüdür. $t=1,2,\dots,T$ yineleme adıdır. $i=1,2,\dots,p$ popülasyondaki yarasa sayısıdır. λ dalga boyu ve f frekans olmak üzere λ/f i . yarasanın hız artışı olsun (6 numaralı eşitliğin sağ tarafında yer alan $(x_i^t - x_g)f_i$ ifade). f_i veya λ_i den birisi diğeri sabit tutularak dengeli bir hız değişimi sağlamak için kullanılabilir. Yang (2010)'da bunun için $f_{min}=0$ ve $f_{max}=d$ -araştırma uzayının boyutu- olarak seçilmiştir. Başlangıçta her bir yarasaya $[f_{min}, f_{max}]$ aralığında bir frekans ataması yapılmaktadır.

Lokal arama aşamasında ise güncel en iyi çözümler arasından bir çözüm seçilir ve rastgele yürüme (random walk) yöntemi ile her bir yarasa için yeni bir çözüm

$$x_{yeni} = x_{eski} + \epsilon A^t \quad (8)$$

formülü ile elde edilir. ϵ , -1 ile 1 aralığında rasgele bir sayıdır. A^t ilgili iterasyon adımıdır

tüm yarasaların ortalama ses şiddetidir. A sabit alınabildiği gibi yinelemeli süreçte azalan bir şekilde de kullanılabilir. Yang, 2010'da sabit bir değer olarak $A=0.25$ alınmasını önermiştir.

Sinyal emisyon hızı r_i güncel global optimum çözüm civarında yeni bir çözümün üretilip üretilmemesi konusu üzerinde karar verme aşamasında kullanılır. Eğer rastgele seçilen uniform dağılımlı bir sayı (0-1 aralığında) sinyal emisyon hızından büyük ise yeni bir çözüm üretilir. Öte yandan üretilen yeni çözümler ile bir iyileşme sağlanırsa ve rastgele seçilen uniform dağılımlı bir sayı (0-1 aralığında) ses şiddetinden küçük ise yeni üretilen çözümler kabul edilir. Her iterasyon adımında global optimum çözüm güncellenmelidir (Yang, 2010).

İterasyon adımları ilerledikçe ses şiddeti A_i ve sinyal emisyon hızı r_i sabit bir değer olarak alınmamış ise

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t \quad (9)$$

formülü kullanılarak güncellenebilir. Benzer bir şekilde, sinyal emisyon hızı

$$r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma t)] \quad (10)$$

formülü kullanılarak güncellenebilir. Genellikle $\alpha = \gamma = 0.9$ olarak seçilmektedir. Başlangıçta, yarasaların ses şiddetleri 1,2 aralığında, sinyal emisyon hızları ise 0,1 aralığında seçilebilir. Ses şiddeti ve sinyal emisyon hızı sadece yeni üretilen çözümler ile iyileşme sağlanırsa güncellenmelidir. Daha iyi çözümler üretilmesi yarasaların optimal çözüme doğru hareket ettikleri anlamına gelir (Yang, 2010).

3. YARASA ALGORİTMASININ UYGULAMA ADIMLARI

Chawla ve Duhan (2015) YA'nın program kodunu vermiştir. Buna göre algoritma herhangi bir optimizasyon problemine uygulanabilir. Aşağıda maddeler halinde uygulama adımları ve çalışmamızda ele aldığımız problemle ilgili önemli hususlar belirtilmiştir.

1. Amaç fonksiyonu $f(x)$, $x = (x_1, \dots, x_d)$ belirlenir. d ağdaki nokta sayısıdır. x değerleri çalışmamızda nivelman ağı kullanıldığı için nokta yükseklikleri olmaktadır. Ağdaki nokta sayısı $d = 4$ ise 1 boyutlu bir yükseklik ağı probleminde x vektörünün boyutları 4×1 olacaktır. Benzer şekilde 3 boyutlu bir ağda uygulama yapılacak ve nokta sayısı 4 ise bu durumda x vektörünün boyutları 12×1 olacaktır.
2. Araştırma uzayı tanımlanır.
3. Başlangıç popülasyonu bir rastgele sayı üretici kullanılarak oluşturulur Başlangıç popülasyonu n adet aday çözümden oluşuyorsa n adet x vektörü elde edilmelidir.
4. Aday çözümlerin hız vektörleri birer sıfır vektörü olarak atanır.
5. Parametre seçimi yapılır (f , r ve A).
6. İteratif döngü başlatılır.
7. (5), (6) ve (7) numaralı eşitlikler kullanılarak frekans dengelemesi ve hız/konum(çözüm) güncellemesi yapılır.
8. En iyi çözümler arasından rastgele bir çözüm seçilir ve seçilen bu çözüm etrafında lokal bir çözüm üretilir.
9. Araştırma uzayının farklı bölgelerini taramak için rastgele yeni bir çözüm üretilir.
10. Eğer daha iyi bir çözüm üretilmişse ve A_i rastgele seçilen 0-1 aralığındaki bir sayıdan büyük ise yeni çözüm kabul edilir. A_i (9) numaralı eşitlik ile r_i de (10) numaralı eşitlikle güncellenir.
11. Aday çözümler amaç fonksiyonu değerlerine göre sıralanır ve en iyi çözüm belirlenir. Problemimiz bir minimizasyon problemi olduğu için bir çözümün amaç fonksiyonu değeri ne kadar küçük ise o çözüm o kadar iyi olarak kabul edilir.
12. 7. İşlem adımına dönülerek yukarıda bahsedilen işlemler tekrarlanır.
13. Bütün aday çözümler optimum çözüme yakınsadığında algoritma durdurulur.

Araştırma uzayının belirlenmesi algoritmanın problem çözümünde başarılı olabilmesi için

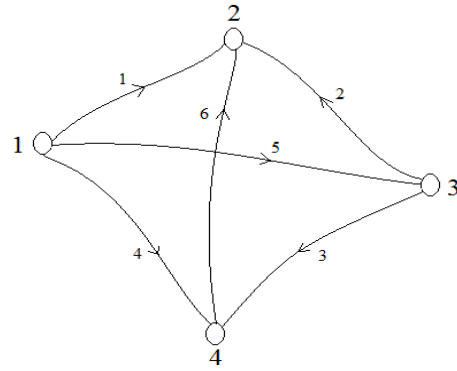
çok önemlidir. Eğer çok küçük bir araştırma uzayı

belirlenir ise algoritma lokal bir optimum çözüme yakınsayabilir. Öte yandan, aşırı bir şekilde büyük bir araştırma uzayı belirlenirse bu kez de yakınsamanın sağlanabilmesi için çok fazla sayıda iterasyona ihtiyaç duyulabilmektedir. Baselga (2007) EKK çözümünü araştırma uzayının merkezi kabul edip bu çözüm vektörünün her bir elemanına pozitif ve negatif işaretli bir artış uygulayarak araştırma uzayının sınırlarının belirlenmesini önermiştir. Buna göre örneğin bir noktanın yüksekliği EKK çözümü ile 101 m olarak belirlenmişse ± 5 m artış veya azalış uygulayarak söz konusu nokta için sınır değerler 96 m – 106 m olarak belirlenecek ve algoritma bu aralıkta optimum değeri bulmaya çalışacaktır.

4. SAYISAL UYGULAMA

Bu çalışmada 4 nokta ve 6 yükseklik farkından oluşan bir geometrik nivelman ağı simüle edilmiştir (Şekil 1). İlk olarak 1 numaralı noktanın yüksekliği sabit alınarak (minimum zorlamalı) EKK yöntemi ile dengelenmiştir. Bu dengeleme sonucu bulunan nokta yükseklikleri Tablo 1'in 2. sütununda gösterilmiştir. Uyuşumsuz ölçülerin EKK yöntemi ile elde edilen dengeleme sonuçlarına olan etkisini görmek için 1 numaralı yükseklik farkına +1 m'lik bir kaba hata kasıtlı olarak eklenmiştir. Kirletilmiş gözlem vektörü kullanılarak yapılan EKK yöntemi ile dengeleme sonuçları ise Tablo 1'in 3. sütununda gösterilmiştir. Söz konusu kaba hatanın dengeleme sonuçları üzerindeki bozucu etkisini azaltmak için bu kez ağ EKMK ile dengelenmiş ve dengelemede çözüm algoritması olarak YA kullanılmıştır. Problemin çözümünde x vektörü 3 boyutlu bir vektör olup nokta yüksekliklerini içermektedir. Dolayısıyla araştırma uzayı $d=3$ boyutludur. YA için seçilen parametreler $f_{min}=0$, $f_{max}=3$, iterasyon sayısı $T=1000$ ve popülasyon sayısı ise $p=30$ olarak seçilmiştir. EKMK-YA yöntemi ile elde edilen nokta yükseklikleri ise Tablo 1'in 4. sütununda gösterilmiştir. Kaba hata olmadığı zaman bilindiği gibi EKK yöntemi en iyi çözümü vermektedir. Bu

dengeleme ile elde edilen yükseklikleri hatasız yükseklikler olarak kabul edelim ve diğer iki dengeleme ile bulduğumuz yükseklikleri bunlarla kıyaslayalım. Tablo 1'in son satırında görüldüğü gibi EKMK-YA yöntemi kaba hatalı gözlem vektörü kullanılsa bile kaba hatasız EKK yöntemi dengelemesi ile elde ettiğimiz yüksekliklere oldukça yakın sonuçlar üretmektedir. Bu durum YA'nın bu çalışmada ele alınan jeodezik optimizasyon problemin çözümünde ne kadar etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 1. Nivelman ağı

Tablo 1. Nokta yükseklikleri (m)

Nokta No	EKKY (kaba hata yok)	EKKY (kaba hatalı)	EKMKY-YA (kaba hatalı)
2	101.9977	102.9450	102.0000
3	100.9989	101.6528	100.9990
4	101.4985	102.0265	101.5105
$\sum (m^2)$	0	1.6037	0.0001

Tablo 1'in son satırı farklı dengelemeler sonucunda bulunan yüksekliklerin EKKY (kaba hata yok) ile elde edilen yüksekliklerden olan farklarının karelerinin toplamıdır.

Klasik EKK yöntemi ve önerilen EKMK-YA ile yapılan parametre kestirimleri sonucunda elde edilen düzeltme değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'nin 3. ve 4. sütunlarında görüldüğü gibi gözlem vektörünün kaba hatalardan etkilenmesi durumunda düzeltme değerleri beklenildiği gibi kaba hatasız duruma göre daha büyük değerler almaktadır. Diğer bir deyişle +1 m'lik kaba düzeltmelerin daha büyük değerler almasına neden olmaktadır. 3. sütun incelendiği zaman EKK yönteminin kaba

hatayı yaydığı görülmektedir. Örneğin, maskeleme etkisi yüzünden en küçük düzeltmeyi 1 numaralı kaba hatalı gözlem almıştır. Benzer şekilde, batma etkisi yüzünden 3. sütunda da görüldüğü gibi en büyük düzeltmeyi aslında kaba hatasız bir gözlem olan 6 numaralı gözlem almıştır. Öte yandan EKMK yöntemi-YA yaklaşımı ile yapılan dengeleme hesabı ile bulunan düzeltme değerlerine bakıldığı zaman + 1 m'lik kaba hata değerinin büyük bir oranda ilgili gözlemin düzeltme değerine yansıdığı görülmektedir. 4. sütunda görüldüğü gibi 1 numaralı düzeltmenin değeri -0.997 m olarak elde edilmiştir. Bu durum robust bir yöntem olan en küçük medyan kareler yönteminin uyumsuz ölçü belirlemedeki başarısını göstermektedir.

Tablo 2. Düzeltmeler (m)

Gözlem No	EKK (Kaba hatasız)	EKK (Kaba hatalı)	EKMK-YA (Kaba hatalı)
1	0.0007	-0.0520	-0.9970
2	-0.0062	0.2872	-0.0040
3	0.0036	-0.1223	0.0155
4	-0.0085	0.5195	0.0035
5	0.0072	0.4264	-0.0025
6	-0.0041	0.6498	-0.0040

Önerilen yaklaşımın küçük genlikli kaba hataların belirlenmesindeki etkinliğini ortaya koymak için bu kez 2. ölçüye +10 cm'lik bir kaba hata ve 5. ölçüye de +15 cm'lik bir kaba hata simüle edilerek eklenmiştir. EKK yöntemi ile elde edilen nokta yükseklikleri Tablo 3'ün 2. sütununda gösterilmiştir. İlgili tablonun son sütununda ise önerilen EKMK-YA yöntemi ile elde edilen nokta yükseklikleri gösterilmiştir. EKK yöntemi ile kaba hatanın olmadığı ölçü kümesi kullanılarak dengeleme yapıldığı zaman elde edilen nokta yükseklikleri hatasız kabul edilerek bu dengeleme sonuçları ile diğer iki parametre kestirimi sonucu bulunan nokta yükseklikleri arasındaki farkların karelerinin toplamı Tablo 3'ün son satırında verilmiştir. İlk örnekte olduğu gibi burada da önerilen yaklaşım birinci duruma göre (kaba hatasız ölçüler ile EKK yöntemi ile dengeleme) daha yakın sonuç vermektedir.

Tablo 3. Nokta yükseklikleri (m)

Nokta No	EKKY (kaba hata yok)	EKKY (kaba hatalı)	EKMKY-YA (kaba hatalı)
2	101.9977	102.0019	101.9944
3	100.9989	100.9402	101.0057
4	101.4985	101.4580	101.5043
$\sum (m^2)$	0	0.0051	0.0001

Tablo 4 üç farklı parametre kestirimi sonucu bulunan düzeltme değerlerini göstermektedir. Önerilen yaklaşım sonucu bulunan düzeltme değerleri (2. sütun) incelenecek olursa +10 cm'lik kaba hata 2. ölçünün düzeltilmesine -0.12 cm olarak ve +15 cm'lik kaba hata da -0.15 cm olarak 5. ölçünün düzeltilmesine yansımıştır. Öte yandan 3. sütunda da görüldüğü gibi EKK yöntemi ile yapılan dengeleme sonucunda kaba hatasız 4. ve 6. ölçüler batma etkisi nedeniyle kaba hatalı 2. ve/veya 5. ölçüden daha büyük düzeltmeler almışlardır.

Tablo 4. Düzeltmeler (m)

Gözlem No	EKK (Kaba hatasız)	EKK (Kaba hatalı)	EKMK-YA (Kaba hatalı)
1	0.0007	0.0049	-0.0026
2	-0.0062	-0.0433	-0.1162
3	0.0036	0.0218	0.0027
4	-0.0085	-0.0490	-0.0027
5	0.0072	0.0519	-0.1519
6	-0.0041	-0.0628	0.0027

5. SONUÇLAR

EKK yöntemi gözlemleri sadece normal dağılımlı rasgele hataların etkilemesi durumunda maksimum olasılık kestirimi, dengelemede kullanılan ağırlık matrisi gözlemlerin varyans-kovaryans matrisinin tersi olarak alınması durumunda da minimum varyans kestirimi olmaktadır. Ayrıca, EKK yönteminin uygulanabilmesi için gözlemlerin dağılımı ile ilgili önsel bir bilgiye ihtiyaç duyulmamaktadır. Bununla birlikte, gözlemlerde kaba hata yapılması durumunda EKK yöntemi ile elde edilen sonuçlar olumsuz

yönde etkilenebilmektedir. Bu nedenle robust yöntemler EKK yönteminin tamamlayıcısı olarak kullanılmaktadır.

Jeodezik ağlarda belirlenemeyen kaba hatalar klasik EKK yöntemi sonuçlarını önemli oranda etkilemektedir. Bu yüzden elde edilen hatalı koordinatlar veya yükseklikler ile deformasyon analizi yapılması durumunda oldukça yanlış kararlar verilebilmektedir. Robust bir parametre kestirim yöntemi olan EKMK yöntemi jeodezik ağlara kaba hatalı gözlemler durumunda daha doğru sonuçlar elde etmek için YA kullanılarak başarılı bir şekilde uygulanabilir. Bu çalışmada önerilen robust EKMK-YA yaklaşımı gerek parametre kestirimi gerekse kaba hata belirleme açısından klasik EKK yöntemine daha başarılı sonuçlar verdiği sayısal uygulama ile gösterilmiştir. Öte yandan, YA'nda parametre seçimi elde edilecek sonuçların kalitesini büyük oranda etkilemektedir. Bununla birlikte bu çalışma kapsamında bu konu ayrıntılı bir şekilde ele alınmamıştır. Bu konu başka çalışmalarda ele alınabilir.

KAYNAKÇA

- Baselga,S. (2007). Global optimization solution of robust estimation. *Journal of Surveying Engineering* **133:3**, 123-128.
- Baselga, S. ve Garcia-Asenjo, L. (2008). Global robust estimation and its application to GPS positioning. *Computers and Mathematics with Applications* **56:3**, 709-714.
- Chawla, M. ve Duhan, M. (2015). Bat algorithm:A survey of the state of the art.Applied Artificial Intelligence **29**:617-634.
- Hekimoğlu, Ş. (2005). Do robust methods identify outliers more reliably than conventional tests for outliers?. *Zfv-Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement* **130:3**, 174-180.
- Kuang, S.L. (1996). Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Concepts and Applications, Ann Arbor Press Inc., Chelsea, MI..
- Rousseeuw,P.J. ve Leroy, A.M. (1987). Robust Regression and Outlier Detection, Wiley, NY.
- Xu, P. (2003). A hybrid global optimization method:The multi-dimensional case. *Journal of Computational and Applied Mathematics* **155**:423-446

- Yang, X.S. (2010). Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms Second Edition, Luniver Press, University of Cambridge, U.K.
- Yetkin, M. ve Berber, M. (2013). Application of the sign-constrained robust least squares method to surveying networks. *Journal of Surveying Engineering* **139:1**, 59-65.
- Yetkin, M. ve Berber, M. (2014). Implementation of robust estimation in GPS networks using the artificial bee colony algorithm. *Earth Science Informatics* **7:1**, 39-46.
- Yetkin, M. (2018). Application of robust estimation in geodesy using the harmony search algorithm. *Journal of Spatial Science* **63:1**, 63-73.

SRTM1 ve ASTER Sayısal Yükseklik Modellerinin Gravimetrik Jeoit Belirlemeye Katkısı

H. Tuğba ARLI İL¹, R. Alpay ABBAK^{*2}, İ. Öztuğ BİLDİRİCİ², Selda DEMİR³

¹Sağlık Bakanlığı, Sağlık Yatırımları Genel Müdürlüğü, Ankara
(arlihtuba@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-7186-3685

²Selçuk Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya
(aabbak@selcuk.edu.tr, bildirici@selcuk.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-6944-5329, 0000-0001-7717-586X

³Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Tokat
(selda.demir@gop.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-3551-3562

Öz

Gravimetrik jeoit modellerinin oluşturulma sürecinde gravite verilerinin yanı sıra topografik yüksekliklere de ihtiyaç vardır. Çünkü jeoit modelleme çalışmalarında topografya etkisi en önemli parametrelerden biridir ve dünyanın fiziksel yüzeyinden toplanan gravite ölçüleri jeoit modellemede doğrudan kullanılamaz. Serbest hava gravite anomalilerinin enterpolasyonu için herhangi bir Sayısal Yükseklik Modelinden (SYM) alınan grid merkezlerinin ortalama yüksekliklerine gereksinim duyulur. Bu çalışmada SRTM1 ve ASTER SYM'lerin bölgesel gravimetrik jeoit modellemedeki performansları değerlendirilmiştir. Öncelikle çalışma sahasına homojen olarak dağılmış nivelman noktalarıyla modellerin doğrulukları bölgesel anlamda araştırılmıştır. Daha sonra, test bölgesinde SYM'ler sırasıyla kullanılarak KTH (İsveç Kraliyet Enstitüsü) yöntemi ile iki farklı gravimetrik jeoit modeli hesaplanmıştır. Karşılaşılan çeşitli sistematik hataları ortadan kaldırmak ve en uygun kombinasyonu elde etmek için gravimetrik ve GPS-nivelman jeoit modellerini düzeltici yüzeye dayalı olarak optimum yüzeyde birleştirilmiş ve jeoit modellerinin doğrulukları analiz edilmiştir. Sonuç olarak her iki jeoit modeli arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Modellerin benzer sonuçları vermesi, her iki SYM'nin doğruluklarının yakın olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Ancak SRTM1 Modelinin olmadığı yerlerde ASTER Modelinin alternatif olarak kullanılabilmesi önerilmektedir.

AnahtarKelimeler: ASTER, Bölgesel Jeoit Belirleme, SRTM1, KTH Metodu

Contribution of SRTM1 and ASTER Digital Elevation Models to Gravimetric Geoid Determination

Abstract

In procedures of gravimetric geoid modeling, the topographic heights are needed as well as gravity data. This is because the terrain effect is one of the most important parameters in gravimetric geoid modeling and gravity surveys collected on physical surface of the Earth are not used directly in geoid modelling. For the interpolation of free-air gravity anomalies, mean heights of grid nodes from any Digital Elevation Model (DEM) are needed. In this study the performances of SRTM1 and ASTER DEMs in regional gravimetric geoid modeling were evaluated individually. Firstly, the accuracies of the models were investigated in regional scale by comparing with leveling data, which are well distributed over test area. Afterwards, the two different gravimetric geoid models were computed with the KTH (Swedish Royal Institute of Technology) method by using the DEMs in sequence. Gravimetric and GPS/leveling geoid models were combined based on a corrector surface to elimination various systematic errors encountered and find optimal combination and the accuracies of the geoid models. As a result, there is no significant difference between the geoid models. It is estimated

* Sorumlu Yazar

that the models give similar results because the accuracy of both models is close. However, ASTER Model can be used as an alternative in places where the SRTM1 Model is not available.

Keywords: *ASTER, SRTM1, KTH Method, Regional Geoid Determination*

1. GİRİŞ

Fiziksel jeodezinin temel amacı yerin gravite alanı ve bu alanın eşpotansiyel yüzeylerinden biri olan jeoidi belirlemektir. Jeoit, her noktasında çekül doğrultusuna dik, ortalama deniz seviyesiyle çakıştığı varsayılan kapalı bir yüzeydir. Fiziksel yeryüzünde meydana gelen değişimlerin özellikle mühendislik uygulamalarında büyük önem taşıyan suyun hareketinin izlenebilmesi ve yükseklik sistemlerinde kullanılacak ideal bir referans yüzeyin oluşturulması, jeoidin tanımlanması ile mümkündür.

Kullanılan verilere göre jeoit modeli 3 farklı yöntemle belirlenir. Bunlar elipsoit ve astronomik koordinatlar arasındaki çekül sapmalarını kullanan astro-jeodezik yöntem, elipsoidal-ortometrik yükseklik farklarını esas alan GPS-nivelman yöntemi ve yersel gravite gözlemleri, Sayısal Yükseklik Modeli ve Global Yerpotansiyel Modelden oluşan bir sentezi kullanan gravimetrik yöntemdir. Gravimetrik yöntem Stokes fonksiyonu yardımıyla ağırlıklandırılmış yüzey gravite verilerinin integrasyonu ile bir noktadaki jeoit yüksekliği değerinin elde edilmesini sağlar (Abbak, 2017).

Yersel ve uzaysal gravite verileri birlikte değerlendirilerek yeryuvarının gerçek şeklini temsil eden bir gravimetrik jeoit modeli oluşturulabilir. Jeoit yüksekliği, çekül sapması ve gravite anomalileri gibi büyüklükler yeryuvarının çekim alanını temsil eden bir Global Yerpotansiyel Model (GGM: Global Geopotential Model) ile hesaplanabilir. Uygulamada bu büyüklükler GGM yardımıyla sınırlı bir doğrulukta elde edilebildiğinden Stokes fonksiyonunun modifikasyonu sayesinde GGM'lerden elde edilen uzun dalga boylu bileşenler ile yersel verilerden elde edilen kısa dalga boylu bileşenler belirli katsayılarla birleştirilerek değerlendirildiğinde yüksek doğruluklu ve çözünürlüklü bir jeoit modeli oluşturulabilir. Gravimetrik jeoit modellerinin oluşturulma sürecinde gravite verilerinin yanı sıra topografik yüksekliklere

de ihtiyaç vardır. Fiziksel yeryüzünden toplanan gravite ölçümleri jeoit modellemede doğrudan kullanılamaz. Gravite ölçümleri, ortalama deniz seviyesine ve enterpole edilmiş grid merkezlerine indirgenmelidirler. Daha sonra serbest hava gravite anomalileri, hesaplama noktasında bir jeoit yüksekliği üreten Stokes fonksiyonunda değerlendirilir. Serbest hava gravite anomalilerinin enterpolasyonu için herhangi bir Sayısal Yükseklik Modelinden (SYM) alınan grid merkezlerinin ortalama yüksekliklerine ihtiyaç vardır. GTOPO30 (Global TOPOgraphy), ACE (Altimetry Corrected Elevations), SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) ve ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) başlıca kullanılan Global sayısal yükseklik modelleridir. Genellikle SYM'lerin çözünürlükleri 1", 3" ve 30" grid aralığında değişmektedir.

Gravimetrik jeoit belirlemeye katkıda bulunan SYM'ler ile ilgili yapılan çalışmalardan 3 tanesi örnek olarak verilebilir. Bunlardan ilki, Merry (1999); Molodensky yaklaşımını kullanarak Afrika'daki yükseklik anomalisini hesaplamada bazı Global ve bölgesel Sayısal Yükseklik Modellerini karşılaştırmaktadır. Ayrıca Kiamehr ve Sjöberg (2005) bazı bölgesel ve Global Sayısal Yükseklik Modellerini hesaba katarak SRTM3 (3 saniye çözünürlüklü) SYM'nin jeoit belirlemeye katkısını incelemektedir. Son olarak Abbak (2014), bir engebeli test bölgesi Auvergne'de (Fransa) ortalama gravite anomalilerinin kestirimi için ASTER ve SRTM3 SYM'lerin karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapmıştır. Şimdiki çalışmanın diğer örneklerden farkı; orta engebeli bir test alanında, 1 saniye çözünürlüklü SYM'leri karşılaştırılarak uygulanmasıdır.

Bu çalışmada, sayısal yükseklik modellerinin bölgesel gravimetrik jeoit modellemedeki performansları değerlendirilmiştir. Bu amaçla Konya Kapalı Havzası test bölgesi (yaklaşık 70 000 km²) olarak seçilmiştir. Global Sayısal Yükseklik Modellerinden, en güncel ve

Global doğruluğu ve çözünürlüğü yüksek (1 sn çözünürlüklü) olan iki tanesi (SRTM1 ve ASTER) test verisi olarak seçilmiştir. Çalışma sahası içinde homojen olarak dağılmış nivelman noktalarıyla modellerin doğrulukları bölgesel anlamda araştırılmıştır. Daha sonra, test bölgesinde SRTM1 ve ASTER Sayısal Yükseklik Modelleri sırasıyla kullanılarak, iki farklı gravimetrik jeoit modeli hesaplanmıştır. Gravimetrik jeoit modelleme işlemlerine, sınırlı sayıda gravite verisi bulunduran dağlık alanlarda başarılı sonuçlar veren KTH (Kungliga Tekniska Högskolan) yöntemi kullanılmıştır (Abbak, 2011). Her yükseklik modelinin jeoit modelleme çalışmalarındaki performansı ayrı ayrı değerlendirilmiş, jeoit modellerinin mutlak doğrulukları GPS-nivelman verileri yardımıyla analiz edilmiştir.

Sonuç olarak test bölgesinde en başarılı Sayısal Yükseklik Modeli belirlenerek, söz konusu Sayısal Yükseklik Modelinin doğruluğunun, gravimetrik jeoit modelinin doğruluğuna ne kadar bir katkısı olduğu irdelenmiştir.

2. YÖNTEM

Bu bölümde sayısal uygulamada kullanılacak KTH tekniği ve düzeltici yüzeyler (corrector surfaces) hakkında teorik bilgiler verilecektir.

2.1. KTH Tekniği

1849 yılında İrlandalı bilim adamı George Gabriel Stokes gravimetrik olarak Global jeoidin hesaplanmasını sağlayan Stokes integralini yayımlamıştır.

Stokes integrali yeryuvarına homojen olarak dağılmış gravite anomalilerinden jeoit yüksekliğinin belirlenebileceğini ifade eder. Stokes formülünün kullanılması, jeoit üzerindeki her nokta için verilen gravite anomalilerinden bir potansiyelin hesaplanmasıyla ilgilidir (Sideris, 1994). Pratikte istenilen yüksek doğruluklu gravite verilerinin sınırlı bir bölgede elde edilmesi çalışma alanını kısıtlamış olacağından bu integralin belirli bir alan için kesilmesini gerekli kılar. Daha sonrasında kesme hatası ile birlikte veri hatalarını da göz önünde bulundurulması gerektiğini ifade eden İsveç Kraliyet Teknoloji Enstitüsü'nden (KTH)

Prof. Lars Erik Sjöberg bu tekniklere alternatif olacak KTH yaklaşımını önermiştir. KTH yöntemi Stokes fonksiyonunun en küçük kareler yöntemi ile modifikasyonu (LSMS: The Least Squares Modification of Stokes Function) olarak da adlandırılır.

LSMS'de düzeltilmiş jeoit ondülasyonu \tilde{N} aşağıdaki formül yardımıyla belirlenebilir.

$$\tilde{N} = \tilde{N} + \delta N_{\text{comb}}^{\text{Top}} + \delta N_{\text{comb}}^{\text{Atm}} + \delta N^{\text{DWC}} + \delta N^{\text{Ell}} \quad (1)$$

Eşitlikte geçen \tilde{N} yaklaşık jeoit ondülasyonu yersel gravite verisi ve GGM'den hesaplanır. $\delta N_{\text{comb}}^{\text{Top}}$ kombine topografik düzeltmeyi, $\delta N_{\text{comb}}^{\text{Atm}}$ kombine atmosferik düzeltmeyi, δN^{DWC} indirgeme düzeltmesini (downward continuation), δN^{Ell} ise elipsoidal düzeltmeyi temsil etmektedir.

En küçük kareler yöntemi ile Stokes fonksiyonun modifikasyonu, yersel gravite verisi ile gravite alanının uzun dalga boylu bileşenlerini belirli katsayılarla birleştirerek kesme hatasını en aza indirmeye çalışan stokastik bir yöntemdir. Stokes fonksiyonu LSMS ile yeniden düzenlenerek aşağıdaki eşitliğe dönüşür.

$$\tilde{N} = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma_0} S^L(\psi) \Delta g d\sigma + \frac{R}{2\gamma} \sum_{n=2}^L b_n \Delta g_n^{\text{GGM}} \quad (2)$$

Burada R yeryuvarının ortalama yarıçapını, γ elipsoit üzerinde normal graviteyi, σ_0 çalışma bölgesini, $d\sigma$ çalışma bölgesinin en küçük yüzey elamanını, Δg gravite anomalisini, b_n KTH modifikasyon parametresini, Δg_n^{GGM} GGM'den türetilen n. derecedeki gravite anomalisi, $S^L(\psi)$ yerel Stokes fonksiyonunu, ψ yermerkezli açıyı, L yerpotansiyel modelin kullanılan en büyük açılım derecesini ($L \leq N_{\text{max}}$) ve aynı zamanda Stokes fonksiyonunun yerel bileşenini temsil eder.

Topografik düzeltme,

$$\delta N_{\text{comb}}^{\text{Top}} = -\frac{2\pi G\rho}{\gamma} \sum_{n=2}^{\infty} H_n^2 \quad (3)$$

eşitliğiyle ifade edilir (Sjöberg, 2007). Burada ρ yer kabuğunun yoğunluğunu, G evrensel çekim sabitini, H grid merkezinin ortalama yüksekliğini temsil etmektedir. Stokes integrasyonu fiziksel yeryüzü ve jeoit arasında topografik kitlelerin bulunmadığı varsayımına dayanır. Bu nedenle oluşan hatayı gidermek

için yeryuvarının dışındaki topografya ortalama bir yoğunluğa göre sonradan hesaba katılır. Topografik düzeltme direkt ve dolaylı etkilerden meydana geldiği için birleşik topografik düzeltme olarak adlandırılır.

Atmosferik düzeltme terimi,

$$\delta N_{\text{comb}}^{\text{Atm}} = -\frac{GR\rho^a}{\gamma} \iint_{\rho^a} S^L(\psi)H_p d\sigma \quad (4)$$

şeklinde hesaplanabilir (Sjöberg, 1999). Burada ρ^a deniz seviyesindeki atmosfer yoğunluğunu, H_p hesap noktasının topografik yüksekliğini gösterir ki bu değer de yine SYM'den türetilen ortalama yüksekliktir. Stokes integrali yeryuvarın dışında atmosferin olmadığını kabul gördüğünden bu eşitlik atmosferik kitlelerin etkisini ortalama bir yoğunluğa göre hesaba katar.

Elipsoidal düzeltme;

$$\delta N^{\text{Ell}} = [(0.0036 - 0.0109\sin^2\varphi)\Delta g + 0.0050\tilde{N}\cos^2\varphi]Q_0^L \quad (5)$$

eşitliği ile hesaplanır (Ellmann ve Sjöberg, 2004). Eşitlikte geçen Q_0^L Molodensky kesme katsayısını, \tilde{N} yaklaşık jeoit ondülasyonunu ve φ hesap noktasının coğrafi enlemini ifade eder. Stokes integrali gravite anomalisinin küre yüzeyinde hesaplandığını kabul ettiğinden, bu eşitlik jeoit yüksekliklerini elipsoit yüzeyine indirgeyerek düzeltme getirir.

İndirgeme düzeltmesi aşağıdaki üç bileşenden oluşur:

$$\delta N^{\text{DWC}} = \delta N_{\text{dwc}}^{(1)} + \delta N_{\text{dwc}}^{\text{L1,Far}} + \delta N_{\text{dwc}}^{\text{L2}} \quad (6)$$

Bu bileşenler,

$$\delta N_{\text{dwc}}^{(1)} = \frac{\Delta g}{\gamma} H_p + 3\frac{\tilde{N}}{r_p} H_p - \frac{1}{2\gamma} \left. \frac{\partial \Delta g}{\partial r} \right|_P H_p^2$$

$$\delta N_{\text{dwc}}^{\text{L1,Far}} = \frac{R}{2\gamma} \sum_{n=2}^M b_n \left[\left(\frac{R}{r_p} \right)^{n+2} - 1 \right] \Delta g_n$$

$$\delta N_{\text{dwc}}^{\text{L2}} = \frac{R}{4\gamma\pi} \iint_{\sigma_0} S^L(\psi) \left(\left. \frac{\partial \Delta g}{\partial r} \right|_P (H_p - H_Q) \right) d\sigma_Q$$

şeklinde sıralanabilir (Sjöberg, 2003). Burada r_p P noktasının küresel yarıçapını ($r_p = R + H_p$), H_p hesap noktasının ortometrik yüksekliğini, H_Q integrasyon

noktasının ortometrik yüksekliğini, b_n modifikasyon parametresini temsil eder. Jeoit modelleme işleminde yersel gravite ölçüleri deniz seviyesine indirgenerek kullanılmaktadır. İndirgeme etkisi jeoit yüksekliğine göre değişen bir yaklaşım olduğundan Stokes integrali gravite anomalisinin yüksekliğe göre doğrusal olarak değiştiği varsayımına sebep olur. Bu varsayımda hata olacağından indirgeme düzeltmesi yapılır.

Yukarıdaki eşitliklerden anlaşılacağı üzere, topografik, atmosferik ve indirgeme düzeltmeleri grid merkezlerinin ortalama yüksekliğiyle doğrudan ilişkilidir.

2.2. Düzeltici Yüzeyler

Jeodezik literatürde iki farklı yükseklik bilgisi; datum kayıklığı, uzun dalga boylu bileşenler gibi sistematik hatalar nedeniyle doğrudan karşılaştırılmamaktadır. Farklı yükseklik verisi türleri arasındaki sistematik hataları gidermek için bir düzeltici yüzeyden yararlanır. Bu yöntemle göre her iki yüzey (gravimetrik jeoit ile GPS-nivelman jeoidi) arasında düzeltici bir yüzey belirlenir. Böyle bir karşılaştırma geleneksel olarak aşağıdaki eşitliğe dayanmaktadır.

$$\Delta N = N_{\text{Gravimetrik}} - N_{\text{Geometrik}} = \mathbf{a}^T \mathbf{x} + \varepsilon$$

Burada \mathbf{a} katsayılar matrisi, \mathbf{x} bilinmeyen parametreler vektörü, ε rastgele hata terimidir. Bu parametrik modelin gravimetrik ve GPS-nivelman jeoitleri arasındaki sistematik hataları doğal olarak ortadan kaldırıldığı varsayılır. Bu tür karşılaştırmalarda yaygın olarak dört, beş ve yedi parametrelilik benzerlik dönüşümleri önerilmektedir. Bu çalışmada kullanılan 7 parametrelilik benzerlik dönüşümü aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\mathbf{a} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_i \cos\lambda_i \\ \cos\varphi_i \sin\lambda_i \\ \sin\varphi_i \\ \cos\varphi_i \sin\varphi_i \cos\lambda_i / W_i \\ \cos\varphi_i \sin\varphi_i \sin\lambda_i / W_i \\ \sin^2\varphi_i / W_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

φ_i ve λ_i , i 'nci kontrol noktasının coğrafi (jeodezik) koordinatlarıdır. W_i katsayısı,

$$W_i = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi_i} \quad (8)$$

eşitliğiyle ifade edilmektedir. Burada e referans elipsoidinin birinci dışmerkezliğini göstermektedir.

GPS noktalarında hesaplanan a katsayılar vektörü bir araya getirilerek A katsayılar matrisine dönüştürülür. Daha sonra 7 parametrelilik benzerlik dönüşüm modeli En Küçük Kareler yaklaşımıyla;

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{l} \quad (9)$$

bilinmeyenler hesaplanır. Buradaki \mathbf{l} ölçü vektörü gravimetrik ve geometrik jeoit yükseklikleri arasındaki fark matrisidir. Ölçülere eklenecek düzeltme değerleri vektörü;

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{l} \quad (10)$$

ve bu değerlerden hesaplanan birim ağırlıklı ölçünün standart sapması;

$$m_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{v}}{n-u}} \quad (11)$$

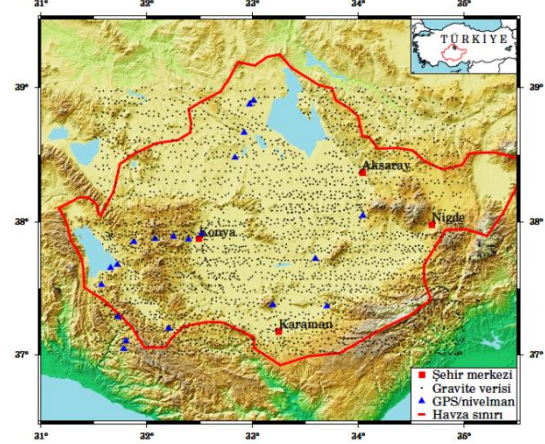
eşitlikleriyle gösterilmektedir. Eşitlikteki n GPS-nivelman nokta sayısını, u ise bilinmeyen sayısını ifade etmektedir. Parametrik model ε karelerinin toplamını en aza indiren En Küçük Kareler yöntemi ile çözülmüştür. Son değerlendirme modelin kesin hatası değildir, çünkü karesel ortalama hata; nivelman, GPS ve enterpolasyondan kaynaklanan hataları da içermektedir.

2.3. Veri Toplama

Bu bölümde sayısal uygulamada kullanılacak veriler hakkında bilgiler verilecektir.

2.3.1. Çalışma sahası

Konya, Karaman, Aksaray ve Niğde illeri dahil olmak üzere Konya Kapalı Havzasını kaplayan bölge uygulama sahası seçilmiştir. Çalışma sahası $37^\circ \leq \phi \leq 39^\circ$ kuzey paralelleri, $31.5^\circ \leq \lambda \leq 35.0^\circ$ doğu meridyenleri arasında kalan yaklaşık 70 000 km² yüzölçümlü bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Proje sahasının topografik durumu ve verilerin dağılımı (Abbak, 2011)

Bölgenin ortalama yüksekliği 1 250 m iken, söz konusu yükseklikler Göksu vadisinde 700 metreden, Toros Dağları'nda yaklaşık 3 500 metreye kadar çıkmaktadır.

2.3.2. Kontrol verileri

Bu çalışmada kullanılacak kontrol verileri, Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı 1999 (TUDKA99) birinci derece nivelman ağından temin edilen ve ortometrik yükseklikleri bilinen toplam 24 adet GPS-nivelman noktalarıdır. Düşey datum Antalya Mareograf İstasyonuna göre belirlenmiştir. Çalışma sahasında bulunan elipsoidal yüksekliklerin ve ortometrik yüksekliklerin doğruluğu (Antalya mareograf istasyonuna olan uzaklığına bağlı olarak) 1-3 cm arasında değişmektedir.

2.3.3. Gravite verileri

Yersel gravite gözlemleri ile bozucu gravite alanına ilişkin temel büyüklük olan gravite anomalileri hesaplanır. Bu çalışmada Türkiye yersel gravite veri kütüğünden sorumlu Harita Genel Komutanlığından, Abbak (2011) tarafından gerçekleştirilen proje kapsamında satın alınan 3073 adet gravite gözlemleri kullanılmaktadır. Şekil 1'de çalışma sahasındaki gravite gözlemlerine ilişkin noktaların coğrafi dağılımı gösterilmiştir. Her nokta için gravite bilgisi sırasıyla, gravite noktasının enlemi, boylamı, ortometrik yüksekliği (Antalya mareograf istasyonundaki ortalama deniz seviyesinden) ve gravite değeridir. Coğrafi koordinatlar World

Geodetic System 1984 (WGS84), gravite değerleri ise International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71) datumundadır.

2.3.4. Sayısal yükseklik modelleri

Sayısal Yükseklik Modelleri seçilirken modelin güncelliği, doğruluğu ve çözünürlüğü dikkate alınmıştır. Bu nedenle Global doğruluğu yüksek ve çözünürlüğü 1 saniye aralıklı en güncel Global Sayısal Yükseklik Modellerden olan SRTM1 ve ASTER Modelleri test verisi olarak seçilmiştir. Sayısal Yükseklik Modelleri internette kullanıcılara ücretsiz sunulmaktadır. Global düşey doğruluğu 7—14 m aralığında bulunan ASTER Modeli ile Global düşey doğruluğu ± 16 m olan SRTM1 Modeli web adreslerinden indirilmiştir (ASTER, 2018; SRTM, 2018). Her iki modelde yatay datum olarak WGS84 ve düşey datum olarak EGM96 (Earth Gravitational Model 1996) jeodini referans alır.

2.3.5. Seçilen global yerpotansiyel model

GGM'ler yeryuvarının gravite potansiyelini küresel harmonik seriler yardımıyla temsil eder. Üretilen her model kendinden önceki modelden daha fazla ölçü ve yeni ölçme teknolojisi içerdiğinden son yayınlananlar çalışmalarda tercih edilmektedir. Uluslararası Yer Modelleri Merkezi (ICGEM: International Centre for Global Earth Models) resmi sitesinde bu modeller yayınlanmaktadır (ICGEM, 2018). Her modelin standart sapmaları ve küresel harmonik katsayıları internetten ücretsiz olarak indirilebilir. Bu çalışmada; daha önce aynı proje sahasında GGM'lerle yapılan bölgesel analize göre en yüksek doğruluklu sonuç veren ITU_GGC16 (Akyılmaz ve ark. 2016) Modeli kullanılmıştır (Demir ve Abbak, 2017). ITU_GGC16, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'ndan (TÜBİTAK) 113Y155 no'lu araştırma desteği ile uluslararası işbirlikçi olarak İTÜ ve OSU tarafından çeşitli ulusal kurumların işbirliğiyle, ITU_GRACE16 (d/o 180'e kadar) ve GO_CONS_GCF_2_TIM_R5 (d/o 280'e kadar) kombinasyonundan 280 dereceye kadar hesaplanan statik bir global

yer potansiyel modeldir (ITU_GGC16, 2018).

3. UYGULAMA

Bu uygulamada öncelikle bölgesel ölçekte Sayısal Yükseklik Modellerinin dış doğruluk analizleri gerçekleştirilecektir. Bu sonuçlardan yola çıkarak, belirtilen Sayısal Yükseklik Modellerinin bölgesel doğrulukları ortaya konacaktır. Bu kapsamda ele alınan Sayısal Yükseklik Modelleri Konya Kapalı Havzası ölçeğinde bölgesel gravimetrik jeoit modellerin hesaplanmasında yardımcı girdi parametresi olarak kullanılacaktır. Her bir bölgesel gravimetrik jeoit modelinin doğruluğu GPS-nivelman verileriyle mutlak anlamda değerlendirilecektir. Sonuçta SYM'lerin doğruluğunun hesaplanan bölgesel gravimetrik jeoit modelinin doğruluğuna yaptığı katkılar sayısal anlamda ortaya konulacaktır.

3.1. SYM'lerin Karşılaştırılması

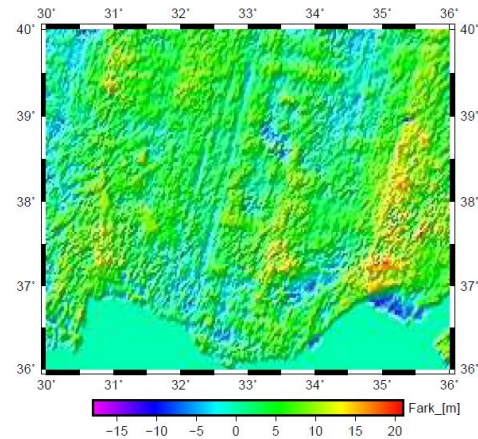
Global SYM'lerin bölgesel doğruluklarının değerlendirilmesi amacıyla çalışma sahası içindeki 3073 noktaya ait ASTER ve SRTM1 Modellerinin topografik yükseklik değerleri Thin Plate Spline enterpolasyonu ile elde edilmiştir. Bu işlem üçüncü yazar tarafından C dilinde geliştirilen bir yazılım ile yapılmıştır. Her model için hesaplanan yükseklikler GPS-nivelman yükseklikleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, uyumsuz ölçüler (güven aralığına göre jeodezik çalışmalarda genellikle modelin standart sapmasının 3 katı hata sınırı olarak kabul edildiğinden) 3-sigma kuralı ile elenmiştir. Elemeler sonucunda geriye kalan 2992 nokta ile SRTM1 Modeli için ve 2993 nokta ile ASTER Modeli için değerlendirmeler yapılmıştır. Diğer yandan karşılaştırma işleminde ($H_{\text{nivelman}} - H_{\text{SYM}}$), sayısal değerler doğrudan karşılaştırılmayıp, yükseklik sistemleri arasındaki datum tutarsızlıkları ve uzun dalga boylu bileşenler vb. hataların olabileceği göz önünde bulundurularak 7 parametrelilik benzerlik dönüşümü (düzeltici yüzey) uygulanmıştır. Dönüşüm sonucunda her bir model için yükseklik farkları arasındaki minimum, maksimum, ortalama ve karesel ortalama hata

değerleri (KOH) hesaplanarak SYM'lerin bölgesel doğrulukları ortaya konmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Nivelman verileriyle SYM'lerin doğruluk testi [m]

Yükseklik Modeli	Nokta Sayısı	Min.	Max.	Ort.	KOH
SRTM1	3073	-50.46	47.43	0.00	11.64
ASTER	3073	-52.77	50.47	0.01	12.80

Bu istatistiksel sonuçlara göre SRTM1 Modelinin, ASTER Modeline göre 1.10 kat daha yüksek doğruluklu olduğu görülmektedir. Teorik olarak ASTER'in SRTM1'in doğruluğundan yüksek olmasına karşın bölgesel anlamda tam tersi bir sonuç çıkmasının, çalışma sahasının topografyası ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra ASTER Modelinin dağlık bir topografyada daha iyi sonuç verdiği her iki modelin Türkiye genelinde değerlendirildiği bir makalede (Bildirici ve Abbak, 2017) bildirilmekte olup, aynı makalede genel istatistikler göz önüne alındığında yine SRTM1 Modelinin ASTER Modeline göre daha yüksek doğruluklu sonuçlar verdiği belirtilmektedir. Çalışma sahasının topografyası düşünüldüğünde %60'ının düzlüklerden oluşması, dağlık alanlarda ASTER Modeline göre iyi sonuçlar elde edemeyen SRTM1 Modeli için bir avantaj olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca ASTER SYM'nin, SRTM SYM'nin görüş kapsamına girmeyen (60° kuzey ve 56° güney enlemleri dışında kalan bölgeler) dik dağlık bölgeleri de (83° kuzey ve güney enlemleri arasındaki bölge) kapsadığı unutulmamalıdır. Diğer yandan SYM'ler arasındaki yükseklik farkları Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. SYM'ler arasındaki yükseklik farkları [m]

Şekil 2'de SYM'ler arasındaki yükseklik farkları %90 olasılıkla ± 10 metre arasında değişmektedir. Bu fark dağlık kesimlerde 20 metreye kadar çıkmaktadır.

3.2. Gravite Anomalileri

Jeoit belirleme amacı doğrultusunda gravitesi ölçülen noktanın yüksekliği yerin gravite alanı belirlenirken göz önünde bulundurulmalıdır. Bu amaçla jeoit belirlerken jeoit seviyesine indirgenmiş anomaliler kullanılmalıdır. İndirgeme işlemi, gravite verilerindeki topografik bileşenlerin matematiksel olarak ortadan kaldırılmasıdır. Jeoit modellemede, boşlukta gravite anomalisi kullanılmasına karşın, Bouguer anomalileri gridleme işlemindeki enterpolasyon sürecinde temel veridir.

Boşlukta gravite anomalisi fiziksel yeryüzünde ölçülen gravite değeri ile elipsoit üzerindeki normal gravite değerinin arasındaki farktır. Buna göre boşlukta gravite anomalisi;

$$\Delta g_{FA} = g_P - \gamma_Q \quad (12)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Ancak boşlukta gravite anomalisi ile düşünsel olarak jeoit yüzeyine sıkıştırılan kitleler gerçekte topografya ile yüksek korelasyonludur. Bu durum gridlenme aşamasında karşımıza büyük bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Yerel kitlelerden kaynaklanan bağımlılığı gidermek için topografik etki basit bir yaklaşımla sabit yoğunluklu kabul edilerek basit Bouguer

gravite anomalilerine dönüştürülür. Basit Bouguer indirgemesi;

$$\Delta g_{SB} = \Delta g_{FA} - 2\pi G\rho H \quad (13)$$

eşitliğiyle gösterilir. Burada ρ Bouguer plakasının yoğunluğunu, H ise yersel gravite gözleminin yapıldığı yerin ortometrik yüksekliğini temsil eder. Dağınık halde bulunan Bouguer anomalileri Bjerhammar kuralına (Bjerhammar, 1973) uygun olarak en yakın komşuluk enterpolasyon ile grid merkezlerine taşınmıştır. Gridleme işlemi yapıldıktan sonra jeoit modellemede kullanılacak olan boşlukta gravite anomalilerine geçiş yapmak için Bouguer anomalilerine, gridlerin Bouguer plakası etkisi geri eklenmelidir.

$$\Delta g_{FA} = \Delta g_{SB} + 2\pi G\rho H \quad (14)$$

SYM'lerden üretilen yüksekliklerin ortalamaları alınarak grid merkezlerinde $0.02^\circ \times 0.02^\circ$ çözünürlüğünde ortalama grid yükseklikleri belirlenmiştir. Böylece türetilen yüksekliklerden yararlanılarak Bouguer katmanının etkisi, Bouguer anomalilerine eklenerek grid merkezlerinde boşlukta gravite anomalileri elde edilmiştir (Abbak vd. 2012).

Bu işlemler her bir SYM kullanılarak ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Yüksek doğruluklu ve çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modelinin bir etkisi de bu kısımda belli olacaktır. Çünkü gridleme işlemi sürecinde kullanılan SYM yükseklikleri gravite anomalisinin doğruluğunu doğrudan etkileyeceğinden yaklaşık jeoit ondülasyonunun da doğruluğuna etki yapacaktır.

Bunun yanı sıra Stokes modifikasyonu çalışma sahasını çevreleyen yakın bölgede de gravite verilerine ihtiyaç duyar. Ancak uygulamalardaki zorluklar ve ekonomik nedenlerle çalışma sahasının dışındaki alanlarda yersel gravite verileri elde edilememektedir. Verilerin olduğu alanın 0.5° lik dışındaki tampon bölgede yer alan veya enterpolasyonda hesaplanamayan gravite anomalileri EGM2008 (Earth Gravitational Model 2008) Modelinden türetilmiştir. EGM2008 Modeli, doğruluğu ve maksimum açınım derecesi yüksek olduğundan bu çalışmada tercih edilmiştir.

3.3. Jeoit Modellerinin Değerlendirilmesi

Yersel gravite anomalileri, GGM'den türetilen uzun dalga boyulu bileşenler ve düzeltmeler KTH yaklaşımı ile LSMSSOFT (Abbak ve Üstün, 2015) programında değerlendirilerek her Sayısal Yükseklik Modeli için bölgesel gravimetrik jeoit oluşturulmuştur. Kesin ondülasyon değerine ulaşmak için yaklaşık ondülasyonlara getirilen düzeltmelerden topografik, atmosferik ve indirgeme düzeltmelerinin hesabındaki yükseklik değerleri SYM'lerden alınmıştır.

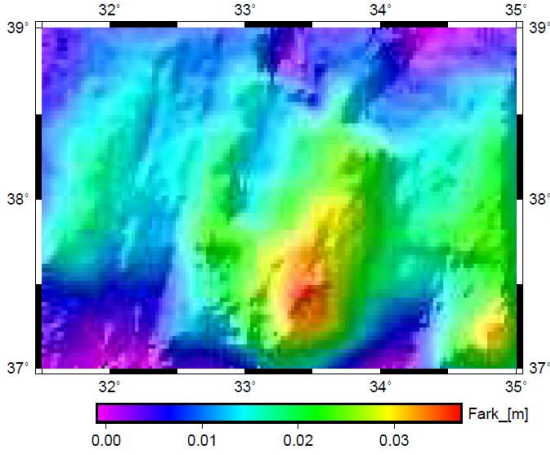
GPS-nivelman verileri yardımıyla hesaplanan bölgesel gravimetrik jeoit modellerinin dış doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir. İki model (Gravimetrik ve Geometrik Model) arasındaki olası datum kayıklıkları ve trend nedenleriyle 7 parametrelilik benzerlik dönüşümü kullanılarak karşılaştırılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Jeoit modellerin karşılaştırılması [cm]

Jeoit Modeli	Min.	Max.	Ort.	KOH
Jeoit SRTM1	-11.59	18.00	0.06	6.87
Jeoit ASTER	-11.37	17.56	0.17	6.81

Tablo 2 incelendiğinde her iki modelin de yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Her iki jeoit modelin en küçük ve en büyük değerler arasındaki fark aralığı hemen hemen aynıdır dolayısıyla bu sonucun modellerin karesel ortalama hatalarına da yansıdığı söylenebilir. Sonuç olarak SRTM1 Modelinin bölgesel jeoit modeline katkısının ASTER Modeli kadar olduğu anlaşılmaktadır.

ASTER ve SRTM1 Modeli kullanılarak oluşturulan gravimetrik jeoit modellerindeki farklar Şekil 3'de gösterilmektedir. Şekil 3'e göre iki jeoit modeli arasında anlamlı bir jeoit yükseklik farkı olmadığı görülmektedir.



Şekil 3. Bölgesel gravimetrik jeoit modelleri arasındaki fark

4. SONUÇLAR

Bu çalışmanın temel amacı, yer bilimleri, doğal kaynakların yönetimi, mühendislik projeleri, askeri uygulamalar, üç boyutlu görselleştirme gibi birçok uygulama alanında kullanılmakta olan Global Sayısal Yükseklik Modellerinin doğruluğunun bölgesel gravimetrik jeoit modelinin doğruluğuna yaptığı katkıyı incelemektir. Her bir gravimetrik jeoit modelinin doğruluğu GPS-nivelman verileriyle mutlak anlamda değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra, SRTM1 ve ASTER Modelleri yine aynı sınırlar içerisinde karşılaştırılmış ve yüksekliklerin birbirlerine göre değerlendirilmesi yapılmıştır.

Öncelikle, uygulama sahası içerisinde SRTM1 ve ASTER Global Sayısal Yükseklik Modellerinin dış doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel sonuçlara göre; ASTER Modelinin karesel ortalama hatası ± 12.80 m, SRTM1 Modelinin karesel ortalama hatası ise ± 11.64 m olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre SRTM1 Modelinin ASTER Modeline göre 1.10 kat daha yüksek olduğu görülmektedir. Dış doğruluk analizinden SRTM1 ve ASTER Modelleri için elde edilen bölgesel doğrulukların, modellerin Global doğruluğundan daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Daha sonra, gravite değerleri doğrudan gravimetrik jeoit modellemede kullanılmadığından Stokes fonksiyonunda uygun şekilde boşlukta gravite anomalilerine

indirgenmiştir. Bununla birlikte modelleme süreci gravite anomalilerinin eşit aralıklı olmasını zorunlu kıldığından enterpolasyon ile gridleme işlemi yapılması gerekmektedir. Ancak boşlukta gravite anomalileri topografya ile yüksek duyarlı olduğundan enterpolasyon sürecinde, daha yumuşak bir yüzeyi temsil eden Bouguer anomalilerine indirgenmiştir. Bu süreçte grid merkezindeki ortalama yükseklikler SYM ile belirlenerek tekrar boşlukta gravite anomalilerine dönüştürülmüştür. Modellemeye uygun hale getirilen yersel veriler ile GGM'den elde edilen uzak dalga boylu bileşenler Konya Kapalı Havzası ölçeğinde stokastik KTH yaklaşımıyla bir araya getirilip hesaplanarak bölgesel ölçekte iki farklı gravimetrik jeoit belirlenmiştir.

Bölgesel gravimetrik jeoit modelleri karşılaştırıldığında, ASTER Modeli ile elde edilen gravimetrik modelin doğruluğunun ± 6.81 cm, SRTM1 Modeli ile elde edilen gravimetrik modelin doğruluğunun ise ± 6.87 cm olarak hesaplanmıştır. İstatistiksel sonuçlara göre her iki jeoit modeli arasında anlamlı bir fark olmadığı, her iki SYM'ninde neredeyse aynı sonuçlar verdiği görülmektedir. Modellerin benzer sonuçları vermesi, her iki modelin bölgesel doğruluklarının yakın, çözünürlüklerinin ise aynı olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Ancak SRTM1 Modelinin olmadığı yerlerde (60° kuzey ve 50° güney enlemleri dışında kalan alan) ASTER Modeli (83° kuzey ve 83° güney enlemleri arasında kalan alan) alternatif olarak kullanılabilir. Bunun yanı sıra söz konusu modellerin bölgesel jeoitlerin yüksek doğrulukla hesaplanmasında yeterli olduğunu göstermiştir.

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 geodeatica et geofisica*,49:491–502.
- Abbak, R. A., 2017, Fiziksel Jeodezi: Teori ve Uygulama, Atlas Akademi, Konya.
- Abbak, R. A., 2011, Global Yerpotansiyel Modellerinin Spektral Yöntemlerle Değerlendirilmesi ve Jeoit Belirleme İçin Yerel Olarak İyileştirilmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

- Abbak, R. A. and Ustun, A. 2015, A software package for computing a regional gravimetric geoid Model by the KTH method. *Earth Science Informatics*, 8(1):255–265.
- Abbak, R. A., Üstün, A., Ellmann, A., 2012, Ortalama gravite anomalilerinin enterpolasyon basit ve tamamlanmış bouguer yaklaşımının karşılaştırılması, jeodezi ve jeoinformasyon dergisi, Cilt: 1, Sayı: 1, 45-52.
- Akyılmaz, O., Ustun, A., Aydın, C.; Arslan, N., Doganalp, S., Guney, C., Mercan, H., Uygur, S.O., Uz, M., Yagci, O. 2016, ITU_GGC16 The combined Global gravity field Model including GRACE & GOCE data up to degree and order 280. GFZ Data Services. <http://doi.org/10.5880/icgem.2016.005>
Erişim tarihi: 28.02.2018.
- ASTER (2018) The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp> Erişim tarihi: 28.02.2018.
- Bildirici, İ. Ö., Abbak, R.A. (2017) Comparison of ASTER and SRTM digital elevation models at one-arc-second resolution over Turkey, *Selcuk University Journal of Engineering Science and Technology*, 5/1,16-25.
- Bjerhammar, A. (1973) *Theory of errors and generalized matrix inverses*. Elsevier, Amsterdam.
- Demir, S., Abbak R. A., 2017, Regional Analysis of Recent Global Geopotential Models: A Case Study In Turkey, 17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM, Bulgaria.
- Ellmann, A. ve Sjöberg, LE. 2004, Ellipsoidal correction for the modified Stokes' formula. *Boll Geod Sci Aff* 63:3.
- ICGEM, 2018, International Centre for Global Earth Models, Erişim tarihi: 28.02.2018.
- ITU_GGC16,2018,http://www.geo.itu.edu.tr/gravity/ITU_GGC16.html. Erişim Tarihi: 28.02.2018
- Kiamehr, R. ve Sjöberg L. E. 2005, Effect of the SRTM Global DEM on the determination of a high-resolution geoid Model: a case study in Iran, *Journal of Geodesy*, 79: 540–551.
- Merry, CL. 1999, DEM-induced errors in developing a quasi-geoid Model for Africa. *Journal of Geodesy*, 77, pp: 537–542.
- Sideris, M. G. 1994, Geoid determination by FFT Techniques, International School for the determination and use of Geoid, Milan, İtalya.
- Sjöberg, LE. 1999, The IAG approach to the atmospheric geoid correction in Stokes' formula and a new strategy. *Journal of Geodesy* 73:362–366.
- Sjöberg, LE. 2003, A solution to the downward continuation effect on the geoid determination by Stokes' Formula. *Journal of Geodesy*, 77:94–100.
- Sjöberg, LE. 2007, The topographic bias by analytical continuation in physical geodesy. *Journal of Geodesy*, 87:345–350.
- SRTM (2018) Shuttle Radar Topography Mission. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm> Erişim tarihi: 28.02.2018.

Global Yerpotansiyel Modellerin Gravimetrik Jeoit Belirlemeye Katkısı

Selda DEMİR¹, R. Alpay ABBAK^{2*}, H. Tuğba ARLI İL³

¹Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat Teknik Bilimler MYO, Tokat
(selda.demir@gop.edu.tr) ORCID ID0000-0003-3551-3562

²Selçuk Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya
(aabbak@selcuk.edu.tr) ORCID ID0000-0002-6944-5329

³T.C. Sağlık Bakanlığı, Sağlık Yatırımları Genel Müdürlüğü, Ankara
(arlihtuba@gmail.com) ORCID ID0000-0002-7186-3685

Öz

Gravimetrik jeoit belirlemede global yerpotansiyel modellerinden, sayısal yükseklik modellerinden ve yersel gravite gözlemlerinden yararlanır. Yeryuvarının tümüne homojen olarak yayılmış gravite gözlemlerinin değerlendirilmesiyle global yerpotansiyel modeller üretilir. Global yerpotansiyel modellerin doğruluğu, bu modeller kullanılarak oluşturulacak çalışmaların başarısını doğrudan etkileyecektir. Bu uygulamada yakın tarihlerde CHAMP, GRACE ve GOCE uydu verileri yardımıyla oluşturulan yeni nesil global yerpotansiyel modellerinden türetilen jeoit ondülasyonları, GPS/Nivelman verilerinden elde edilen eşlenikleri ile karşılaştırılıp seçilen güncel global yerpotansiyel modellerinin doğrulukları bölgesel olarak değerlendirilmiştir. Ele alınan yeni nesil global yerpotansiyel modeller kullanılarak KTH tekniği ile Konya Kapalı Havzasında 12 adet gravimetrik jeoit modeli oluşturulmuş ve oluşturulan her bir model 7 parametrelilik benzerlik dönüşümü yardımıyla GPS/Nivelman verileri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yeni nesil global yerpotansiyel modelinin doğruluğunun hesaplanan gravimetrik jeoit modelinin doğruluğuna yaptığı katkılar sayısal anlamda ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gravimetrik jeoit belirleme, global yerpotansiyel modeller, Konya Havzası, KTH tekniği,

Contribution of Global Geopotential Models to Gravimetric Geoid Determination

Abstract

Global geopotential models, digital elevation models and local gravity observations are utilized in the gravimetric geoid determination. By assessing gravitational observations homogeneously distributed throughout the earth, global geopotential models are produced. The validity of the global geopotential models will directly affect the success of the studies to be done through these models. In this study, geoid undulations derived from the new generation global geopotential models yielded by the data of CHAMP, GRACE and GOCE satellites in recent years are compared with the equivalents obtained from GPS/leveling data and the validity of selected current global geopotential models are evaluated regionally. Twelve gravimetric geoid models have been created in Konya Closed Basin through KTH technique by using the new generation global geopotential model, and using GPS/Leveling data through 7-parameter similarity transformation compared each geoid model. As a result, the contributions of the new generation global geopotential model to the accuracy of gravimetric geoid model are presented numerically.

Keywords: Gravimetric geoid determination, global geopotential models, Konya Basin, KTH technique

* Sorumlu yazar

1. GİRİŞ

Jeoit, ortalama deniz düzeyiyle çakışan, her noktasında çekül doğrultusuna dik olan kapalı bir yüzeydir. Yer bilimleri açısından jeoidi belirlemek oldukça önemlidir. Çünkü yeryüzündeki noktaların ortometrik yüksekliği referans kabul edilen jeoitten itibaren ölçülür. Yani yükseklik ve derinlik kavramları jeoit ile tanımlıdır.

Jeoit belirleme yöntemleri kullanılan veri gruplarına göre gravimetrik, astro-jeodezik ve geometrik olmak üzere üç sınıfta ele alınır (Abbak, 2017). Gravimetrik yöntemde yersel ve uzaysal gravite verileri analiz edilerek jeoit belirlenir. Yeryuvarının gravite alanı bilgisini elde etmek için farklı ölçme yöntemleri ve çözüm teknikleri geliştirilmiştir. Yeryüzünün gravite alanı global olarak uydular yardımıyla (CHAMP, GRACE, GOCE), bölgesel olarak uçaktan, denizden gravite ölçüleriyle ve yersel gravite ölçüleriyle belirlenir. Yeryuvarının tümüne homojen olarak yayılmış gravite gözlemlerinin değerlendirilmesiyle global yerpotansiyel modeller üretilir. Literatüre bakıldığında 160'den fazla global yerpotansiyel modelin olduğu görülmektedir (ICGEM, 2018).

Bu çalışmada bölgesel gravimetrik jeoit belirlemek için KTH (Kungliga Tekniska Högskolan) tekniği kullanılmıştır. KTH tekniğinden yararlanarak jeoit belirlemek için global yerpotansiyel modeli, yersel gravite verileri ve sayısal yükseklik modeli olmak üzere 3 çeşit veriye ihtiyaç vardır. Bundan dolayı bu çalışmada; CHAMP, GRACE ve GOCE uydularından elde edilen global yerpotansiyel modellerinden en az ikişer adet güncel model seçilmiştir. Çalışmada değerlendirilecek yersel gravite gözlemleri Abbak (2011) tarafından gerçekleştirilen proje kapsamında Harita Genel Komutanlığı'ndan elde edilmiştir. Konya Kapalı Havzasında oluşturulacak bölgesel jeoit için toplamda 3073 gravite noktası mevcuttur. Sayısal yükseklik modeli olarak ise SRTM (SRTM, 2018) seçilmiştir. Seçilen yeni nesil global yerpotansiyel modellerin bölgesel analizinde ve oluşturulan bölgesel jeoit modellerinin bölgesel doğruluklarını incelemek amacıyla proje alanında ortometrik yükseklikleri de bilinen toplam 24 adet GPS/Nivelman noktası kullanılmıştır.

Bölgesel jeoit belirleme işlemine başlamadan önce ilk aşamada seçilen global yerpotansiyel modeller Konya Kapalı Havzasında bulunan GPS/Nivelman verileri yardımıyla bölgesel doğrulukları incelenmiştir. Böylelikle global olarak gravite alanı belirleme amaçlı kullanılan yakın yer uydularının gelişmelerini gözlemek ve başarı oranını belirlemek amaçlanmıştır. Seçilen global yerpotansiyel modellerinden türetilen jeoit ondülasyonları, GPS/Nivelman verilerinden elde edilen eşlenikleri ile 7 parametrelilik benzerlik dönüşümü kullanılarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmaya göre GOCE ve GRACE uydu verilerinin birlikte değerlendirilmesi ile oluşturulan ITU_GGC16 (Akyılmaz vd 2016) modeli en başarılı model olarak belirlenmiştir. Sadece GOCE uydu verileri ile elde edilen modellerin başarılı sayılabileceği ancak GRACE uydu verilerinin de çözüme dahil edilmesiyle azda olsa modellerin doğruluğunun artırılabilirdiği görülmüştür.

İkinci aşamada ise seçilen herbir global yerpotansiyel modeli kullanarak KTH tekniği ile Konya Kapalı Havzası'nda toplam 12 adet bölgesel gravimetrik jeoit modeli oluşturulmuştur. Seçilen global yerpotansiyel modelinin doğruluğunun hesaplanan gravimetrik jeoit modelinin doğruluğuna yaptığı katkıları belirlemek amacıyla yine GPS/Nivelman verileri yardımıyla 7 parametrelilik benzerlik dönüşümü kullanılarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmaya göre jeoit yüzeyi belirlerken doğruluğu değiştiren ve etkileyen asıl faktörün yersel gravite verilerinin kalitesi olduğu gösterilmiştir.

Literatüre bakıldığında global yerpotansiyel modellerin gravimetrik jeoit belirlemeye etkisini inceleyen çalışmalardan bazıları; Kiamehr (2006), Ulotu (2009), Erol ve diğ. (2009), Abbak (2011), Al-Krargy ve diğ. (2015), Doğanalp (2016)'dır. Yapılan bu çalışmalarda gravimetrik jeoit oluşturma ve global yerpotansiyel modellerin gravimetrik jeoit belirlemeye katkısı hakkında detaylı bilgiler elde edilmiştir. Bu çalışmada ise IfE_GOCE05s (Wu vd. 2017), Tongji-Grace02s (Chen vd 2016), ITU_GGC16 (Akyılmaz vd 2016) gibi sadece yakın yer uydu verilerinden hesaplanan en güncel 12 adet yerpotansiyel modelin bölgesel doğrulukları mutlak anlamda incelenmiştir. Sonrasında her bir model bölgesel jeoit

modellerinin hesaplanmasında referans model olarak kullanılarak güncel yerpotansiyel modellerin bölgesel jeoide etkisi ortaya konulmuştur.

2. YÖNTEM

2.1. Mutlak Değerlendirme

Global konumlama sistemi GPS ile duyarlı bir şekilde üç boyutlu konum belirlenmektedir. GPS ile elde edilen veriler yermerkezli bir koordinat sisteminde coğrafi enlem (φ), coğrafi boylam (λ) ve elipsoidal yükseklikler (h) olarak hesaplanır. Elipsoidal yükseklikler gerçek yükseklikleri yani ortalama deniz seviyesinden olan yükseklikleri temsil etmezler.

Ortometrik yükseklik H , noktanın bulunduğu fiziksel yeryüzünden jeoide kadar çekül eğrisi boyunca olan uzunluğudur. Deniz noktasının sıfır olarak kabul edildiği bir noktadan başlayıp, geometrik nivelman ile ortometrik yükseklikler bulunur. Bu iki yükseklik arasındaki farkı jeoit ondülasyonu olarak bilinir ve,

$$N_{\text{Geometrik}} \approx h - H \quad (1)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

Gravimetrik yöntemle belirlenen değerler ile GPS/Nivelman yöntemi ile bulunan değerler birlikte değerlendirilebilir (Erol vd 2008). Böylelikle gravimetrik jeoidin barındırdığı sistemik hatalar giderilir. Bu işlem yapılırken GPS ile elde edilen konumlardaki $N_{\text{Geometrik}}$ değerleri enterpolasyon ile Gravimetrik jeoitte bulunan $N_{\text{Gravimetrik}}$ konumlarına taşınmalıdır. Sonuç olarak aynı konumda $N_{\text{Geometrik}}$ ve $N_{\text{Gravimetrik}}$ değerleri elde edilir. İki değer de birbirinden farklı datumlara sahip ise doğrudan karşılaştırma yapılamaz. Ortalama bir fark;

$$\Delta N = N_{\text{Gravimetrik}} - N_{\text{Geometrik}} = \mathbf{A}^T \mathbf{x} + \varepsilon \quad (2)$$

eşitliğiyle ifade edilir. Burada \mathbf{A} katsayılar matrisi, \mathbf{x} bilinmeyenler vektörü, ε rastgele hata terimidir. Düzeltici yüzey (corrector surface) olarak tanımlanan bu yüzey modelinin gravimetrik ve GPS/Nivelman jeoitleri arasındaki tüm sistemik hataları elemine ettiği varsayılır. Gravimetrik jeoidi ulusal datuma uydurmak için kullanılan bu yüzey genellikle 4, 5 ve 7 parametrelilik benzerlik dönüşüm modelleri ile ifade edilir

(Abbak, 2017). Dört parametrelilik dönüşüm bir ölçek faktörü, bir yönlü dönüklük, iki öteleme; beş parametrelilik dönüşüm bir ölçek faktörü, iki yönlü dönüklük, iki öteleme; yedi parametrelilik dönüşüm bir ölçek faktörü, üç yönlü dönüklük, üç öteleme barındırmaktadır. Çalışmada daha güvenilir sonuçlar verdiğinden yedi parametrelilik dönüşüm tercih edilmiştir.

$$\mathbf{a} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_i \cos \lambda_i \\ \cos \varphi_i \sin \lambda_i \\ \sin \varphi_i \\ \cos \varphi_i \sin \lambda_i \cos \lambda_i / W_i \\ \cos \varphi_i \sin \lambda_i \cos \lambda_i / W_i \\ \sin^2 \varphi_i / W_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

eşitliğinde φ_i ve λ_i , GPS noktasının coğrafi koordinatlarını ifade ederken, W_i katsayısı;

$$W_i = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_i} \quad (4)$$

ile ifade edilir. e^2 referans elipsoidinin birinci dışmerkezliğinin karesidir.

Her bir GPS noktasında hesaplan \mathbf{a} katsayılar vektörü genişletilerek \mathbf{A} katsayılar matrisi elde edilir. En küçük kareler ile denklem çözümünden;

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{I} \quad (5)$$

bilinmeyen parametreler vektörü hesaplanır. \mathbf{I} gravimetrik ve geometrik jeoit yükseklikleri arasındaki fark yani küçültülmüş ölçü vektörüdür. Ölçülere getirilecek düzeltme değerleri;

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{I} \quad (6)$$

vektörü ile belirlenirken standart sapması;

$$m_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{v}}{n-u}} \quad (7)$$

eşitlikleriyle belirlenir. Denklemlerde n GPS/Nivelman nokta sayısını, u parametre sayısını (örn. 4, 5, 7) temsil eder.

2.2. KTH Tekniği

KTH tekniğinde, boşlukta gravite anomalisi jeoit ondülasyon hesabında doğrudan yer almaktadır. Ancak bu gravite anomalisi türü topografya ile yüksek korelasyonludur. Bu durumda dağınık halde bulunan nokta gravite değerleri daha yumuşak bir yüzeyi temsil eden Bouguer yaklaşımı ile grid merkezlerine taşınmalıdır. Bu işlem için, rastgele dağılmış gravite noktalarında gravite değerleri,

Bouguer anomalilerine indirgenir. Bjerhammer kuralına uygun olarak en yakın komşuluk enterpolasyon yöntemi ile Bouguer anomalileri grid merkezlerine taşınır. Bouguer anomalilerinden, gridlerin Bouguer plakası etkisi geri çıkarıldığında boşlukta gravite anomalilerine geçiş yapılır. Bu hesaplama için Bouguer plaka etkisi her grid için sayısal yükseklik modelinden elde edilen ortalama grid yüksekliğinden hesaplanabilir. Böylece jeoit modelleme için temel veri grubu olan gravite anomalileri grid halinde elde edilir. Gravite verileri hazırlandıktan sonra jeoit ondülasyonunun hesabına geçilir.

2.2.1. Stokes integrali

G. G. Stokes 1849 yılında kendi adıyla adlandırılan Stokes integral eşitliğini yayınlamak, jeoit ondülasyonunun bu eşitlikle hesaplanabileceğini ortaya koymuştur. Jeoit ondülasyonu,

$$N = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma} S(\psi) \Delta g d\sigma \quad (8)$$

eşitliğiyle hesaplanır (Heiskanen ve Moritz, 1967). Bu eşitlikte; R ortalama yer yarıçapını, γ referans elipsoidi yüzeyindeki normal gravite değerini, ψ yermerkezli açıyı, Δg gravite anomalisini, $d\sigma$ birim küre σ 'nın en küçük yüzey elemanını, $S(\psi)$ Stokes fonksiyonunu ifade etmektedir. Stokes fonksiyonu;

$$S(\psi) = \sum_{n=2}^{\infty} \frac{2n+1}{n-1} P_n(\cos\psi) \quad (9)$$

küre üzerinde n küresel harmonik dereceli Legendre polinomlarıyla $P_n(\cos\psi)$ tanımlanan fonksiyondur (Heiskanen ve Moritz, 1967). Jeoidi belirleme amaçlı bu yüzey integralin çalışması için tüm yeryuvarına ait gravite verilerine ihtiyaç vardır. Ancak bu veri yığıyla çalışmak olanaksızdır. Bu nedenle eşitlik istenilen bölgede sınırlandırılıp yeniden düzenlenerek kullanılır. Sınırlandırma işlemi sonucunda σ_0 çalışma bölgesinde kesilen integral;

$$N^L = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma_0} S^L(\psi) \Delta g d\sigma \quad (10)$$

şeklinde oluşur. Ancak uzak nokta etkisinin göz önüne alınmamasından dolayı kesme hatası (truncation error) olarak adlandırılan hata ortaya çıkar ve

$$\delta N = N - N^L \quad (11)$$

eşitliğiyle gösterilir.

Günümüzde yapay uydular yardımıyla gravite alanının uzun dalga boylu bileşenleri yerpotansiyel modellerin içinde yüksek doğrulukla yer almaktadır. Daha önceden yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde global yerpotansiyel modellerden türetilen uzun dalga boylu bileşenler hesaplama dahil edildiğinde uzak bölgelerden kaynaklanan kesme hatasının en az düzeye indirilebileceği ortaya çıkmıştır.

2.2.2. Stokes integralinin modifikasyonu

Stokes integralini yeniden düzenleme yöntemleri deterministik ve stokastik olarak iki grupta incelenmektedir. Deterministik yöntem sadece kesme hatasını en aza indirmeyi amaçlarken, stokastik yöntem kesme hatasıyla birlikte yersel verilerden ve global yerpotansiyel modellerden kaynaklı hataları en aza indirmeyi amaçlamıştır. Bu sebeple bu çalışmada en küçük kareler prensibi ile daha geniş kapsamlı hatayı en aza indirmeyi amaçlayan stokastik yöntem olan KTH tekniği tercih edilmiştir. KTH tekniğinde yaklaşık jeoit ondülasyonu;

$$\tilde{N} = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma_0} S^L(\psi) \Delta g d\sigma + \frac{R}{2\gamma} \sum_{n=2}^M b_n \Delta g_n^{GGM} \quad (12)$$

ile hesaplanır (Sjöberg, 2003b). Burada $S^L(\psi)$ yerel Stokes fonksiyonunu, M yerpotansiyel modelin kullanılan en büyük açılım derecesini, γ elipsoid üzerinde normal graviteyi, b_n KTH modifikasyon parametresini temsil eder. Eşitlikte görüldüğü üzere, gravite anomalisinin doğruluğu, yaklaşık jeoit ondülasyonunun doğruluğuna doğrudan etki yapacaktır. Diğer yandan, KTH yöntemi yaklaşık ondülasyonlara bazı düzeltmeler yaparak kesin ondülasyon değerine ulaşır.

2.3. Düzeltmeler

KTH yöntemi ile ondülasyon değerleri hesaplanırken yeryuvarı dışında kitle olmadığı varsayımı gibi bazı kabuller yapılır. Kesin sonuçları bulmak amacıyla birtakım düzeltmeler yapılmalıdır. Kaldır-Hesapla-Yerine Koy (Remove-Compute-Restore) gibi farklı diğer yöntemlerde düzeltmeler doğrudan gravite anomalilerine yapılmaktadır. Ancak KTH yönteminde düzeltmeler hesap kolaylığından dolayı yaklaşık ondülasyonlara yapılır. KTH yöntemine göre jeoit ondülasyonunun kesin değeri;

$$\tilde{N} = \tilde{N} + \delta N_{\text{comb}}^{\text{Top}} + \delta N_{\text{comb}}^{\text{Atm}} + \delta N^{\text{DWC}} + \delta N^{\text{Ell}} \quad (13)$$

eşitliğiyle hesaplanır (Sjöberg, 2003a). Eşitlikteki $\delta N_{\text{comb}}^{\text{Top}}$ kombine topografik düzeltmeyi, $\delta N_{\text{comb}}^{\text{Atm}}$ kombine atmosferik düzeltmeyi, δN^{DWC} indirgeme düzeltmesini (downward continuation), δN^{Ell} ise elipsoidal düzeltmeyi temsil etmektedir.

KTH metodunda yeryüvarı dışında kitle olmadığı varsayımı yapılır ve bu kabulden kaynaklanan hatanın etkisini gidermek için topografik düzeltme yapılır. Düzeltme direkt ve dolaylı etkilerin birleşiminden ortaya çıktığı için kombine topografik düzeltme olarak adlandırılır. Bu düzeltmenin hesabı;

$$\delta N_{\text{comb}}^{\text{Top}} = \delta N_{\text{dir}}^{\text{Top}} + \delta N_{\text{ind}}^{\text{Top}} = -\frac{2\pi G\rho}{\gamma} \sum_{n=2}^{\infty} H_n^2 \quad (14)$$

formülüyle yapılır. Burada ρ (2.67 g/cm^3) yerkabuğunun yoğunluğunu, G evrensel çekim sabitini, H grid merkezinin ortalama yüksekliğini temsil etmektedir. Grid merkezinin ortalama yüksekliği H değeri topografyanın sayısal yükseklik modelinden yararlanarak elde edilmesi gerekmektedir. Yerkabuğunun yoğunluğu ρ , topografik düzeltmeyi doğrudan etkiler.

Jeoit yüzeyi dışında kalan atmosferin etkisi yok sayılmayacağından dolayı bir düzeltme terimi olarak ondülasyon hesabında bulunmalıdır. Atmosferik düzeltme terimi;

$$\delta N_{\text{comb}}^{\text{Atm}} = -\frac{GR\rho^a}{\gamma} \iint_{\rho^a} S^L(\psi) H_p d\sigma \quad (15)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada ρ^a deniz düzeyindeki atmosfer yoğunluğu (1.23 kg/m^3), H_p hesap noktasının topografik yüksekliğini gösterir ki bu değer sayısal yükseklik modelinden türetilen ortalama yüksekliktir.

Yersel gravite verileri jeoit belirleme işlemlerinde öncelikle deniz düzeyine indirgenerek hesaba dahil edilmelidir. Jeoit yüzeyi ile fiziksel yeryüzü arasındaki düzensiz kitle dağılımından dolayı gravite anomalisi, yüksekliğe göre doğrusal bir değişim göstermez. Bu sebeple KTH tekniğinde indirgeme düzeltmesi;

$$\delta N^{\text{DWC}} = \delta N_{\text{dwc}}^{(1)} + \delta N_{\text{dwc}}^{\text{L1,Far}} + \delta N_{\text{dwc}}^{\text{L2}} \quad (16)$$

üç bileşenden oluşur (Sjöberg, 2003c). Bu bileşenler,

$$\delta N_{\text{dwc}}^{(1)} = \frac{\Delta g}{\gamma} H_p + 3 \frac{\tilde{N}}{r_p} H_p - \frac{1}{2\gamma} \left. \frac{\partial \Delta g}{\partial r} \right|_P H_p^2 \quad (17)$$

$$\delta N_{\text{dwc}}^{\text{L1,Far}} = \frac{R}{2\gamma} \sum_{n=2}^M b_n \left[\left(\frac{R}{r_p} \right)^{n+2} - 1 \right] \Delta g_n \quad (18)$$

$$\delta N_{\text{dwc}}^{\text{L2}} = \frac{R}{4\gamma\pi} \iint_{\sigma_0} S^L(\psi) \left(\left. \frac{\partial \Delta g}{\partial r} \right|_P (H_p - H_Q) \right) d\sigma_Q \quad (19)$$

şeklinde sıralanır. Burada r_p P noktasının küresel yarıçapını, H_p hesap noktasının topografik yüksekliğini temsil eder.

Stokes yaklaşımı R yarıçaplı küre üzerinde uygulanır. Bu sebeple jeoit ondülasyonlarına elipsoidal düzeltmede getirilmelidir. Hesaplamalara getirilecek elipsoidal düzeltme;

$$\delta N^{\text{Ell}} = [(0.0036 - 0.0109 \sin^2 \varphi) \Delta g + 0.0050 \tilde{N} \cos^2 \varphi] Q_0^L \quad (20)$$

eşitliğiyle hesaplanır (Ellmann ve Sjöberg, 2004). Eşitlikte geçen Δg yersel gravite anomalisi, \tilde{N} yaklaşık jeoit ondülasyonu, Q_0^L Molodensky kesme katsayısıdır.

2.4. Veri toplama

Bu bölümde çalışma alanı ve sayısal uygulamada kullanılan veriler hakkında bilgi verilmiştir.

2.4.1. Çalışma alanı

Sayısal uygulamada $37^\circ \leq \varphi \leq 39^\circ$ kuzey enlemleri, $31.5^\circ \leq \lambda \leq 35.0^\circ$ doğu boylamları arasında kalan Konya Kapalı Havzası seçilmiştir (Şekil 1). Çalışma alanının güneyinde Toros Dağları, kuzeyinde Tuz Gölü bulunmaktadır ve Konya, Karaman, Aksaray ve Niğde illerini kapsamaktadır. Çalışma alanı toplam 70 000 km^2 'dir.



Şekil 1. Çalışma alanının topografik durumu ve mevcut verilerin dağılımı (Abbak, 2011)

Topografik durum incelendiğinde, Toros Dağlarında en fazla yükseklik (max: 3491 m) görülmekle birlikte çalışma alanının güneyinde bulunan Göksu Vadisinde en düşük yükseklik (min: 576 m) bulunmaktadır. Çalışma alanında ortalama yükseklik 1250 m'dir.

2.4.2. Gravite verileri

Çalışmada değerlendirilecek gravite gözlemleri Abbak (2011) tarafından gerçekleştirilen proje kapsamında Harita Genel Komutanlığı'ndan elde edilmiştir. Gravite değerleri International Gravity Standardization Net 71 (IGSN71) datumundadır. Coğrafi koordinatlar World Geodetic System 1984 (WGS84) datumundadır. Her nokta için gravite bilgisi sırasıyla, gravite noktasının enlemi, boylamı, ortometrik yüksekliği (ortalama deniz yüzeyinden) ve gravite değeridir. Gravite verilerinin coğrafi dağılımı Şekil 1'de gösterilmiştir. Toplam gravite nokta sayısı 3073'tür.

Gravite verilerinin doğruluğu ve sıklığı hesaplanacak bölgesel jeoidin hassasiyetini doğrudan etkileyecektir. Gravite verilerinin dağılımına bakıldığında, gravite ölçüsü bulunmayan açıklıklar ve seyrek ölçülmüş

bölgeler bulunmaktadır. Ayrıca gravite verilerinin yoğunluğu çalışma sahası göz önüne alındığında genel olarak yeterli sıklıkta değildir. Son olarak bölgesel jeoit hesaplamalarında hesap noktası etrafında en az 1°'lik yarıçaptaki yakın bölge gravite verileri gerekmektedir. Bu çalışmada yakın bölge gravite verileri ekonomik sebeplerden dolayı elde edilememiştir.

2.4.3. Global yerpotansiyel modelleri

Jeodezik amaçlar doğrultusunda CHAMP, GRACE ve GOCE gibi alçak yörüngeli uydular yardımıyla yeryuvarı gravite alanı bilgilerinden elde edilen global yerpotansiyel modelleri ICGEM web sayfasında yayınlanmaktadır (CHAMP, 2018; GRACE, 2018; GOCE, 2018). ICGEM web sayfasında günümüze kadar oluşturulmuş 160'dan fazla global yerpotansiyel modeli mevcuttur (ICGEM, 2018).

Global modeller sürekli uydu verilerini içerdiğinden son yayınlananların yerin gravite alanını daha gerçekçi yansıtmaları kaçınılmazdır. Bu çalışma için seçilen güncel global yerpotansiyel modelleri hakkında bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Test için seçilen yeni nesil global yerpotansiyel modeller

Model Adı	Yıl	Derece	Veri Kaynağı	Referans
EIGEN-CHAMP05S	2010	150	S (Champ)	Flechtner et al, 2010
ULux_CHAMP2013s	2013	120	S (Champ)	Weigelt et al, 2013
GOCO01S	2010	224	S (Champ, Grace)	Pail et al, 2010
HUST-Grace2016s	2016	160	S (Grace)	Zhou et al, 2016
Tongji-GRACE01	2013	160	S (Grace)	Shen et al, 2013
ITG-Grace2010s	2010	180	S (Grace)	Mayer-Gürr et al, 2010
Tongji-Grace02s	2017	180	S (Grace)	Chen et al, 2016
JYY_GOCE04S	2014	230	S (Goce)	Yi et al, 2013
GO_CONS_GCF_2_SPW_R4	2014	280	S (Goce)	Gatti et al, 2014
IIfE_GOCE05s	2017	250	S (Goce)	Wu et al, 2017
GGM05G	2015	240	S (Grace,Goce)	Bettadpur et al, 2015
ITU_GGC16	2016	280	S (Grace,Goce)	Akyilmaz et al, 2016

Modeller seçilirken üretim yılı, veri kaynağı ve küresel harmonik açılımının derecesi dikkate alınmıştır. Böylece gravite alanı belirleme amaçlı tüm uydu çalışmalarının performanslarını analiz etmek ve zaman

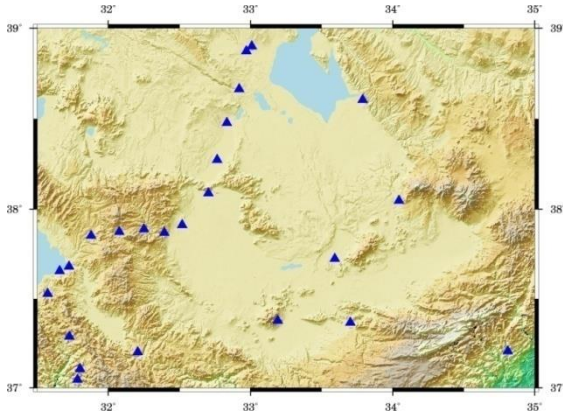
içerisindeki gelişimini irdelemek hedeflanmıştır.

2.4.4. Sayısal Yükseklik modeli

Sayısal yükseklik modelini (SYM) seçerken doğruluğu, çözünürlüğü ve güncelliği göz önüne alınmıştır. Bu çalışmada; daha önce aynı çalışma sahasında SYM'lerle yapılan bölgesel analize göre yüksek doğruluklu sonuç veren SRTM1 modeli kullanılmıştır (Arlı İl ve Abbak, 2017). SRTM1 modelinin global düşey doğruluğu 16 m olup yatay ve düşey datum olarak sırasıyla WGS84 elipsoidini ve EGM96 jeoidini referans alır. SRTM1 Modeli ücretsiz olarak web adresinden indirilmiştir (SRTM, 2018).

2.4.5. GPS/Nivelman verileri

GPS/Nivelman gözlemleri jeoit modellerinin değerlendirilmesinde ve geçerliliğinin kontrolünde sıkça kullanılan veri kaynaklarıdır. Çalışma alanında yer alan Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı 1999 (TUDKA99) birinci derece nivelman ağına bağlı ortometrik yükseklikleri bilinen 24 adet GPS/Nivelman noktasına ait veriler kontrol verisi olarak kullanılmıştır (Şekil2).



Şekil 2. Modellerin bölgesel analizinde kullanılacak GPS/Nivelman noktaları

Noktaların elipsoidal yüksekliklerinin doğruluğu 1—3 cm, nivelmanla belirlenen ortometrik yüksekliklerinin doğruluğu 1—3 cm civarında değişmektedir. Yüksek prezisyonlu iki ölçme tekniği yardımıyla belirlenen 24 adet GPS/Nivelman jeoit yüksekliğinin duyarlılığı 3cm'nin altındadır (Abbak, 2011; Üstün ve Demirel, 2006).

3. SAYISAL UYGULMA

3.1. Global Yerpotansiyel Modellerin Bölgesel Analizi

Global yerpotansiyel modellerin bölgesel doğruluğunun değerlendirilmesi amacıyla GPS/nivelman noktalarında, geometrik jeoit ondülasyonları hesaplanmıştır. Her model harm2und (Aydın Üstün tarafından geliştirilen) programında değerlendirilerek, modellerden jeoit ondülasyonları hesaplanmıştır. Hesaplanan jeoit ondülasyonu, GPS/Nivelman verilerinden elde edilen jeoit ondülasyonlarıyla karşılaştırılmıştır. Sayısal değerler doğrudan karşılaştırılmayıp, datum kayıklığı ve uzun dalga boylu bileşenlerin etkisini barındırabileceği göz önünde bulundurularak 7 parametrelilik benzerlik dönüşümünden yararlanılmıştır. Dönüşüm sonucunda her bir model için, jeoit ondülasyonları arasındaki minimum, maksimum, ortalama ve karesel ortalama hata değerleri hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2'ye göre Karesel Ortalama Hata (KOH) değerlerinden de anlaşıldığı gibi global modelin açınım derecesi yükseldikçe GPS/Nivelman verileriyle uyumluluk artmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde, en düşük doğruluğu CHAMP uydu verileri ile oluşturulan modeller göstermektedir. CHAMP uydusunun neredeyse 11 yıllık verisi mevcut olmasına rağmen modellerin doğruluğunda anlamlı bir iyileşme olmamıştır. GRACE uydu verileriyle oluşturulan modellere bakılırsa, oluşan modellerin doğruluğunda anlamlı bir artış göstermektedir. Ayrıca GRACE uydu verileri kullanılarak oluşturulmuş HUST-Grace2016s ve Tongji-GRACE01 ($N_{max}=160$) modellerine bakıldığında doğrulukları CHAMP uydu verileri ile oluşturulan modellere göre daha düşük doğruluk gösterirken, ITG-Grace2010s ve Tongji-Grace02s ($N_{max}=180$) modelleri CHAMP uydu verileri ile oluşturulan modellerle yaklaşık doğruluk göstermektedir. Bu durumun sebebi olarak GRACE uydu verileri yardımıyla global yerpotansiyel model elde edilirken kullanılan 160 açınım derecesinin yeterli olmadığı değerlendirilmektedir. Bundan dolayı GRACE uydu verileri yardımıyla oluşturulacak global yerpotansiyellerin CHAMP uydu verileri ile elde edilen modellere göre doğruluğunun artması

için, modellerde açınım derecesi olarak 180 derece ve üzeri kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır. CHAMP uydusu ve GRACE uydusu verileri bir arada kullanılarak oluşturulmuş GOCO01S modeline bakılırsa, modelin doğruluk derecesinde bir iyileşme görülmemiştir. Sadece son uydu misyonu GOCE uydusu modelleri irdelendiğinde diğer uyduların veri toplama süresinden daha kısa sürede topladığı verilerle en iyi sonuçları elde ettiği görülmektedir.

Bu sonuçlarda yeryuvarına en yakın uydu olması ve gelişen teknolojinin katkısı büyüktür. GRACE ve GOCE uydu verilerinin birleştirilerek oluşturulan modeller

incelenirse, değerlendirme sonucu doğruluğu en yüksek modeller olarak ortaya çıkmıştır. Analiz sonuçlarına göre GOCE uydu verileriyle elde edilmiş GO_CONS_GCF_2_SPW_R4 yerpotansiyel modelinin doğruluğu 24.624 cm, GRACE ve GOCE birleştirilmiş verilerinden oluşturulan doğruluğu ITU_GGC16 modelinin doğruluğu 21.441 cm olarak hesaplanmıştır.

ITU_GGC16 modeli doğruluğu en yüksek model olarak belirlenmiştir. Seçilen modellerde GRACE verilerinin, oluşturulan birleşik modellerin doğruluğuna katkısı azda olsa görülmektedir.

Tablo 2. Güncel global yerpotansiyel modellerin GPS/nivelman verileriyle değerlendirilmesi [cm]

Model Adı	Veri kaynağı	N _{max}	Min.	Max.	Ort	KOH
ULux_CHAMP2013s	S(Champ)	120	-57.058	53.277	-0.100	32.037
EIGEN-CHAMP05S	S(Champ)	150	-57.79	59.656	-0.014	31.819
GOCO01S	S(Champ, Grace)	224	-57.658	61.491	0.001	32.094
HUST-Grace2016s	S(Grace)	160	-63.702	70.929	-0.016	39.447
Tongji-GRACE01	S(Grace)	160	-93.023	69.159	0.004	35.741
ITG-Grace2010s	S(Grace)	180	-79.749	56.451	0.002	31.760
Tongji-Grace02s	S(Grace)	180	-76.038	63.39	0.002	32.287
JYY_GOCE04S	S(Goce)	230	-53.012	52.723	0.002	32.930
IfE_GOCE05s	S(Goce)	250	-41.647	38.026	0.001	26.707
GO_CONS_GCF_2_SPW_R4	S(Goce)	280	-37.528	40.543	0.000	24.624
GGM05G	S(Grace,Goce)	240	-43.519	51.507	0.000	27.585
ITU_GGC16	S(Grace,Goce)	280	-36.748	40.144	0.007	21.441

3.2. Global Yerpotansiyel Modellerin Bölgesel Jeoit Etkisi

Yeryüzünden ölçülen gravite değerleri jeoit belirleme işleminde doğrudan kullanılmaz. Bu sebeple değerlerin gravite anomalilerine indirgenmesi gerekir. Jeoit çalışmalarında gravite anomalileri, boşlukta gravite anomalisi ve Bouguer anomalisi olarak iki başlık altında incelenir. Boşlukta gravite anomalisi Δg_{FA} , yeryüzünde bir noktada ölçülen gravite değeri ile normal gravite arasındaki farktır ve

$$\Delta g_{FA} = g_P - \gamma_Q \quad (21)$$

eşitliği ile hesaplanır. Ancak bir noktanın boşlukta gravite anomalisi yeryuvarının topografyasından oldukça etkilenmektedir.

Diğer yandan gridleme işlemini gerçekleştirmek için boşlukta gravite anomalilerinin barındırdığı topografya etkisini en aza indirmek gerekmektedir. Bunun için en pratik yöntem topografyayı sabit yoğunluklu kabul etmektir. Bahsedilen yöntem literatürde basit Bouguer yaklaşımı olarak bilinir ve;

$$\Delta g_{SB} = \Delta g_{FA} - 2\pi G\rho H \quad (22)$$

eşitliğiyle gösterilir. Burada G Newton'un evrensel çekim sabitini, ρ Bouguer plakasının yoğunluğunu (2670kg/m^3), H ise yersel gravite gözlemlerinin ortometrik yüksekliğini ifade eder. Bouguer anomalileri kullanılarak oluşturulan yüzey, boşlukta gravite anomalileri ile oluşturulan yüzeye göre daha yumuşak bir yüzeydir ve enterpolasyon işlemi için daha elverişlidir.

Bir sonraki aşama gridleme işlemidir. Dağınık halde bulunan gravite verilerinin grid merkezine taşınması gerekmektedir ve grid merkezinin yüksekliğine ihtiyaç vardır. İhtiyaç duyulan yükseklikler sayısal yükseklik modelinden (SRTM1 modeli) elde edilmiştir. Dağınık gravite verileri basit Bouguer yaklaşımı ile değerlendirilmiş, en yakın komşu enterpolasyon tekniği ile grid merkezine taşınmıştır. Böylece grid merkezlerinde Bouguer anomalileri elde edilmiştir. SRTM1 yükseklik modelinden yararlanarak grid merkezlerinde $0.02^\circ \times 0.02^\circ$ çözünürlüklü yükseklikler hesaplanmıştır. Hesaplanan yükseklik değerlerine göre Bouguer katmanının etkisi elde edilmiş, grid merkezlerine taşınan Bouguer anomalilerine eklenerek yine grid merkezlerinde boşlukta gravite anomalisi üretilmiştir (Abbak vd. 2012).

Global yerpotansiyel modeller gravite anomalisi, jeoit ondülasyonu ve çekül sapması gibi büyüklüklerin hesaplanabildiği, yeryuvarının çekim alanını tanımlayan katsayılarıdır. Bu modellerden jeoit ondülasyonu,

$$N(\theta, \lambda, r) = \frac{GM}{R} \left[\sum_{n=0}^{N_{max}} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm} \cos(\theta) \right] \quad (23)$$

boşlukta gravite anomalileri;

$$\Delta g_{FA}(\theta, \lambda, r) = \frac{GM}{r^2} \left[\sum_{n=2}^{N_{max}} \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm} \cos(\theta) \right] \quad (24)$$

eşitlikleri yardımıyla hesaplanır. $\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$ n derece m sıradaki tam normalleştirilmiş küresel harmonik katsayıları; (θ, λ, r) küresel

karşı enlemi, boylamı, jeosentrik yarıçapı; \bar{P}_{nm} , normalleştirilmiş bütünleşik Legendre fonksiyonunu gösterir.

Yersel gravite verilerinin bulunduğu alan dışında integrasyona katılacak gravite verileri EGM2008 modelinden türetilmiştir. EGM2008 modeli diğer global yerpotansiyel modellerine göre daha fazla veri kaynağı içermekte ve açınım derecesi yüksek olduğundan daha yüksek doğruluklar sunar. Bu çalışmada jeoit modellerini üretmek için

LSMSSOFT programı kullanılmıştır (Abbak ve Üstün, 2015). Seçilen her bir güncel global yerpotansiyel ile ayrı ayrı bölgesel jeoit modelleri oluşturulmuştur. KTH tekniğinde kullanılan modifikasyon parametreleri olan, integrasyon yarıçapı (φ_0), yersel verilerin varyansı ($\sigma_{\Delta g}$) ve global yerpotansiyel modellerden üretilen uzun dalga boylu bileşenlerin maksimum açınım derecesinin (L) belirlenmesinde literatürde kesin bir yöntem yoktur. Bu parametrelerin belirlenmesinde deneme ve yanılma yöntemi kullanılmıştır. İntegrasyon yarıçapı, çalışma alanına yakın alanlarda bürokratik ve ekonomik sebeplerden kaynaklı yersel gravite gözlemlerinin bulunmaması ve çalışma alanının büyüklüğü göz önüne alınarak, $0.5^\circ, 0.75^\circ$ ve 1° değerleri kullanılarak her model için hesaplamalar yapılmış ve tüm modeller için optimal sonuç veren 0.5° değeri seçilmiştir. Yersel gravite verilerinin standart sapması Abbak (2011) tarafından 7 mGal olarak belirlendiğinden bu uygulamada da aynı değer hesaplamalarda kullanılmıştır. Global yerpotansiyel modellerden türetilen uzun dalga boylu bileşenler 90 ile 220 dereceler arasında her bir model için denenmiştir. Seçilen her model için optimal sonuçları veren bu katsayı, sadece CHAMP uydu verilerinden elde edilen yerpotansiyel modeller için 180 derece, diğer yerpotansiyel modeller için ise 120 ya da 130 derece olarak belirlenmiştir.

Son olarak oluşturulan 12 adet jeoit modelleri, GPS/Nivelman ile 7 parametrelilik benzerlik dönüşümünden yararlanarak karesel ortalama hataları hesaplanmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Bölgesel jeoit modellerinin GPS/nivelman verileriyle değerlendirilmesi [cm]

Global Model Adı	Veri kaynağı	N _{max}	L	Min.	Max.	Ort	KOH
ULux_CHAMP2013s	S(Champ)	120	180	-11.514	20.758	-0.030	7.500
EIGEN-CHAMP05S	S(Champ)	150	180	-13.583	17.782	-0.004	8.422
GOCO01S	S(Champ, Grace)	224	120	-10.766	17.245	-0.089	6.869
HUST-Grace2016s	S(Grace)	160	120	-10.764	17.096	-0.117	6.877
Tongji-GRACE01	S(Grace)	160	130	-11.345	17.723	-0.058	6.823
ITG-Grace2010s	S(Grace)	180	120	-10.756	17.308	-0.035	6.879
Tongji-Grace02s	S(Grace)	180	120	-10.748	17.297	-0.045	6.780
JYY_GOCE04S	S(Goce)	230	120	-10.708	17.301	-0.029	6.869
IIfE_GOCE05s	S(Goce)	250	120	-10.696	17.242	-0.039	6.870
GO_CONS_GCF_2_SPW_R4	S(Goce)	280	130	-11.556	18.032	-0.035	6.866
GGM05G	S(Grace,Goce)	240	120	-10.809	17.581	0.022	6.862
ITU_GGC16	S(Grace,Goce)	280	130	-11.587	18.004	-0.063	6.867

Sonuçlar incelendiğinde; CHAMP yer potansiyel modelleri kullanılarak oluşturulmuş jeoit modelleri en düşük doğruluğu göstermektedir. CHAMP modelleri, jeoit belirleme işleminde beklenen doğruluğu sağlamadığından güncelliğini kaybetmiştir. GRACE ve GOCE uyduları yardımıyla oluşturulan global yerpotansiyel modellerden elde edilen jeoit modellerinin doğruluğu ise yaklaşık ± 6.8 cm olarak hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak jeoit yüzeyi belirlerken doğruluğu değiştiren ve etkileyen asıl faktörün yersel gravite verilerinin kalitesi olduğu sonucuna varılmıştır. Jeoit modellemesi yapılacak bölgelerde yersel gravite verileri yüksek presizyonlu ve yeterli yoğunlukta elde edilmesi gerekmektedir.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada ilk olarak uydu misyonlarıyla elde edilen yeryuvarı gravite alanı verilerinden üretilen ULux_CHAMP2013s, EIGEN-CHAMP05S, GOCO01S, HUST-Grace2016s, Tongji-GRACE01, ITG-Grace2010s, Tongji-Grace02s, JYY_GOCE04S, IIfE_GOCE05s, GO_CONS_GCF_2_SPW_R4, GGM05G, ITU_GGC16 güncel global yerpotansiyel modellerinin bölgesel doğrulukları test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda bölgesel ya da ulusal olarak jeoit belirleyebilmek için en uygun global yerpotansiyel modeli belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla seçilen farklı açınım derecelerine sahip uydu bazı

global yerpotansiyel modellerinden türetilen jeoit ondülasyonları, GPS/Nivelman verilerinden hesaplanan jeoit ondülasyonları ile karşılaştırılmıştır.

CHAMP uydusu ilk çıktığı zamanlar iyi sonuçlar verdiği düşünülürken; bu uydunun uzun yıllar boyunca elde ettiği veriler, yeryuvarının gravite alanını belirlemede anlamlı iyileşmeler gösterememiş ve yerini gelişen teknoloji sayesinde üretilen GRACE ve GOCE uydu verilerine bırakmıştır. Seçilen GRACE uydu verileri ile üretilen HUST-Grace2016s, Tongji-GRACE01, ITG-Grace2010s, Tongji-Grace02s, modellerinin bölgesel doğrulukları incelendiğinde; CHAMP uydu verileri ile elde edilen ULux_CHAMP2013s, EIGEN-CHAMP05S modellerine göre iyileşme gösteren modeller olarak görülmemiştir. Bu duruma sebep olarak GRACE uydu verileri ile global yerpotansiyel modelleri elde edilirken kullanılan açınım derecelerinin bu uydu verileri için yetersiz kalmış olabileceği düşünülmektedir. Diğer bir ifadeyle GRACE uydu verileri ile global bir yerpotansiyel modeli oluşturulurken minimum açınım derecesi olarak 180 derece olarak çözüm gerçekleştirilmelidir denebilir. GOCE uydu verileriyle elde edilen modeller CHAMP ve GRACE uydu verileri ile elde edilen modellere göre daha yüksek doğruluk göstermektedir. Ancak GOCE ve GRACE uydu verilerinin bir arada kullanılmasıyla elde edilen modeller en başarılı sonucu vermiştir. GOCE uydu verilerinin bölgesel doğrulukları yüksek iken GRACE uydu verilerinin çözüme

dahil edilmesi az da olsa model doğruluklarının iyileşmesine sebep olmuştur. Bilim ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte, gravite alanı belirleme amaçlı son uydu olan GOCE gravite alanının uzun dalga boylu bileşenlerinin belirlenmesinde yüksek doğruluk sağladığı anlaşılmaktadır. Seçilen modeller içerisinde bölgesel doğruluğu en yüksek model GRACE ve GOCE uydu verilerinin birleştirilmesiyle elde edilen ITU_GGC16 modeli olarak tespit edilmiştir.

İkinci aşamada yakın yer uyduları olan CHAMP, GRACE ve GOCE uyduları ile elde edilerek oluşturulmuş 12 adet global yerpotansiyel modeli ile KTH tekniğinden yararlanarak Konya Kapalı Havzasında bölgesel jeoit modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan her jeoit yüzeyi GPS/Nivelman verileri ile elde edilen jeoit yüzeyi ile 7 parametrelilik benzerlik dönüşümünden yararlanarak karesel ortalama hataları hesaplanıp karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma sonuçlarına göre, CHAMP uydu verileri ile oluşturulan modellerin güncelliğini kaybettiği ve beklenen doğrulukta bir jeoit belirlemek için yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. GRACE ve GOCE uydu verileriyle belirlenen tüm modellerin doğruluğu yaklaşık ± 6.8 cm hesaplanmıştır. GRACE uydu verileri ile elde edilen ve bölgesel olarak doğruluğu düşük doğruluklu modeller dahil benzer sonuçlar görülmüştür. Jeoit modelleme işleminde, her ne kadar global yerpotansiyel modellerin bölgesel doğrulukları fazla olsa dahi jeoit modeli üzerinde kayda değer bir iyileşme sağlamamıştır. Bundan dolayı jeoit yüzeyi belirlerken doğruluğu değiştiren ve etkileyen asıl faktörün yersel gravite verilerinin kalitesi olduğu sonucuna ulaştırmıştır. Jeoit modellemesi yapılacak bölgelerde yersel gravite verileri yüksek presizyonlu ve yeterli yoğunlukta elde edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Abbak, R. A. (2011). Global Yerpotansiyel Modellerinin Spektral Yöntemlerle Değerlendirilmesi ve Jeoit Belirleme İçin Yerel Olarak İyileştirilmesi, *Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya*.
- Abbak, R. A. (2017). Fiziksel Jeodezi: Teori ve Uygulama, *Atlas Akademi, Konya*.

- Abbak, R. A. ve Ustun, A. (2015). A software package for computing a regional gravimetric geoid model by the KTH method, *Earth Science Informatics*, 8(1),255–265.
- Abbak, R. A., Üstün, A. ve Ellmann, A. (2012). Ortalama Gravite Anomalilerinin Enterpolasyon Basit ve Tamamlanmış Bouger Yaklaşımının Karşılaştırılması, *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 1(1), 45-52.
- Akyılmaz, O., Ustun, A., Aydin, C. Arslan, N., Doganalp, S., Guney, C., Mercan, H., Uygur, S.O., Uz, M., Yagci, O. 2016, ITU_GGC16 The combined Global gravity field Model including GRACE & GOCE data up to degree and order 280; *GFZ Data Services*; <http://doi.org/10.5880/icgem.2016.005>
Erişim tarihi: 05.03.2018
- Al-Krargy, E., Hosny, M., and Dawod, G., (2015), Investigating the Precision of Recent Global Geoid Models and Global Digital Elevation Models for Geoid Modelling in Egypt. *Regional Conference on Surveying & Development, Sharm El-Sheikh, Egypt, 3–6 October 2015*.
- Arlı İl, H. T. ve Abbak, R. A. (2017). Accuracy Analysis of ASTER and SRTM Digital Elevation Models: A Case Study In Turkey. *17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM, Bulgaria*
- Bettadpur, S. et al, 2015 Evaluation of the GGM05 Mean Earth Gravity models, *Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, EGU2015-4153, 2015, Vienna, Austria*
- CHAMP. (2018). CHALLENGING Minisatellite Payload <http://op.gfz-potsdam.de/champ/>
- Chen, Q. et al, 2016 An improved GRACE monthly gravity field solution by modelling the non-conservative acceleration and attitude observation errors, *Journal of Geodesy*, 90(6), 503-523.
- Doganalp, S. (2016). An Evaluation of Recent Global Geopotential Models for Strip Area Project in Turkey. *Earth Sciences Research Journal*, 20(3), C1-C10.
- Ellmann, A. Ve Sjöberg, L. E. (2004) Ellipsoidal correction for the modified Stokes' formula. *Boll. Geod.Sci.Aff.*, 63,153-172.
- Erol, B., Çelik, R. N. ve Sideris, M. G. (2008). Güncel Global Potansiyel Modellerin Yersel Veriler ile Test Edilmesi. *İTÜ Dergisi*, 7(6), 47-58.
- Erol, B., Sideris, M. G. ve Çelik, R. N. (2009). Comparison of global geopotential models from the champ and grace missions for regional geoid modelling in Turkey.

- Studia Geophysica et Geodaetica*, 53(4), 419-441
- Flechtner, F. et al (2010) The Release 04 CHAMP and GRACE EIGEN Gravity Field Models; *Springer*, p. 41-58, Berlin.
- Gatti, A., Reguzzoni, M., Migliaccio, F., Sanso, F. (2014) Space-wise grids of gravity gradients from GOCE data at nominal satellite altitude Paris.
- GOCE. (2018). Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer. http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/GOCE Erişim tarihi: 05.03.2018.
- GRACE. (2018). Gravity Recovery and Climate Experiment. <http://www.csr.utexas.edu/grace> Erişim tarihi: 05.03.2018
- Heiskanen, W. A. ve Moritz H. (1967). Physical Geodesy, W. H. Freeman and Co., London, U.K.
- ICGEM. (2018). International Centre for Global Earth Models (ICGEM). <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/> Erişim tarihi: 05.03.2018
- Kiamehr R., 2006. Precise Gravimetric Geoid Model for Iran Based on GRACE and SRTM Data and the Least-Squares Modification of Stokes' Formula with Some Geodynamic Interpretations. *Ph.D. Thesis, Division of Geodesy, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.*
- Mayer-Gürr, T., Kurtenbach, E., Eicker, A. (2010) ITG-Grace2010 Gravity Field Model; <http://www.igg.unibonn.de/apmg/index.php?id=itg-grace2010> Erişim tarihi: 05.03.2018
- Pail, R. et al, 2010 Combined satellite gravity field model GOCO01S derived from GOCE and GRACE; *Geophysical Research Letters*, 37(20)
- Shen, Y., Chen, Q., Hsu, H., Zhang, X., Lou, L. (2013) A modified short arc approach for recovering gravity field model; *Austin, TX, 2013*
- Sjöberg, L E. (2003a) A computational scheme to model geoid by the modified Stokes Formula without gravity reductions, *Journal of Geodesy*, 77, 423–432.
- Sjöberg, L E. (2003b) A general model for modifying Stokes' formula and its least-squares solution, *Journal of Geodesy*, 77, 459–464.
- Sjöberg, L E. (2003c) A solution to the downward continuation effect on the geoid determination by Stokes' Formula. *Journal of Geodesy*, 77:94–100.
- SRTM (2018) Shuttle Radar Topography Mission. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm> Erişim tarihi: 05.03.2018.
- Ulotu P.E., 2009. Geoid Model of Tanzania from Sparse and Varying Gravity Data Density by the KTH Method. *PhD. Thesis. Division of Geodesy, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.*
- Üstün, A. ve Demirel, H. (2006). Long-Range Geoid Estimation by GPS-Leveling Data in Turkey. *Journal of Surveying Engineering*, 132(1), 15-23
- Yi, Weiyong, Rummel, Reiner, Gruber, Thomas. (2013) Gravity field contribution analysis of GOCE gravitational gradient components; *Studia Geophysica et Geodaetica*, 57(2), 174-202
- Weigelt, M., van Dam, T., Jäggi, A., Prange, L., Tourian, M. J., Keller, W., Sneeuw, N. (2013) Time-variable gravity signal in Greenland revealed by high-low satellite-to-satellite tracking, *Journal of Geophysical Research*, 118(7), 3848-3859.
- Wu, H., Müller, J., and Brieden. (2017) The IfE global gravity field model from GOCE-only observations, *International Symposium on Gravity, Geoid and Height Systems, 19-23 September 2016, Thessaloniki, Greece.*
- Zhou, H., Luo, Z., Zhou, Z., Li, Q., Zhong, B., Hsu, H. (2016) A new time series of GRACE monthly gravity field models: HUST-Grace2016; *GFZ Data Services*; <http://doi.org/10.5880/ICGEM.2016.0> Erişim tarihi: 05.03.2018

Entegre Bilgi Sistemi Modeli Geliştirilmesi: DataOCEAN©

Egnar ÖZDİKİLİLER¹, Çiğdem GÖKSEL^{2*}

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama ArGe Merkezi, İstanbul
(ozdikililer@itu.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 9042 – 2324

²İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul
(goksel@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-8480-1435

Öz

Günümüzde veri çeşitliliğinin artması, özellikle konumsal verinin eklenmesiyle, düzenli ve güçlü sistem tasarımı gereksinimi giderek daha önemli hale gelmiştir. Merkezi erişim sağlayan, Coğrafi Bilgi Sistemlerini de kapsayan, yeni nesil bilişim sistemleri tasarlanarak kullanım yaygınlaştırılmıştır. Bu durum, özellikle kurumlar arası veri paylaşımı ve farklı yapıdaki, sistemler arasındaki entegrasyon çalışmalarını hızlandırmıştır. Bu nedenle, merkezi erişim amaçlayan sistem tasarım çalışmaları artmış, veri erişimi de web servislerinin yaygın olarak kullanılması ile kolaylaşmıştır. Bu çalışmada, dağıtık sistemler için; hızlı, doğru ve güvenilir bilgiye erişimde kullanılacak yeni bir entegre bilgi sistemi modeli tasarlanmıştır. Tasarlanan model; birlikte çalışabilirlik ilkelerini koruyan, hibrid yapı temelli, birden fazla sistemi barındıran, entegrasyonu web servisleri aracılığı ile sağlayarak, çok yönlü veri akışına olanak tanımaktadır.

Çalışmada tasarlanan model (DataOCEAN) ve sistem prototipi, Servis Yönelimli (SOA) yapıyı temel alan ve Nesne Yönelimli mimari (OOA) yapısına benzerlikler taşımaktadır. Kullanılan yapı, MVC mimari tabanlı yazılmıştır ve özgün bir çalışmadır. REST yaklaşımı ile tasarlanmış, RESTful ve SOAP servis mimarilerine ilişkin web servisleri hazırlanmış, sistemin yönetim panelinin içereceği alanlar yazılmış ve test edilmiştir. Uygulama dili olarak PHP (Hypertext Preprocessor) tercih edilmiş, mekansal veri gösterimi için GoogleMAPs kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Veri Entegrasyonu, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Web Servisleri, Mekansal Veri

Design a Model for Integrated Information Systems: DataOCEAN©

Abstract

Nowadays, with the increase in the variety and volumes of data, in addition spatial data, the need for a reliable, systematic and powerful system design has increasingly become more important. Next generation information systems facilitating central access, including Geographical Information Systems, were designed and their use has become widespread. This has particularly accelerated data exchange between institutions and integration work between systems with different structures. Thus, system design works aiming at providing central access have increased, and data access has become easier thanks to the spread of web services.

In the context of this study, a new integrated information system model was designed to be used in providing access to fast, accurate and reliable information for distributed systems. This model protects the principles of interoperability, is based on a hybrid structure, accommodates multiple systems and enables multifaceted data flow by providing integration through web services.

The model and system prototype (DataOCEAN©) is based on service oriented architecture (SOA) while it shares similarities with object oriented architecture (OOA). The framework used in the design is an original

* Sorumlu Yazar

Egnar Özdikililer. “Entegre Bilgi Sistemi Modeli Geliştirilmesi: DataOCEAN©” Doktora Tezi, Yürütücü: Doç.Dr. Çiğdem Göksel, İTÜ, Bilişim Enstitüsü

work based on model-view-controller architecture. It was designed using REST (Representational State Transfer) style. Web services in relation to RESTful and SOAP (Simple Object Access Protocol) service architectures were prepared; areas to be included in the management panel of the system were written and tested. PHP (Hypertext Preprocessor) was chosen as application language while using GoogleMAPs for spatial data representation.

Keywords: Data Integration, Geographic Information Systems, Web Services, Spatial Data

1. GİRİŞ

Günümüzde, bilişim teknolojisi ile bilgiye ulaşım ve bilgiyi kullanabilme gücü giderek artmaktadır. Merkezi ve yerel yönetimler ile bilgiyi kullanan çok çeşitli iş alanında var olan kurum ve kuruluşlar, farklı amaçla kurgulanmış, aynı ve/veya yüksek benzerlikte verileri içeren Coğrafi Bilgi Sistemlerini kullanarak hizmet vermektedir. Her bir kurum, sistem yapısını özgün ve kendi ihtiyaçları doğrultusunda tasarlamaktadır. Bu durumun, kurumların bilgi sistemlerinin iç işleyişinde kolaylık sağlayacağı düşünülse de diğer bilgi sistemlerinden soyutlanarak yapılandırılmış özgün bir bilgi sisteminde çalışmanın dezavantajları olmaktadır. Kurumlar kendi ürettikleri verileri ve farklı kurumların ürettiği verileri kendi bilgi sistemleri içinde tutmaktadır. Bu çok veri, giderek sistemin yoğunlaşmasına ve zamanla güncelliğini de yitirerek veri tutarsızlığına yol açmaktadır.

Durdurulamayan boyuttaki veri artışı, veri kirliliğine ve veri kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Bu durumda ortaya çıkacak olası sorunları azaltmak amacıyla; birlikte çalışabilirlik ilkeleri gözetilerek standartlar oluşturulup, çeşitli uygulamalar yazılarak sistemlerin birbiri ile haberleşmesi sağlanmaktadır.

Kurumlar arası ve kurum içi etkili iletişim için, veriye web ortamından erişim sağlanması bir devrim niteliğindedir. Kurumlar arası veri paylaşımı gereksinimi; “yeni nesil bilgi sistemleri”nin tasarımı ve merkezi tasarım zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır (Glatard, 2017; Ghadiri, 2017; Al-Kiswany, 2017).

“Yeni nesil Entegre Bilgi Sistemleri” içinde platform bağımsız web servisleri önemli bir yer tutmaktadır. “Merkezi Tasarım”, verinin, web üzerinden, belli standartlarda bulunduğu, iletilip, işlendiği bir yapıyı belirlemektedir.

Bu çalışma, nitelikli veri oluşumu, paylaşımı, kullanımı ve web servislerinin sunduğu avantajlar ile, merkezi sistem tasarımı için bir öneridir. Bu önerinin uygulaması da gerçekleştirilmiştir (Özdikililer, 2017).

Geleneksel uygulama mimarilerinin izlenmesi, sistemlerin büyüme hızına yetişmek veya halihazırda kullanılmakta olan yapıları belli bir tasarım mimarisine uyarlamak için zaman problemi ortaya çıkmaktadır. Problemin çözümü için, üst bir yapı ya da tüm sistemleri içeren bir katman hazırlanmasının, uygun olacağı görüşü ile verinin performans kaybına uğramadan ve iş gücü artışı gerektirmeden, bilgi sistemlerinde entegre edilebilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaca koşut olarak; servis yönelimli ve nesne tabanlı yazılım mimarileri, güvenli veri akışı sağlayan web servisi mantığı ile birleştirildiğinde, ideal entegre yapının ortaya konulabileceği öngörülmüştür. Web servislerinin nesne tabanlı tanımlama yapısı ile sisteme tanıtılan, her türden sistemi birbiri ile haberleştirebilen bir ara katman mimarisi tasarlanmış ve uygulaması yapılmıştır.

Yazılım mimarilerinin, modern sistemlerin karmaşıklığı, çok hızlı veri artışı, uygulama çeşitliliği, bilişim sistemlerin uygun bölümlenme ve düzenlemeler ile ayrı ayrı sistemler olarak değil de, modüler olarak birbiri ile iletişime geçmeleri amaçlanmıştır. İyi bir ürün veya ürünler zinciri kuvvetli bir altyapı mimarisi ile ortaya çıkabilir. Sürekli gelişen ve ihtiyaçları hızla artan bilişim sistemleri birbiri ile performans kaybı olmaksızın kolaylıkla entegre olmasının sağlanabilmesi bu çalışmanın motivasyonu olmuştur.

2. HİPOTEZ VE YÖNTEM

“DataOCEAN” - Veri Okyanusu olarak adlandırılan modelde, veri kaynakları çok çeşitli platformlarda bulunan, birbirinden farklı zamanda üretilmiş, farklı karakterde ve

doğrulukta oluşturulmuş sistemlerdir. Sorgulama anında erişilebilir olan, ihtiyaç halinde bağlantı kurulan ve kullanımdan sonra iletişimi kesen, web veri erişim servisleridir. Bu servisler, yapı ve ortam değişimlerinden etkilenmeden, kullanılan uygulamaları ve sistemleri entegre etmektedir. DataOCEAN modelinde, web servisleri nesne yönelimli mimariye uygun tanımlanır ve sorgulanırlar. Nesne yönelimli mimari tanımlaması ile yapı ve ortam değişimlerinden etkilenmemeleri sağlanmaktadır. Tanımlama şekli ile lokal sistemde yapılan değişiklikler genel sistemi etkilememektedir. Servis tanımı, OceanLibrary olarak adlandırılan sistem kütüphanesinde yapılmaktadır. Sistemde, kesintisiz veri sorgulama işlemi kütüphanede yer alan web servislerin birbirinin yerini dinamik olarak alması ile sağlanmaktadır.

Kesintisiz, sürekli veri iletişimde DataOCEAN sisteminde bir türden veriye ulaşmak için birden fazla ve farklı konumlarda bulunan servislerin entegre edilmesi ile sağlanmaktadır. Data Ocean modelinde, yapısal değişiminin veya güncelleme ihtiyacının oluşması, hatta sürekli hale gelmesi, sistem bütünlüğünü veya çalışmasını etkilememektedir.

Sistemin tasarımında, Servis Yönelimli Mimari (SOA) (Krafcig, 2005; Söderström, 2007; Bahree,2007) yapı kullanılmış, yararlanılan web servislerin yapısı MVC (Model-View-Controller) mimarisi ile, REST (Representational State Transfer) (Fielding, 2000) kullanılarak ve SOAP (Simple Object Access Protocol) Basit Nesne Erişim Protokolü yaklaşımı temel alınarak kodlanmıştır. Web servislerin yazılım katmanı PHP(PHP: Hypertext Preprocessor) ile yazılmış ve veritabanı olarak SQLite - MemoDB kullanılmıştır.

DataOCEAN sistemi tasarlanırken veri havuzundan nitelikli olan veriye hızlı erişim hedeflenmiştir. Çalışmada, dağıtık sistemler arası merkezi veri erişimi ve entegrasyon sorununa optimum bir çözüm getirilerek, yazılım süresi azaltılarak kullanım kolaylığı sağlanmıştır (Özdikililer, 2017).

2.1. DataOCEAN Sistem Modeli

DataOCEAN entegrasyon modelinde ve uygulanan yapıda veriler birbirinden çok

farklı sistemlerde yer almasına rağmen, tek bir veri merkezinde bulunuyormuş gibi, merkezi bir yapıdan veri sorgulaması gerçekleştirilmektedir. Web servisleri ile erişimde, sorgulamalar ilgili veri kaynaklarına gönderilerek, elde edilen sorgu sonucu kullanıcıya sunulmaktadır. Web servislerinin yönlendirildiği DataOCEAN merkezi bilgi kontrol katmanı tasarlanırken hem hızlı veri girişi, hem de veriye hızlı ulaşım için uygulanması gereken kurallar korunmuştur.

DataOCEAN özellikleri;

- Entegrasyon yazılım katmanındadır.
- Merkezi veri erişimi sunmaktadır.
- Veri ve veri kaynaklarının yapısı ve türü özgündür.
- Platform bağımsızdır ve her sisteme entegre olabilmesi için bir arabirim kodlanmıştır.

Sistem için gerek koşul: modelde yer alan yapıların tamamının internet çıkışının olmasıdır. Platformdan bağımsız olduğu için bu anlamda bir kısıt söz konusu değildir. İkinci önemli gerek koşul ise; her veri için hazırlanan servisin web servisi standartlarını sağlayan yapıda olmasıdır.

Web servislerinin sistem kütüphanesine eklerken izlenen nesne tabanlı tanımlama mantığı ve algoritması bu çalışmanın kattığı yeniliktir. Entegrasyon arabiriminde web servisi şeklinde sunulabilen her türden verinin birbiri ile entegre edilme olanağı vardır. Veri sorgulama işlemi, sistemler birbirinin yapısını bilmek zorunda olmaksızın, yazılımsal bir ara katman aracılığı ile tek bir veri alanından veri sorgularmış gibi gerçekleşmektedir. Sistemler arası entegrasyon yazılım katmanında, yazılım arabirimi eklenerek sağlanmıştır.

DataOCEAN Bilgi Sistemi Modeli, SOA mimarisi üzerine kurulmuş, web'e çıkışı olan, her ortama uyarlanabilir, platform bağımsız, bir modeldir(Şekil 1).

2.2. DataOCEAN Çalışma Mimarisi

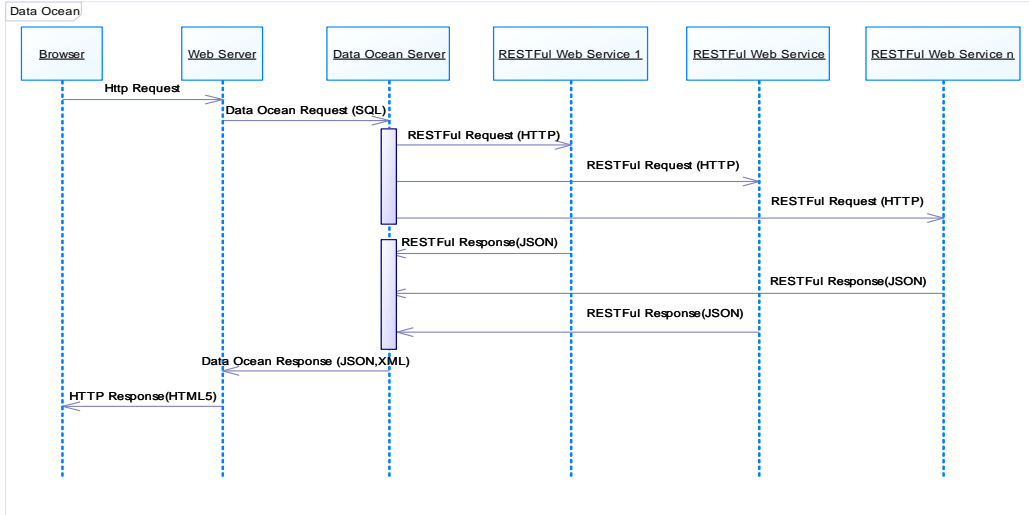
DataOCEAN'da kullanıcı, sistemde yer alan web servislerinin kaynakları ve yapılarıyla direkt ilişkili değildir. Ancak, sorgulama esnasında en doğru kabul edilen veriyi kullanacak şekilde tasarlanmıştır. Sistemde tanımlı olan web servisleri içerdikleri verilere ve yanıtlayacakları sorgu tiplerine göre tutulmaktadır.

- Web servislerinin OceanLIBRARY-(OLY) kütüphanesindeki tanımı, OOP Namespace (Object Oriented Programming Namespace) yapısını anımsatan bir hiyerarşi güdülecek şekilde tanımlanmıştır.
- Sistem sunucularında kurulmuş olan DataOcean arabirimi, SQL (Structured Query Language) ile birbirine bağlanarak sorgulamayı kolaylaştırmaktadır.

DataOCEAN modeli REST mimarisine göre dizayn edilmiş ve kodlanmış bir RESTful web servisi olarak çalışmaktadır. Sisteme gelen sorgu, sql cümleciğini alır ve işlendikten sonra JSON yapısında veri döndürür (Özdekililer, 2017).

2.3. DataOCEAN WEB Servisleri

DataOCEAN web servisi tanımlama alanında, Servis ekleme, Servis güncelleme, Servis silme ve Servis senkronizasyonu işlemleri yapılmaktadır. Web servis tanımları nesne yönelimli mimari yapısına uygun olarak yapılır. İlk servis tanımlamasından sonra servis yapısındaki değişikliklerde DataOCEAN’da kod olarak bir değişiklik gerekmemektedir. DataOCEAN modelinin en önemli katkılarından biri yazılım katmanında yapılan servis tanımlama mantığıdır. DataOCEAN yapısında geleneksel URL okuma ve güncelleme işlemleri yapılması gerekmez. Birbirine bağlı DataOCEAN sunucuları birbirleri üzerindeki servis kütüphanelerini sürekli senkronize ederler.



Şekil 1. DataOCEAN Sistem Modeli.

Değişen bir servis diğer sunucularda da güncellenmiş olur. Servis tanımının yer aldığı JSON dosyası, sistemde bulunan “webservices” dizininin içindeki alt dizinlere servisin isim uzay(namespace)’inin adlandırma sırasına göre yerleştirilmelidir. DataOCEAN da bulunan ADD Registry OLY kütüphanesine yeni web servisi eklenmesini sağlar. Gelen servis bilgisini okuduktan sonra, gelen servise özel JSON dosyasını oluşturur.

Her sistemin kullandığı temel web servisi KİMLİK olduğundan uygulamada da birincil servis olarak belirlenmiştir. Kimlik Bilgi Servisi ülkemizde yaygın olarak kullanılan Kimlik servisindeki yapı kullanılarak

hazırlanmıştır. Bütün servislerde kullanılan veriler gerçeğe uygun üretilmiştir.

DataOCEAN yapısında demografik servislerin yanısıra konumsal servisler de yer almaktadır. Veri erişimi ve paylaşımı için birlikte çalışabilirlik ilkeleri esas alınarak çalışılması gerekmektedir. Birlikte çalışabilirlik altyapıları ve standartları tüm alanlarda vazgeçilmez olduğu gibi, konumsal veri ve konumsal servisler alanında da önemli bir gereksinimdir. Sistemin konumsal veri ekleme ve görselleştirme yeteneği de önemlidir. DataOCEAN Sisteminin adres konum servisi Google MAP’in kullandığı GeoCode (Google) servisini kullanmaktadır. Servise gelen açık adres bilgisinin

GoogleMAP GeoCode API'ını kullanarak adresin enlem, boylam ve harita (map) adresini almaktadır. Bu konum bilgisi Google Map üzerinde noktasal olarak ifade edilmektedir.

3. UYGULAMA

İstanbul ilçelerinde planlanan kentsel dönüşüm çalışmaları ve bu kapsamda yeni yapılara olabilecek talep ve potansiyel alıcı kitlesi belirlemek amacıyla çeşitli kurumlardan alınacak bilgilerin entegre edilerek bir tahmin sonucunun üretilmesi DataOCEAN uygulama konusu olarak seçilmiştir.

Son 5 yılda, İstanbul-Beşiktaş ilçesinde yapılan yeni yapılar, değişim ve dönüşüme uğrayan bölgeler, muhtemel konut fiyatları, kayıp ve artışlarıyla birlikte, mülk satışı değerleri, ilçe sakinlerinin ortalama gelir/gider bilgileri ile potansiyel alıcı kitlesi belirleme çalışması planlanmıştır. Yapılan bu kurguda gerekli olan bilgiler: Yeni yapılar, konumları, bu konuma yakın ikamet eden kişiler, ilgili kişilerin banka bilgileri, önceden belirlenmiş hesap bakiyesi tutarı olanların kredi notu, tanıtımın yoğunlaşacağı hedef kitlenin belirlenmesi vb. bilgilerdir. Bu prototip uygulamada kullanılan veriler gerçek veriler ve gerçek kimlikler olmayıp, gerçeğe uygun olarak üretilmişlerdir.

3.1. Örnek Sorgulama Algoritması İlgili bölgelerde yaşayanların tespiti

- Harita üzerinden çalışılacak bölge seçilir.
- Seçilen alanda ikamet edilen kişilerin bilgisi alınır. Adres veri tabanından alınan anlık veri, uygulama aracılığı ile üretilen tabloya aktarılır.
- Aktarılan tablodan TC Kimlik No elde edilir.

Kişilerin banka bilgisine erişilmesi.

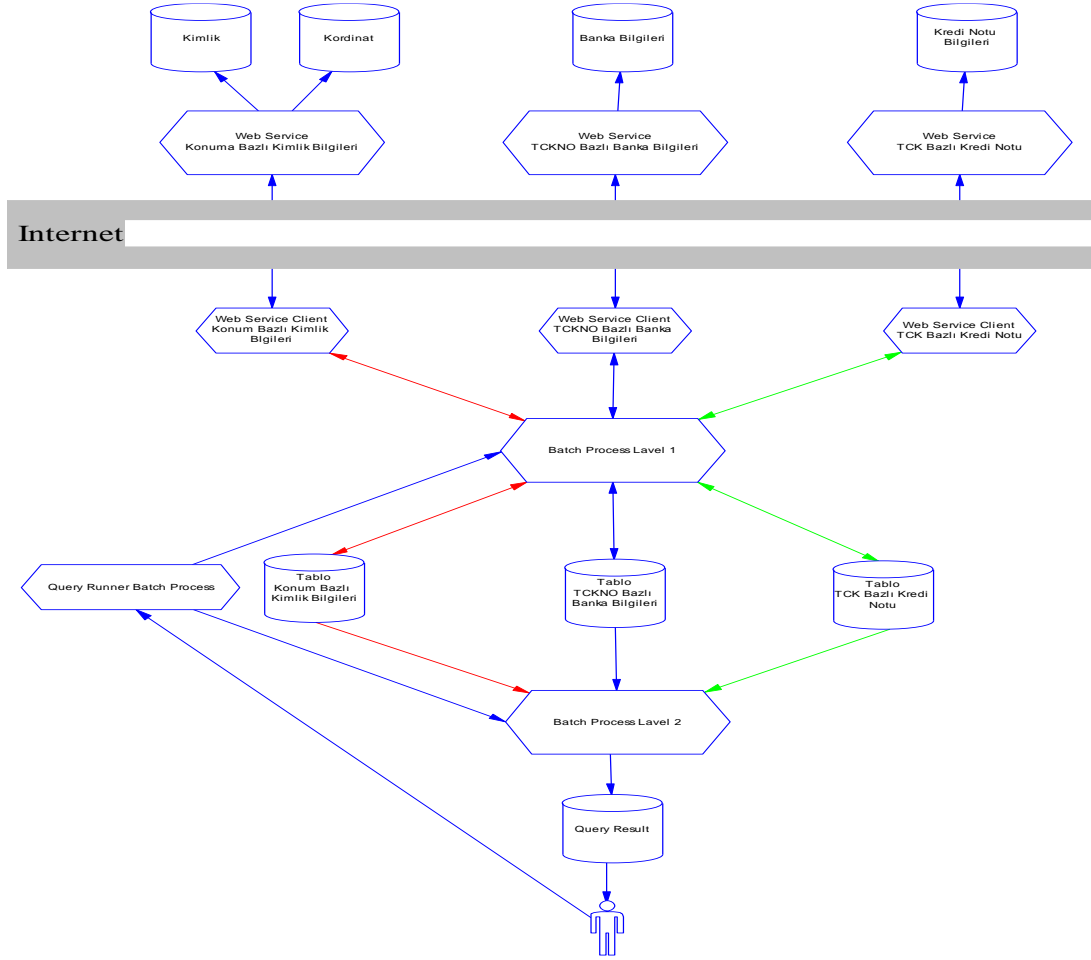
- TC Kimlik No'lara WS_Banka servisi ile, belirlenmiş kriterler doğrultusunda sorgu oluşturulur, servise aktarılır, bilgilere ulaşılır, uygulama aracılığı ile Banka tablosuna/JSON dosyasına aktarılır.

Kredi notu tespiti

- Banka tablosundaki kişilerin WS_Kredi Notu servisiyle sorgulanır, veriler uygulama aracılığı ile tabloya/JSON dosyasına aktarılır.

Operasyon

Bu kurguda toplam 4 web servisi kullanılmış, 3 ayrı tablo/JSON dosyası oluşturulmuştur. Mekansal sorgulama sonrası elde edilen veri, referans harita kullanılarak görselleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. DataOCEAN Uygulama Çalışma Mimarisi

Tasarlanan modelin şematik gösterimi Şekil 2'de yer almaktadır. İzlendiği gibi, web servisinin *request* objesi ile hangi elemanları sorgulanacak ise, yeni bir *where clause* yaratılmaktadır. Sisteme gelen istek sonrası merkezi bilgi kontrol katmanında bulunan algoritma ile ulaşılacak web servisleri ve erişim sırası belirlenmektedir. Yapılan çalışmada kullanıcı talebi sonrasında oluşan ilgili girdi parametreleri DataOCEAN kontrol katmanı aracılığı ile önceden belirlenmiş algoritma kullanılarak ilgili servislere yönlendirilmiş ve çalışma başlatılmıştır. Kullanılan web servisi sayısı, servislerin aktarıldığı tablo yapı ve sayıları talep edilen

sonuç doğrultusunda tamamen dinamik olarak oluşturulmuştur.

Sorgulamada yönlendirilen sonuç bilgisi Google Map altlıklı haritada ve grid şeklinde yer almaktadır. Kullanılan toplam 4 servisten sorgulanan veri süresi 00:01:53 olarak görülmektedir.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

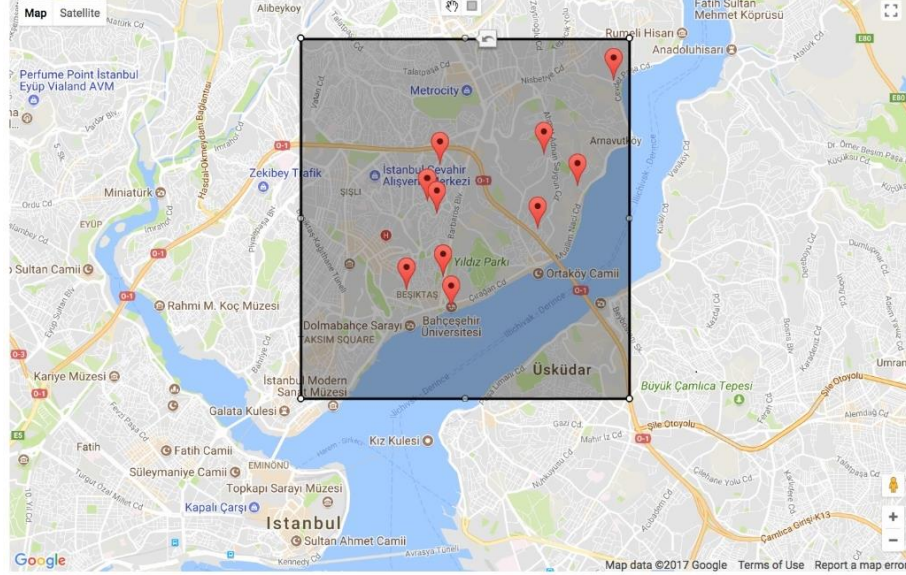
DataOCEAN sistem modeli SOA yapılarının entegrasyon süreçlerinde daha verimli kullanılması amacı ile tasarlanmış, prototip yazılım ve gerçeğe yakın kurgulanan uygulama çalışma ortamı ile birlikte sunulmuştur.

Query:

```
select *  
from net.egnar.ws.krediderce krediderce,  
net.egnar.ws.kimlik kimlik,  
net.egnar.ws.adres adres,  
net.egnar.ws.kordinat kordinat  
where krediderce.puan > 1000  
and kimlik.tckno=krediderce.tckno  
and adres.tckno=kimlik.tckno  
and adres.adres like '%BEŞİKTAŞ'  
and kordinat.adres = adres.adres
```

Run

Execution Time:00:01:53 RowCount:12



Result:

TKCKNO	PUAN ADI	SOYADI	ANNE ADI	BABA ADI	ANNE KIZLIK SOYADIDOGUM YERİ	DOGUM TARİHİMEDENİ DURUMUL	İLCE	ULKEPOSTA KODUA
27937950956	1200	HÜSEYİN	KARAMUK	MELAHAT	ALI	İSTANBUL	1950-05-31	34 1183 TR 34349
29020271092	1018	İBRAHİM	ÖZDOĞAN	HIKMET	MUSTAFA	TAŞANLI	1989-07-14	34 1183 TR 34100
30524355478	1051	SEYFETTİN	ÖZDOĞAN	NURİYE	EYYÜP	İSTANBUL	1965-06-15	34 1183 TR 34349
24830500844	1051	SEYFETTİN	ÖZDOĞAN	NURİYE	EYYÜP	İSTANBUL	1965-06-15	34 1183 TR 34354
24842151782	1012	ERDAL	YILDIZ	NURİYE	CEMALETTİN	RİZE	1957-03-07	34 1183 TR 34050
49798150956	1871	NEJAT	ALTAN	PEYKER	CELALETTİN	İSTANBUL	1950-05-31	34 1183 TR 80280
29020271095	1215	FURKAN	DEMİRBAŞ	GÜLER	HÜSEYİN	ÜSKÜDAR	1989-07-14	34 1183 TR 34353
30524355478	1679	BÜLENT	KOÇAK	NURİYE	HAMDİ	İSTANBUL	1965-08-04	34 1183 TR 34330
30848260922	1800	ALİ	GİRİT	RAHİMİYE	CIHAN	RİZE	1981-04-22	34 1183 TR 34342
44821751192	1799	MUSTAFA	AYKUT	AYŞE	HIKMET	İSTANBUL	1989-07-14	34 1183 TR 34357
49278154816	1312	SELAHATTİN	FESİH	ŞERİFE	HASAN	TAŞANLI	1989-07-14	34 1183 TR 34340
54166027294	1001	EYYÜP	TUZEL	FERİHA	HIKMET	İSTANBUL	1965-08-04	34 1183 TR 34439

Şekil 3. DataOCEAN Sonuç Ekran Görüntüsü.

Modelin tasarım aşamasında belirlenen temel amaç sistemler arası entegrasyon işleminde iyileştirme ve yazılım hazırlama sürecini kısaltmaktır.

Bu çalışmada Web servisleri “birlikte çalışabilirlik” esasına uyularak standartlar çerçevesinde tasarlanmıştır. Konumsal servislerde OGC yapıları esas alınmıştır. Çalışmadaki sonuçlar gerçeğe yakın ortam yaratılarak incelenmiş ve yorumlanmıştır. Konumsal veri bilgisi, gelen servislerde bulunmakla birlikte, veri boyutlarının büyük olacağı ön görülerek (örn. uydu görüntüleri), sistemin merkezi yapısında da yer almaktadırlar.

SOA yapılarının entegrasyon süreçlerinde verimli kullanılan olanaklarından yararlanılarak

tasarlanmış olan DataOCEAN ile, SOA yapılarının entegrasyon süreçlerine dahil edilmemesi durumu için amaçlanan işlem için test çalışması yapılmıştır. DataOCEAN sistem modeli ile amaçlanan işlemin kısa sürede hızlı ve doğru olarak yapıldığı tesbit edilmiştir.

Web servislerin doğruluk derece değerleri, servisleri OceanLibrary kütüphanesine tanımlama aşamasında bir kabul doğrultusunda belirlenerek eklenmektedir. Eklenen web servisinin doğruluğu ham veriyi servis veritabanına ekleyen kurumun güvenilirliği doğrultusunda kararlaştırılmaktadır.

Bu çalışmanın özgün katkılarından biri: yazılım katmanında yapılan servis tanımlama algoritmasıdır. DataOCEAN yapısında URL okuma ve güncelleme işlemlerinin yapılması gerekmeksizin DataOCEAN sunucuları

değişiklik durumunda (ekleme, çıkarma, düzenleme) servis kütüphanelerini senkronize etmektedir. Sisteme entegre olan yapılar birbiri ile senkronizedirler.

Yazılım ölçütleri, tasarım ve kodun anlaşılabilirliği, kodlama kolaylığı, hızı, maliyet, üretim zamanı, bakım ve kullanım kolaylığı süreci açısından değerlendirmeleri içermektedir. Tasarım sonrası, programlama döneminde, henüz yazılım çalıştırılmadan, sadece kaynak kodu incelemek için kullanılan statik metrikler ve yazılımın çalışması sırasında toplanan verilerden elde edilen dinamik metrikler değerlendirilmiştir. DataOCEAN modeli ve yazılımda yer alan nesnelere, sınıflar ile aralarındaki ilişkiler, ilişkilerin yapısal özellikleri nesne yönelimli tasarım metrikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, Php Metrics'den üretilen raporda (Lepine, 2017): uygulamanın az satır sayısı ile gerçekleştirildiği, kod satır sayısı ile yapılan işlem orantısı karşılaştırıldığında, yazılım açısından başarılı olarak değerlendirildiği, sınıflar arasındaki etkileşim kabul edilebilir, hatta, iyi sayılabilecek normlar içerisinde olduğu sonuçları belirtilmiştir. Kod karmaşıklığı açısından bazı noktalar için erişim konusunun incelemeye tabi tutulması gerektiği ve yazılan sınıfların tespitinin karmaşık olduğu belirlenmiştir. Tasarım birden fazla mimariyi esas aldığından, kompleks bir yapıya sahiptir ve yazılım tarafından karmaşık kabul edilmesi beklenen bir sonuçtur.

DataOCEAN dinamik metriklerin değerlendirmesi sonucunda; metodların sayısının az olduğu, fakat karmaşıklığının da sınıfın geliştirilmesine ve bakımına harcanacak zaman-çaba oranını kabul edilebilir sınırlar içerisinde bıraktığı raporlanmıştır.

DataOCEAN sisteminde, bilginin bilgisi, birbiri ile ayrı ayrı birer sistem olup, efektif kullanılan yapıların entegrasyonunda, anlık veri erişiminin yanısıra güncelleme de aynı doğruluk ve hız çerçevesinde yapılmaktadır. Gelecek çalışmalarda, anlık sorgulanan verinin veritabanına eklenmesi ile ilgili bir algoritma katkısı ile DataOCEAN, uzun vadede mükerrer veri kaydı içermeyen arşiv verisi de oluşturabilecek bir uygulamadır. Hızlı veri paylaşımına uygun mimarisi ile servis odaklı ve zamana bağlı bir model olarak son kullanıcının hizmetine sunulmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İTÜ Bilişim Enstitüsü Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programında tamamlanmış olan "Entegre Bilgi Sistemi Modeli Geliştirilmesi: DataOCEAN" başlıklı tezden üretilmiştir. Doktora çalışmasını destekleyen İTÜ Bilimsel Araştırmalar Proje Birimine çalışma için sundukları olanak ve katkılar için teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Al-Kiswany, S., et al., *A cross-layer optimized storage system for workflow applications*. Future Generation Computer Systems, 2017. **75**: p. 423-437.
- Bahree, A., et al., *Pro WCF: practical Microsoft SOA implementation*. 2007: Apress.
- Fielding, R.T., *Architectural styles and the design of network-based software architectures*. 2000, University of California, Irvine.
- Glatard, T., et al., *Software architectures to integrate workflow engines in science gateways*. Future Generation Computer Systems, 2017. **75**: p. 239-255.
- Ghadiri, N., M. Ghaffari, and M.A. Nikbakht, *BigFCM: Fast, precise and scalable FCM on hadoop*. Future Generation Computer Systems, 2017. **77**: p. 29-39.
- Google, <https://developers.google.com/maps/documentation/geocoding/intro>, available in 11.03.2018
- Krafzig, D., K. Banke, and D. Slama, *Enterprise SOA: service-oriented architecture best practices*. 2005: Prentice Hall Professional
- Lepine, J.-F. *Metrics for PHP*. 2017 (cited 2017 14.11.2017); Jean-François Lepine). Available from: <http://www.phpmetrics.org//documentation/index.html>.
- Özdikililer, E. (2017). Doktora Tezi, İTÜ Bilişim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye. *Entegre Bilgi Sistemi Modeli Geliştirilmesi: DataOCEAN©*
- Söderström, E. and F. Meier, *Combined SOA maturity model (CSOAMM): Towards a guide for SOA adoption*, in *Enterprise Interoperability II*. 2007. Springer. p. 389-400.

Uzaktan Algılama Teknikleri İle Arazi Kullanım Değişiminin İncelenmesi: Köprübaşı İlçesi Örneği

Osman Salih YILMAZ^{1*}, Fatih GÜLGEN², Ramazan GÜNGÖR³, Fatih KADI⁴

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Köprübaşı Meslek Yüksekokulu, Harita ve Kadastro Programı, Manisa
(osmansalih.yilmaz@cbu.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0003 – 4632 – 9349

²Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul
(fgulgen@yildiz.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 8754 – 9017

³Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Demirci Meslek Yüksekokulu, Coğrafi Bilgi Sistemleri Programı, Manisa
(ramazan.gungor@cbu.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 6338 – 8554

⁴Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Trabzon
(fatihkadi@ktu.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 6152 – 6351

Öz

Bu çalışmada Manisa ili Köprübaşı ilçesinde 2008 ve 2017 yılları arasında arazi kullanımında meydana gelen değişimler araştırılmıştır. Köprübaşı ilçesinin Demirköprü Barajını içine alacak şekilde belirlenen sınırlar yaklaşık 324 km²'dir. Çalışma alanında, 30 m mekânsal ve 8 bitlik radyometrik çözünürlüğe sahip Landsat 2008, 2013 ve 2017 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Belirlenen yıllarda Köprübaşı ilçesine ait arazi kullanımı sınıfları, CORINE sistemine göre oluşturulmuştur. Bölgenin arazi kullanımı meşe ormanı, demirköprü barajı (su yüzeyi), ekili tarım alanı ve diğer alanlar olmak üzere dört farklı sınıfta gruplandırılmıştır. Her bir Landsat görüntüsü için sınıflandırma işlemi kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırmanın doğruluğu kappa testi yapılarak kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan meşe orman alanlarının azaldığı, ekili tarım alanlarının arttığı ve baraj su seviyesinin yıllara göre değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle bölgede büyük öneme sahip olan Demirköprü Barajı'ndaki su seviyesi değişimlerinin Uzaktan Algılama yöntemleriyle kolaylıkla tespit edilebileceği ve baraj su seviyesinin mevsimsel hava durumu tahminlerine bağlı olarak kontrol altında tutulabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan Algılama, Arazi Kullanımı, Demirköprü Barajı, En Yüksek Olasılık

Investigation of Land Use Change with Remote Sensing Techniques, The Case of Köprübaşı District

Abstract

In this study, the changes of the land use were investigated in the district of Köprübaşı province of Manisa between 2008 and 2017. The district including with the Demirköprü Dam is approximately 324 km². Landsat satellite imageries belonging to years of 2008, 2013 and 2017 with 30 m spatial and 8 bit radiometric resolution were used in the study area. Land use classes were built according to the Coordination of Information on the Environment (CORINE) system. The land is classified into four groups: the areas of oak forest, water surface for Demirköprü Dam, cultivated agriculture and other. The classification process for each Landsat image was performed in a controlled manner. The correctness of the classification was checked out by performing the kappa test. The results of classification show that cultivated areas have increased while oak

* Sorumlu Yazar

forest areas have decreased. It has been seen that the dam water level and other areas vary in relation to each other over the years. The study shows that the changes of water level in Demirköprü Dam, which has large reserves especially in the region, would be easily detected by Remote Sensing methods and dam water level would be controlled depending on seasonal weather forecasts.

Keywords: Remote Sensing, Land Use, Demirköprü Dam, Maximum Likelihood

1. GİRİŞ

İnsan yaşamının bir parçası olan toprağın verimli kullanımı ülkelerin artan nüfuslarına bağlı ihtiyaçların karşılanmasında büyük önem arz etmektedir. Arazilerin sınıflandırılması ve kullanım durumlarının takip edilmesi doğru ve gerçekçi planların yapılmasına olanak sağlar. Coğrafi mekânın planlanmasında etkin bir rol oynayan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve dolaylı veri üretimini hızlı bir şekilde sağlayan Uzaktan Algılama (UA) ile arazi kullanımı, arazi yönetimi, tarım uygulamaları vb. pek çok çalışma kolaylıkla yönetilebilmektedir. Arazi üzerindeki değişimlerin zamansal olarak incelenmesinde ve arazi kullanım durumu tespitinde çoğu zaman uydu görüntüleri kullanılmaktadır (Cardille ve Foley 2003; Lobo vd. 2004). Yapılan arazi çalışmaları ile farklı zamanlara ait elde edilen uydu görüntüleri yardımıyla, arazi kullanım sınırları sayısal olarak tespit edilerek değişimler izlenebilir (Genç vd. 2009).

Uydu görüntüleri üzerinden arazi kullanımı genellikle sınıflandırmaya dayalı olarak belirlenir. Sınıflandırma, farklı spektral bileşenleri içerisinde barındıran görüntülerin temel birimini oluşturan piksellerin benzer özelliklerinin belirlenerek eşlenmesi ve ardından eşlenen piksellerin aynı nitelik grubu içerisinde değerlendirilmesi işlemidir. Uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kontrollü ve kontrolsüz olarak adlandırılan iki farklı sınıflandırma yöntemi kullanılmaktadır. Sınıflandırılacak arazi hakkında yeterli bilgi yoksa veya hazırlık aşamasında araziyi tanımak için kontrolsüz sınıflandırma uygulanır. Bu yöntemde benzer spektral niteliklere sahip pikseller gruplandırılarak sınıflara ayrılır. Kontrollü sınıflandırma yönteminde ise amaç; sınıflandırma işleminden önce sınıfları belli olan ve çalışma sahasındaki tüm görüntüyü temsil eden pikseller yardımıyla alt spektral özellikleri içeren sınıfların belirlenmesidir (Çölkesen, 2012).

Kontrollü sınıflandırmada değerlendirilen pikseller sınıflardaki piksellerle karşılaştırılır ve karşılaştırma sonucunda en çok hangi sınıfa benziyor ise piksel o sınıfa atanır. Pikseller arasında karşılaştırma çeşitli yöntemler kullanılarak gerçekleştirilir. *En kısa mesafe* (minimum distance), *paralel kenar* (parallelepiped), *en yüksek olasılık* (maximum likelihood) yöntemleri en çok bilinen karşılaştırma yöntemleridir (Ayhan vd. 2002). Bu çalışmada, kontrollü sınıflandırma yöntemlerinden en yüksek olasılık ile test bölgesi için farklı tarihlerdeki arazi kullanımındaki değişimlerin izlenmesi hedeflenmektedir. Bu yöntemle ilişkin ayrıntılar çalışmanın üçüncü bölümünde verilmektedir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

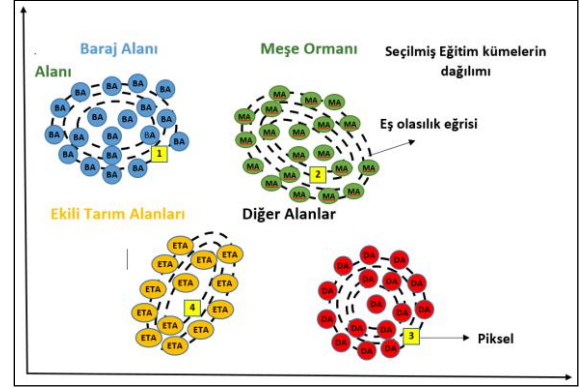
Yakın zamanda, uydu görüntüleri üzerinden sınıflandırma işlemiyle arazi kullanımının belirlenmesine ve değişimlerin izlenmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Levent vd. (2010), Çanakkale, Bozcaada'nın bitki örtüsünü belirlemek için 2006, 2007 ve 2008 yıllarına ait LANDSAT ETM uydu görüntülerinden, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Tasseled Cap (TC) ve Principle Component Analysis (PCB) yöntemleriyle kontrollü sınıflandırma işlemi yapmıştır. Çalışma kapsamında, geniş bitki örtüsü envanterine sahip alanlarda NDVI yerine TC analizi ya da PCB analizleriyle üretilen görüntülerin kullanılmasının daha yüksek doğruluğa sahip sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Haque ve Basak (2017), Bangladeş'in Tanguar Haor bölgesinde arazi değişimini belirlemek için geçmiş ve yakın tarihlere ait uydu görüntülerini kullanarak 1980-2010 yılları arasındaki değişimi NDVI yöntemiyle analiz etmiş ve çalışma bölgesinin %40'ında ormanlık alanların hızla azaldığını belirlemiştir. Butt vd. (2015), Pakistan'daki Simly havzasında arazi kullanım değişimlerini

belirlemek için 1992 ve 2012 yıllarına ait Landsat 5 ve SPOT 5'ten elde edilen uydu görüntülerini ERDAS yazılımı ile kontrollü olarak sınıflandırmıştır. Kontrollü sınıflandırma için *en yüksek olasılık algoritması* kullanılmıştır. Tarım alanları, kullanılmayan alanlar, yerleşim yerleri, bitki örtüsü ve su yüzeyleri sınıfları oluşturulmuştur. Çalışmanın sonucunda bitki örtüsü alanlarının %38,2 ve su yüzeyi alanlarının %74,3 oranında azaldığı, diğer alanlarda ise kayda değer bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir. Garipağaoğlu ve Duman (2018), İstanbul ili Çatalca ilçesinde arazi kullanım durumunu belirlemek için 1987, 2000 ve 2016 yıllarına ait LANDSAT uydu görüntülerini kullanmıştır. Erdas Imagine yazılımı ile kontrolsüz sınıflandırma uygulanarak sahada arazi kullanımında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Sonuç olarak 1987 – 2016 yılları arasında şehir alanlarında ve su alanlarında %57,1 oranında bir artış olduğunu belirlemişlerdir. En fazla artış %125'lik oranla çıplak arazi – yapı – yol sınıfında görülmüştür. Çalı, ot ve sazlık alanlarda %57,4'lük bir düşüş olduğu görülmüştür. Yine Çatalca ilçesi'nin tarım alanlarında %12,6'lık bir düşüş tespit edilmiştir. Orman alanlarındaki artış ise %18,4 olarak belirlenmiştir. Ahmad vd. (2017), Hindistan'ın Raebarelli ilçesi'nde sadik arazilerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama kullanılarak arazi değişiminin tespiti üzerine bir çalışma yapmışlardır. Sadik arazi pH değeri 9,5-10,5 olan %15 den daha yüksek sodyum yüzdesi olan doğal olarak antropojenik kaynaklı yüksek derece tuzdan arındırılmış topraklardır. Maksimum olasılık algoritması uygulanmıştır. Sonuç olarak sadik alanların 18.483,60 ha azaldığını tespit etmişlerdir.

3. EN YÜKSEK OLASILIK YÖNTEMİYLE KONTROLLÜ SINIFLANDIRMA

En yüksek olasılık yönteminde bir çalışma bölgesinde önceden tespit edilen sınıflar için hesaplanan olasılık değerleri dikkate alınarak her bir piksel en yüksek olasılıklı sınıfa dahil edilir (Ekercin ve Ömerci, 2008). Yöntem, değerlendirilen sınıflar için eş olasılık eğrilerinin tanımlanmasına ve sınıflandırılacak

piksellerin üye olma olasılığı en yüksek olan sınıfa atanması ilkesine dayanır (Şekil 1). Yöntemin etkinliği her spektral sınıf için ortalama ve kovaryans matrisin doğru tahmin edilmesine bağlıdır (Ayhan vd. 2002).



Şekil 1. En Yüksek Olasılık Sınıflandırma

En yüksek olasılık yöntemiyle gerçekleştirilen sınıflandırma işlemi kullanılan eşitlikler aşağıda özetlenmiştir (Ayhan vd. 2002).

w_i i ' inci sınıfı, $j=1,2,\dots,M$ görüntü üzerindeki sınıf sayısını gösterdiğinde, (1) eşitliğinde verilen sınıflandırma kuralına göre, x 'in i sınıfına ait olduğuna karar verilir.

$$g_i(x) \geq g_j(x) \text{ ise } j \neq i \text{ için } x \in w_i \quad (1)$$

Olasılık yoğunluk fonksiyonu, ortalama vektör ve kovaryans matrisi (2) ve (3) eşitlikleriyle ifade edilir.

$$p(x|w_i) = (2\pi)^{-n/2} * |S_x|^{-0.5} * \exp [-0.5(x-m_i) S_x^{-1}(x-m_i)] \quad (2)$$

$$m_i = 1/K * \sum_{k=1}^K x_k \quad ; \quad S_x = 1/(K-1) * \sum_{k=1}^K ((x-m_i)^T * (x-m_i)) \quad (3)$$

Burada;

$p(x|w_i)$ = Sınıf-koşullu olasılık dağılım fonksiyonunu,

x = piksel vektörünü,

m_i = sınıf ortalamasını

n = kullanılan bant sayısını

S_x = varyans - kovaryans matrisini,

$(x - m)^T - S_x^{-1} (x - m)$ = Mahalanobis uzaklığını ve

K = bir sınıfta bulunan toplam piksel sayısını göstermektedir.

Yapılan sınıflandırma işleminin doğruluğu iki veya daha fazla gözlem arasındaki uyumu ölçmek için kapa testi yardımıyla belirlenebilir. İlk olarak Cohen (1960) tarafından geliştirildiğinden dolayı Cohen'in kapa istatistiği olarak da bilinir (Keskin, 2004).

Cohen'in kapa katsayısı sadece iki gözlemci arasındaki uyumu ele alırken, uyumun ölçüldüğü gözlemci sayısı ikiden fazla ise Fleiss'in kapa katsayısı kullanılır. Uyumun değerlendirildiği değişken kategorik (nominal) değişken olduğu için uygulanan istatistik parametrik olmayan bir istatistik türüdür (Kılıç, 2015).

Kapa değeri aşağıdaki eşitlik (4) ile hesaplanır;

$$\kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (4)$$

Burada;

P_o = İki değerlendirici için gözlemlenen uyum oranı

P_e = Uyumun şansa bağlı ortaya çıkma olasılığını göstermektedir.

Kapa (K) değeri -1 ve +1 arasında bir değer alabilir bulunan değerler şu şekilde yorumlanır;

$K = +1$ İki gözlemcinin sonuçları birbiriyle tamamen uyumludur.

$K = 0$ İki gözlemci arasındaki uyum sadece şansa bağlıdır.

$K = -1$ İki gözlemci tümüyle birbirinin tersini değerlendirmektedir (Kılıç, 2015).

Hesaplanan K katsayı değerlerini Landis ve Koch (1977) aşağıdaki gibi yorumlamaktadır.

< 0 Şans faktörüne bağlı oluşabilecek uyumdan daha kötü seviyede uyum olması durumudur.

0,01 — 0,20 uyum önemsiz seviyede

0,21 — 0,40 uyum zayıf seviyede

0,41 — 0,60 uyum orta seviyede

0,61 — 0,80 uyum iyi seviyede

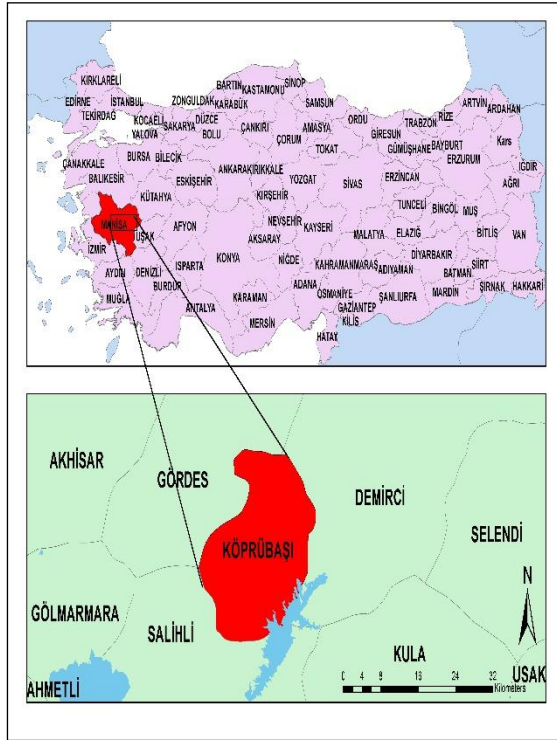
0,81 — 1,00 uyum çok iyi seviyede

4. YÖNTEM

4.1. Çalışma Bölgesi

Bu çalışma kapsamında uygulama Manisa iline bağlı Köprübaşı ilçesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). İlçede arazi kullanımının tespitine yönelik daha önce benzer bir çalışma yapılmamıştır. Köprübaşı Manisa'nın kuzeydoğusunda Salihli – Demirci karayolu üzerinde yer alan Gördes, Demirci, Salihli ilçelerine komşu bir ilçedir. İlçenin güneydoğusunda tarım alanlarına su sağlayan ve elektrik üreten Demirköprü Baraj Gölü yer almaktadır.

İlçenin bulunduğu bölgede Akdeniz iklimi hüküm sürmektedir. Kırsal yerleşimin hakim olduğu ilçenin ekonomisi genel olarak tarıma dayalıdır. Zeytin, çilek tütün, haşhaş ilçede yetişen başlıca ürünlerdir. Son beş yıl içinde çilek yetiştiriciliği kapsamında önemli yatırımlar yapılmıştır. Ayrıca ilçede meşe cinsi palamut ağaçları sıklıkla görülmektedir (URL - 1). Ormancılık açısından meşe ağaçlarının palamudu deri sanayi, boya endüstrisi ve hayvanlara yönelik tıbbi faaliyetlerde kullanılır (URL - 2). Son yıllarda arazi kullanımındaki çeşitli değişimler bölgeyi sosyo – ekonomik açıdan yoğun olarak etkilemektedir. Bu sebeple ilçedeki arazi kullanım değişimlerinin izlenmesi oldukça önemlidir.



Şekil 2. Köprübaşı ilçesi ve Yakın Çevresi



Şekil 3. Köprübaşı İlçesi Uydu Görüntüsü

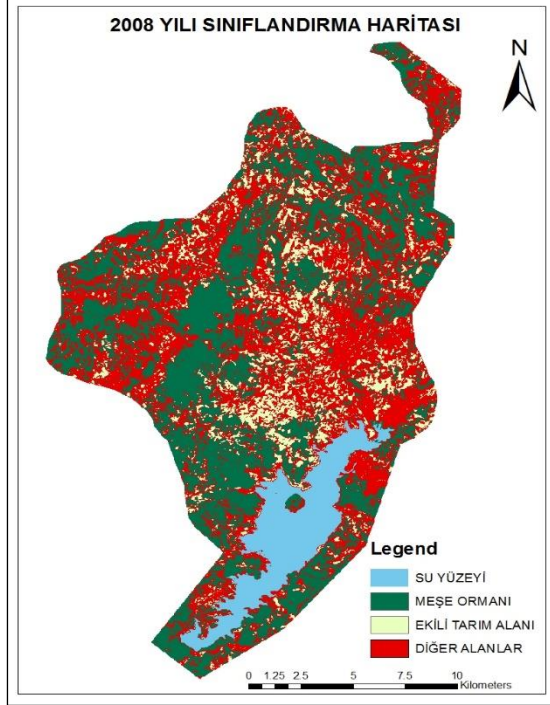
4.2 Kontrollü Sınıflandırma

Bu çalışma kapsamında, UA yöntemleriyle, 2008 ve 2017 yılları arasında arazi kullanımında gerçekleşen değişimler Landsat uydu görüntüleri üzerinden çıkarılmıştır. 20/08/2008 Landsat 7 ETM +, 15/08/2013 Landsat 8 OLI ve 25/07/2017 Landsat 8 OLI, 30 m mekânsal, 8 bit radyometrik çözünürlüklü görüntülerdir (Şekil 3). Arazi kullanım sınıfları, Avrupa Birliği Komisyonu tarafından 1985 yılında başlatılan arazi örtüsü programı CORINE'ye göre tespit edilmiştir. Köprübaşı ilçesi'nin sosyo – ekonomik durumuna uygun olarak arazi kullanım sınıfları, Baraj Alanı (BA), Meşe Ormanı Alanları (MA), Ekili Tarım Alanları (ETA) ve Diğer Alanlar (DA) olmak üzere dört farklı grupta sınıflandırılmıştır. DA sınıfında şehir merkezi, boş alanlar gibi çeşitli kullanım alanları gruplandırılmıştır.

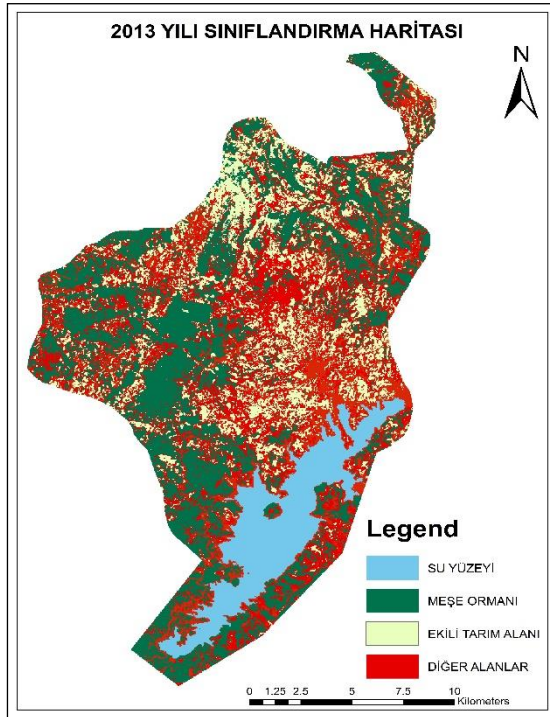
Landsat'dan elde edilen uydu görüntüleri, radyometrik düzeltmeleri yapılmış, WGS84 datum UTM projeksiyonlu görüntülerdir (URL - 3). Çalışmanın hazırlık aşamasında, uyduların aynı bölgeyi farklı tarihlerde görüntülemelerinden kaynaklanan geometrik hatalar 1/25 000 ölçekli standart topografik haritalardan yararlanılarak giderilmiştir. Geometrik düzeltmeler için yapılan dönüşüm işleminde karesel ortalama hata her görüntü için 0,5 pikselin altında kalmıştır. Geometrik düzeltmeleri yapılan uydu görüntüleri çalışma alanını içine alacak şekilde kırıldıktan sonra sınıflandırma işlemine geçilmiştir.

Çalışma bölgesi için en yüksek olasılık yöntemiyle belirlenen sınıflara ait görüntüler üzerinden homojen dağılacak şekilde alanlar seçilerek veri kümeleri oluşturulmuştur. Oluşturulan veri kümeleri kullanılarak her piksele kendisine en yakın değer atanmıştır. Ayrıca her sınıf için kontrol verilerini ortaya çıkaran kontrol noktaları kümesi içindeki dağılımın Gauss normal dağılım olduğu kabul edilmiştir. Bu varsayım altında sınıf deseninin dağılımı, ortalama vektör ve kovaryans matrisi yardımıyla tanımlanmıştır.

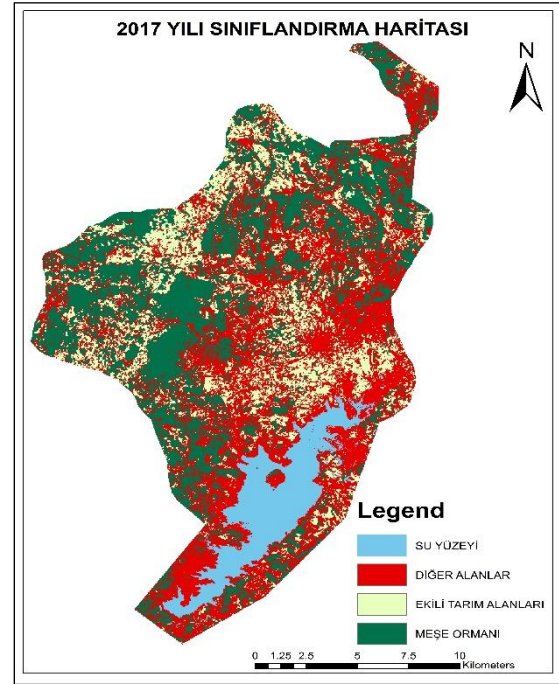
Her bir yıla ait elde edilen arazi kullanım durumu haritaları (Şekil 4, 5, 6)' da görülmektedir.



Şekil 4. 2008 Yılı Sınıflandırma Haritası



Şekil 5. 2013 Yılı Sınıflandırma Haritası

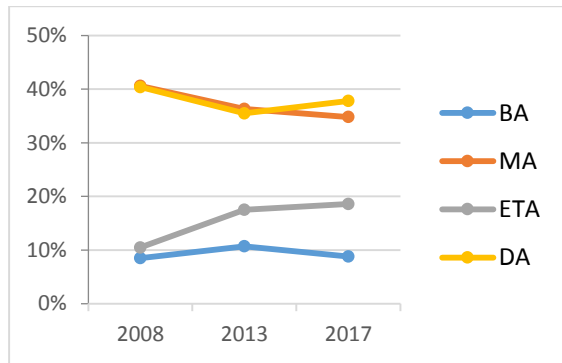


Şekil 6. 2017 Yılı Sınıflandırma Haritası

Sınıflandırılan raster görüntüler üzerinden raster vektör dönüşümü yapılmış ve arazi kullanımlarına ilişkin alan bilgileri ile yüzdelik dağılımlar hesaplanmıştır (Tablo 1). Yıllık değişimleri gösteren grafik Şekil 7'de görülmektedir.

Tablo 1. Arazi Kullanım Değerleri

Yıllar	2008	%	2013	%	2017	%
BA (ha)	2773,14	%8,5	3475,87	%10,7	2867,76	%8,8
MA (ha)	13164,16	%40,6	11767,43	%36,3	11292,55	%34,8
EA (ha)	3359,60	%10,5	5671,62	%17,5	6002,86	%18,6
DA (ha)	13106,53	%40,4	11488,51	%35,5	12240,26	%37,8
Toplam	32403,43	%100	32403,43	%100	32403,43	%100



Şekil 7. Arazi Kullanımındaki Yıllık Değişimler

Tablo 1 ve Şekil 7 sonuçları değerlendirildiğinde Demirköprü Barajı su seviyesinin 2008 yılında çalışma alanının %8,5'ini, 2013 yılında %10,7 ve 2017 yılında ise %8,8'ini oluşturduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre Demirköprü Barajı su seviyesi 2008 yılından 2013 yılına kadar 702,73 ha yani yaklaşık %2,2 oranında artmıştır. 2013 yılından 2017 yılına kadar ise 607,24 ha yani %1,9 oranında azalmıştır. Buradan 2008 ve 2017 yılları arasında baraj su seviyesinde dalgalanmalar olduğu anlaşılmaktadır. Bunun mevsimsel yağışlar ve baraj kullanımı ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Meşe ormanları değerlendirildiğinde 2008 - 2013 yılları arasında 1.396,73 ha yani yaklaşık %4,3'lük azalma, 2013 den 2017 yılına kadar ise 474,88 ha yani yaklaşık %1,5 oranında bir azalmanın devam ettiği gözlemlenmiştir. 2008 yılından 2017 yılına kadar geçen 9 yıl içinde meşe ormanları toplamda 1.871,61 ha yani %5,8 azalmıştır.

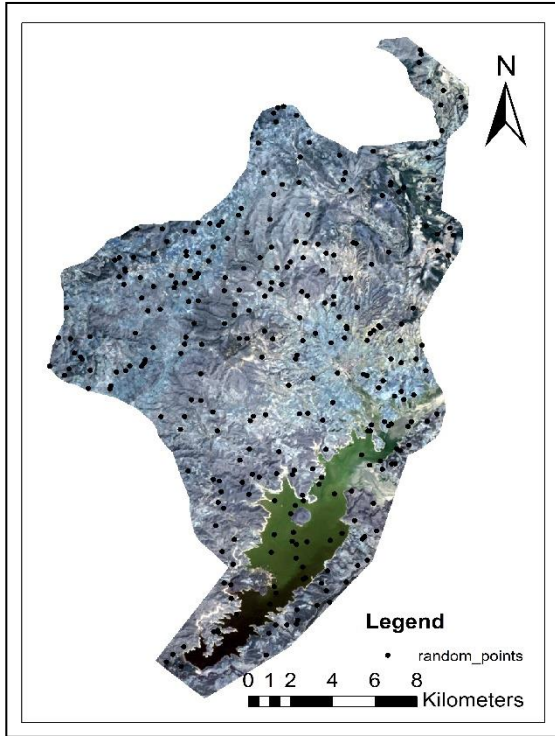
Meşe ormanlarındaki azalışın sebebi orman alanlarının tarıma açılması ya da ağaçların kesilerek sanayi ve enerji amaçlı kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ekili alanlar değerlendirildiğinde 2008 yılından 2013 yılına kadar 2.312,02 ha yani %7 oranında bir artış, 2013 yılından 2017 yılına kadar ise 331,24 ha yani %1,1 oranında bir artış görülmüştür. 2008 yılından 2017 yılına kadar geçen 9 yıl içerisinde ekili alanların toplamda %8,1 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışın nedeninin orman alanlarının azalmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Diğer alanlar olarak şehir merkezi, yol ve kullanılmayan boş alanlar değerlendirilmiştir. Bu alanlarda ise 2008 yılından 2013 yılına kadar 1.618,02 ha yani yaklaşık %4,9 oranında azalmış, 2013 yılından 2017 yılına kadar ise 751,75 ha yani %2,3 oranında artmıştır. Diğer alanlardaki dalgalanmalar baraj su seviyesindeki dalgalanmalar ile ilgilidir. Baraj su seviyesinin arttığı yerlerde boş alanların azaldı, baraj su seviyesinin düştüğü yerlerde ise boş alanların arttığı görülmektedir.

4.3 Doğruluk Analizi

Arazi kullanım haritalarının üretiminde kullanılan kontrollü sınıflandırma işleminin doğruluk analizi, 300 adet rastgele kontrol noktası kullanılarak kappa testi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 8). Kappa testlerinin sonuçları 2008, 2013 ve 2017 yılları için sırasıyla (Tablo 2, 3, 4)'de görülmektedir.



Şekil 8. Rastgele Dağılmış Noktalar

Tablo 2. 2008 Yılı Doğruluk Analizi

	BA	MA	ETA	DA	Toplam
BA	25	0	0	0	25
MA	0	85	5	18	108
EA	1	2	26	2	31
DA	1	13	5	117	136
Toplam	27	100	36	137	300

Genel Doğruluk = %84 Kappa = 0,76

Tablo 3. 2013 Yılı Doğruluk Analizi

	BA	MA	ETA	DA	Toplam
BA	25	0	0	0	25
MA	0	85	5	18	108
EA	1	2	26	2	31
DA	1	13	5	117	136
Toplam	27	100	36	137	300

Genel Doğruluk = %84 Kappa = 0,76

Tablo 4. 2017 Yılı Doğruluk Analizi

	BA	MA	ETA	DA	Toplam
BA	20	0	0	0	20
MA	1	107	1	3	112
EA	0	9	41	2	52
DA	1	16	6	93	116
Toplam	22	132	48	98	300

Genel Doğruluk = %87 Kappa = 0,81

Doğruluk analizleri değerlendirilmesi sonucunda 2008 yılı yapılan kontrollü sınıflandırmanın genel doğruluğu %84 ve kapa değeri 0,76 bulunmuştur. 2013 yılı yapılan kontrollü sınıflandırmanın genel doğruluğu %79 ve kapa değeri 0,71 bulunmuştur. 2017 yılında yapılan doğruluk analizleri sonucunda ise genel doğruluk %87 ve kapa değeri ise 0,81 bulunmuştur. Bulunan bu sonuçlara göre kontrollü sınıflandırmanın bu üç yıl için iyi düzeyde uyum gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada Manisa ili Köprübaşı ilçesinin Uzaktan Algılama kullanarak arazi değişimi izlenmiştir. Demirköprü Barajı'nın tamamını içine alacak şekilde düşünüldüğünde, yaklaşık 32.403,43 ha alana sahip olan Köprübaşı ilçesinde, 2008, 2013 ve 2017 yılları arasındaki arazi değişimleri baraj seviyesinde mevsimsel değişikliklerin, meşe orman alanlarının azaldığı, ekili alanların arttığı görülmüştür.

Ekonomisinin büyük çoğunluğu tarıma dayanan ilçenin tarımsal anlamda geliştiği söylenebilir. Ayrıca Demirköprü Barajı'nın su kullanımı planlaması açısından arazi kullanımının sınıflandırılmasının önemli rol oynadığı ve ileride baraja yönelik daha kapsamlı bir çalışmayla geleceğe yönelik mevsimsel kestirim hesaplarının ve buna bağlı olarak baraj suyunun enerji ve tarımsal açıdan kullanımının planlamasının yapılabileceği öngörülmektedir. Arazi değişimlerinin özellikle uydu teknolojilerinin gelişmesinin bir sonucu olarak UA'da kullanılan yöntemler ve yazılımlar ile çok daha kolay ve doğru

sonuçlar ile değerlendirilebileceği
görülmektedir.

KAYNAKÇA

- Ahmad, A., Upadyay, R. K., Lal, B., ve Singh, D. (2017). Change Detection of Sodic Land in Raebareli District Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Environmental Pollution*, 487-498.
- Ayhan, E., Karlı, F., ve Tunç, E. (2002). Uzaktan Algılanmış Görüntülerde Sınıflandırma ve Analiz. (www.hgk.msb.gov.tr/dergi/makaleler/130_3.pdf).
- Butt, A., Shabbir, R., Ahmad, S. S., ve Aziz, N. (2015). Land Use Change Mapping and Analysis Using Remote Sensing and GIS: A Case Study of Simly Watershed, Islamabad, Pakistan. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space*, 251-259.
- Cardille, J., ve Foley, J. (2003). Agricultural land-use change in Brazilian Amazônia between 1980 and 1995: Evidence from integrated satellite and census data. *Remote Sensing of Environment*, 551-562.
- Çölkesen, İ. (2015). Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntüleri Kullanarak Benzer Spektral Özelliklere Sahip Doğal Nesnelerin Ayırt Edilmesine Yönelik Bir Metodoloji Geliştirme. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Ekercin, S. (2008). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Entegrasyonu İle Tuz Gölü ve Yakın Çevresinin Zamana Bağlı Değişim Analizi. 29-40. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Garipağaoğlu, N., ve Emre, D. (2018). Çatalca İlçesi'nin Arazi Kullanımında Meydana Gelen Değişimler (1987-2016). *Marmara Coğrafya Dergisi*, 219-232.
- Genç, L., Saçan, M., Turhan, H., ve Aşar, B. (2010). Arazi Örtüsünün Landast TM Uydu Görüntüleri Yardımıyla Belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*.
- Haque, M., ve Basak, R. (2017). Land cover change detection using GIS and remote sensing techniques: A spatio-temporal study on Tanguar Hoar, Sunamganj, Bangladesh. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*.
- Keskin, S. (2004). 2x2 Tablolarında Bazı Genişlikleri ve I. Tip Seviyeleri (a) için Kappa (K) İstatistiğine Ait Ampirik Olarak

Gerçekleşen Kritik Değerler. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 169-173.

- Kılıç, S. (2015). Kappa Testi. *Journal of Mood Disorders*.
- Landis, R., ve Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 159-174.
- (URL 1) <http://www.koprubasi.bel.tr/ilcemiz-ILCEMIZIN-COGRAFYASI>. [Ziyaret Tarihi 10/02/2018]
- (URL 2) <http://www.medikaltedavi.com/mesenin-faydalari-ve-kullanim-alanlari>. [Ziyaret Tarihi 15/02/2018]
- (URL 3) <https://earthexplorer.usgs.gov>. [Ziyaret Tarihi 08/01/2018]

Kırsal Alanlarda SYM Üretiminde Filtreleme Yöntemlerinin Performans Analizi: Hava LiDAR Uygulaması; İstanbul Örneği

Mehmet DOĞRULUK^{1*}, Cevdet Coşkun AYDIN², Mustafa YANALAK³

¹Hacettepe Üniversitesi, Başkent OSB TMBYO, Harita ve Kadastro Programı, Ankara
(mehmet.dogruluk@hacettepe.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0001 – 6698 – 651X

²Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Ankara
(ceaydin@hacettepe.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0003 – 2064 – 6936

³İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul
(yanalakm@itu.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0001 – 6805 – 8768

Öz

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) yeryüzünün fiziksel yapısını üç boyutlu olarak temsil etmek amacıyla kullanılan matematiksel bir modeldir. SYM üretimi için kullanılacak verilerin toplanma yöntemleri, çalışma alanını büyüklüğüne ve üretilecek yüzey modelin kullanım amacına göre değişebilmektedir. Son yıllarda uzaktan algılama teknikleri ile yüzey verilerinin toplanması sağladıkları zaman ve maliyet avantajları nedeniyle tercih edilmeye başlamıştır. Özellikle ulaşılması zor bölgeler ve yüzölçümü bakımından büyük alanlar söz konusu olduğunda 3B konum verilerinin uzaktan algılama teknikleri ile belirlenmesi tercih edilmektedir. Hava LiDAR (Light Detection and Ranging) tekniği kırsal, kentsel ve ormanlık alanlarda 3B konum verisini üretmede hızlı ve güvenilir bir uzaktan algılama teknolojisidir. Ayrıca klasik fotogrametrik yöntemlerle karşılaştırıldığında veri toplama aşamasında hava durumuna, mevsimlere ve zamana daha az bağımlıdır. Dahası, yoğun ormanlarla kaplı yüzeylerde bitki örtüsüne nüfuz ederek zemin noktalarına ulaşmada ve dolayısıyla SYM oluşturmada diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar alınabilmektedir.

Bu çalışmada LiDAR verileri kullanılarak bir sayısal yüzey modeli oluşturulmuş ve yüzey üzerinde bulunan zemin dışı objelerin filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Farklı filtreleme algoritmaları kullanılarak yapılan bu işlem sonucunda, elde edilen SYM'nin düşey doğruluğu referans olarak kabul edilen bir veri seti ile kıyaslanmış ve sonuçlar istatistik olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, filtreleme algoritmalarının üretilen SYM doğruluğunu etkilediğini göstermektedir. Ayrıca filtreleme yöntemlerinin ani yükseklik değişimi olan bölgelere duyarlı olduğu ve bu bölgelerde filtreleme kaynaklı hata büyüklüklerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: sayısal yüzey modeli, sayısal yükseklik modeli, hava LiDAR, filtreleme algoritmaları, uzaktan algılama

Performance Analysis of Filtering Methods in DEM Production in Rural Areas: Air LiDAR Application in İstanbul

Abstract

The Digital Elevation Model (DEM) is an important topographical product that is used in many engineering applications as the basis. The methods of data collection for DEM production can be varied in parallel with technological developments. Remote sensing techniques have used for gathering surface data because of the time and cost advantages in recent years. In particularly, it is preferable to determine 3D position data by remote sensing techniques for large surface areas and the areas that are difficult to reach. Air LiDAR (Light

* Sorumlu Yazar

Detection and Ranging) technology is a fast and reliable technique for generating 3D position data in rural, urban, and forested areas. Also when it compared with classical photogrammetric methods, it has advantages to be less dependent on weather, season and time during the data collection phase. Moreover, the technique has better results than the other methods creating DEM by penetrating into the vegetation cover on dense forested surfaces and reaching the ground spots.

In this study, a digital surface model (DSM) was produced by using LiDAR data and filtering process was performed for the objects on the surface outside the ground. As a result, different filtering algorithms were used and at the end of the process, the vertical accuracy of the obtained DEM was compared with a dataset considered as a reference and the results were evaluated statistically. It has been concluded that the filtering algorithms affected the accuracy of the generated SYM directly. Furthermore, it has been observed that the filtering methods are sensitive to regions with sudden change in height, and that the filtering error sizes increase in these regions.

Keywords: *digital surface model, digital elevation model, air LiDAR, filtering algorithms, remote sensing*

1. GİRİŞ

Yeryüzünde herhangi bir noktanın 3B konumu, uzaktan algılama teknikleri ile üretilebilen sonuç ürünlerden biridir. Özellikle ulaşılması zor bölgeler ve kapladıkları yüzölçümü bakımından büyük alanlar söz konusu olduğunda 3B konum verilerinin uzaktan algılama teknikleri ile toplanması tercih edilmektedir. Hava LiDAR teknolojisi, 1990'larda ortaya çıkan ve topografik uygulamalar için geliştirilen bir uzaktan algılama sistemidir (Jones, Brewer, Johnstone, & Macklin, 2007). Hava aracında bulunan lazer tarama ekipmanı, belirli bir mesafedeki hedefin uzaklığını veya üç boyutlu koordinatlarını (x,y,z) hesaplamak için lazer pulsunun gönderilişiyle hedeften yansarak kaynağa ulaşması arasındaki zaman farkını kullanılır. Lazer pulsunun gönderildiği andaki pozisyonu (konumu ve dönüklüğü) ve ışık hızı ile ölçeklendirilmiş uzaklık yardımıyla hedef koordinatları (x,y,z) elde edilebilmektedir (Kilian, Haala, & English, 1996; Liu, 2008).

LiDAR teknolojisi dünya çapında 2000'li yılların başlarından bu yana çeşitli uygulamalarda kullanılmasına rağmen, Türkiye'deki harita ve yüzey modeli üretimine yönelik çalışmalar son birkaç yıl içinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Ancak, LiDAR nokta bulutunun kullanımı, maliyetinin yüksek olması nedeniyle çoğu durumda tercih edilememektedir. LiDAR teknolojisi ile üretilen 3B nokta bulutlarının alternatifi olarak optik sensörlerden elde edilen ve üst üste bindirilmiş görüntüler ile çok yoğun nokta bulutu verileri

oluşturulabilmektedir (Serifoglu, Gungor, & Yilmaz, 2016). Bindirmeli optik görüntüler, uçaklara yerleştirilen kameralar yardımıyla elde edilebildiği gibi insansız hava araçları ve uydu sistemleri üzerindeki sensörler sayesinde de elde edilebilmektedir. Yapılan birçok çalışmada LiDAR verilerinden üretilen yüzey modelleri ile stereo optik görüntülerden fotogrametrik yöntemlerle üretilen yüzey modellerinin doğruluğu karşılaştırılmıştır (Hobi & Ginzler, 2012; F. Hu, Gao, Li, & Li, 2016; Oh & Lee, 2016; Poli, Remondino, Angiuli, & Agugiaro, 2015; Poli & Soille, 2012; Sefercik, Alkan, Buyuksalih, & Jacobsen, 2013; Toutin, Schmitt, Wang, & Reinartz, 2012). LiDAR verileri ile üretilen yüzey modelleri, LiDAR sisteminin yapısal özellikleri (çoklu dönüş) nedeniyle, özellikle yoğun ormanlık alanlarda arazi üzerindeki detay noktalarının tespitinde daha iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca veri toplama aşamasında mevsimsel etkilerden ve Güneşin pozisyonundan (eğim açısına) bağımsız olarak ve hava koşullarına daha az bağımlı olarak ölçüm yapılabilmesi LiDAR teknolojisinin avantajları arasında yer almaktadır (Kraus & Pfeifer, 1998; Meng, Wang, Silván-Cárdenas, & Currit, 2009; Yan, Shaker, & El-Ashmary, 2015).

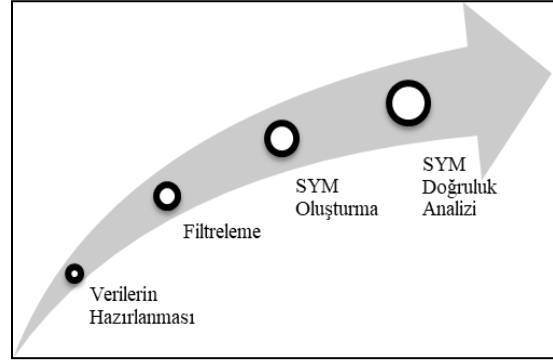
Sayısal yükseklik modeli (SYM/DEM), hava LiDAR sistemleri ile toplanan 3B noktalar bir araya getirilerek elde edilebilmektedir. Yeryüzünün çıplak yüzeyini üç boyutlu olarak temsil eden bu modeli üretmek için, LiDAR sistemi ile toplanan tüm veriler içerisinde yüzey noktalarının ve yüzeye ait olmayan noktaların birbirinden ayrılması gerekmektedir. LiDAR sensörleri, yeryüzü

objelerine ait verilerin sınıflandırılması için teorik olarak yalnızca yükseklik ve bir yoğunluk bandı kaydetmektedir. Bu sınırlı özellikler ile nokta tabanlı sınıflandırma yapmak oldukça zordur. Yüzeyin morfolojik özelliklerini kullanarak filtreleme yapan birçok algoritma geliştirilmesine karşın yüzey ve yüzeye ait olmayan noktaların birbirinden ayrılmasında bir takım belirsizlikler oluşabilmektedir. Bu nedenle LiDAR sisteminin dönüşleri arasındaki yükseklik farkı gibi ek özellikleri veya çalışma bölgesinin optik görüntüleri gibi yardımcı verileri kullanarak farklı filtreleme yöntemleri geliştirilmeye devam etmektedir (Chen, Gao, & Devereux, 2017).

Bu çalışmanın amacı, LiDAR verilerinin filtrelenmesinde kullanılan farklı filtreleme yöntemlerinin performansını test etmektir. Bu çerçevede, seçilen bir test alanı üzerinde yüzeye ait olmayan zemin dışı objelerin filtrelenmesine yönelik bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Test alanı olarak ağaç, bina ve enerji nakil hattı gibi zemin dışı objeler içeren kırsal bir bölge seçilmiştir. Ayrıca dört farklı filtreleme yöntemi ile filtrelenen 3B LiDAR nokta bulutu verileri kullanılarak dört farklı SYM oluşturulmuştur. Elde edilen SYM'lerin düşey doğruluğu, referans olarak kabul edilen bir veri seti ile kıyaslanmış ve sonuçlar istatistik olarak değerlendirilmiştir. Böylece farklı filtreleme yaklaşımlarının SYM düşey doğruluğuna etkisi araştırılmıştır. Elde edilen bulgular sonuçlar kısmında açıklanmıştır.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada gerçekleştirilen LiDAR verilerinin filtrelenmesi ve doğruluk değerlendirilmesi süreci dört aşamalı bir iş akışı şeklinde özetlenebilir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmada Uygulanan Metodoloji

İlk aşama, LiDAR verilerinin filtrelenme sürecine hazır hale getirilmesi için yapılan hazırlık çalışmalarını kapsamaktadır. İkinci aşama, filtreleme parametrelerinin belirlenmesi ve farklı filtreleme yöntemleri kullanılarak verilerin filtrelendiği aşamadır. Üçüncü aşamada, farklı yöntemlere göre filtrelenmiş veriler kullanılarak SYM'ler oluşturulmuştur. Ayrıca bu aşamada referans verilerden de SYM oluşturulmuştur. Son aşamada ise Referans SYM ile farklı filtreleme yöntemleri ile üretilen verilerden oluşturulmuş SYM'ler karşılaştırılmış ve düşey doğruluk değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu sayede LiDAR verilerinin filtreleme performansının SYM'ler üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

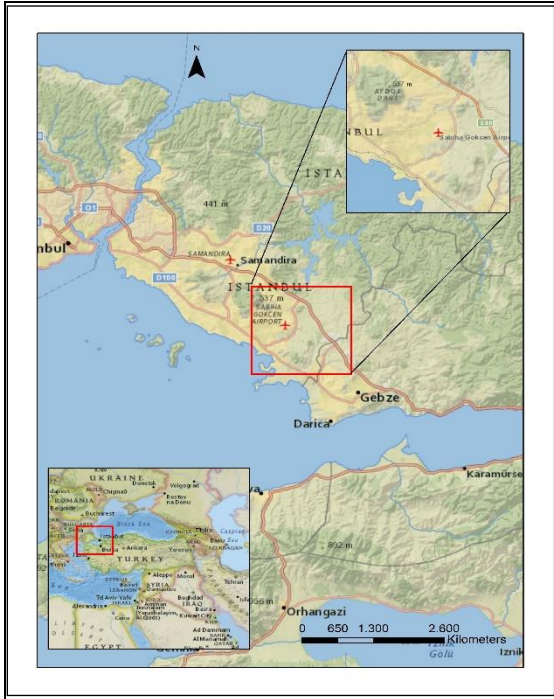
LiDAR verilerinin filtreleme işlemleri ALDPAT (Airborne LIDAR Data Processing and Analysis Tools) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ALDPAT yazılımı ile ham LiDAR verilerinin birleştirilmesi, veri seyrekleştirme, verilerden yüzey oluşturma ve farklı filtreleme yöntemleri kullanılarak LiDAR verilerinin filtrelenmesi işlemleri yapılabilmektedir. SYM'ler Global Mapper 18 yazılımı kullanılarak, yüzeylere ait istatistiksel hesaplamalar ise Surfer 13 yazılımı yardımıyla yapılmıştır.

2.1. Verilerin Hazırlanması

LiDAR nokta bulutu verilerinden SYM üretmeye başlamadan önce verilerin bazı ön işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Bunlardan en önemlisi aykırı değerlerin belirlenmesidir. Çoklu yansıma ve LiDAR sistem hataları nedeniyle bazı noktalar çok

düşük yükseklik seviyesi ile üretilmektedir. Filtreleme yöntemleri genellikle her hücredeki en alçak noktayı zemin noktası olarak kabul etmektedir. Aykırı değerlerin zemin noktası olarak kabul edilmesi büyük sapmalara yol açabilmektedir (Chen et al., 2017; Meng, Currit, & Zhao, 2010). Bu çalışmada filtreleme işlemine başlamadan önce aykırı değer olarak tanımlanan mevcut arazi yüzeyinin çok üstünde (high point) veya altında (low point) yer alan noktalar veri setinden manuel olarak silinmiştir. Ayrıca “las” formatındaki LiDAR veriler “.txt” formatına dönüştürülmüştür.

LiDAR verileri, İstanbul-Tuzla’da Sabancı Üniversitesi civarını temsil etmektedir. Çalışma alanı (Şekil 2) yaklaşık 520m x 690m boyutlarında, genellikle alçak bitki örtüsü ile kaplı açık alanlardan oluşmakla birlikte seyrek ağaçlar, binalar ve enerji nakil hattı gibi yer üstü objeler içeren kırsal bir alan olarak tanımlanabilir.



Şekil 2. Çalışmada Alanı

Çalışma alanı içerisinde yaklaşık 8.6 milyon LiDAR noktası bulunmaktadır. Veri yoğunluğu yaklaşık 29 nokta/m²'ye karşılık gelmektedir. LiDAR verileri 2012 yılı Mayıs ayında ortalama 600m yükseklikten Riegl Q680i model lazer tarayıcı ile yapılan hava

LiDAR ölçümleri ile toplanmış ve Las 1.2 versiyonunda elde edilmiştir. 3B noktaların sınıflandırma işlemi Terrasolid yazılımıyla otomatik olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2. Filtreleme

LiDAR verileri üç boyutlu uzaya dağılmış noktalar bütünüdür. LiDAR noktalarının bir kısmı yer yüzeyini temsil eden noktalar olarak bir kısmı da yüzeye ait olmayan objeleri (ağaçlar, bitkiler, yapılar vb.) temsil etmektedir. Nokta sınıflandırma işlemi, her bir lazer noktasının ne tür bir cismin yansımaya karşılık geldiğini belirleme çalışması anlamına gelmektedir. LiDAR veri setinde yer yüzeyine ait noktaların diğer tüm noktalardan ayrılması işlemi ise filtreleme olarak tanımlanmaktadır (Briese, 2010; Meng et al., 2010). Filtreleme işlemi yer yüzeyi ve diğer objelerin birbirinden ayrıldığı bir sınıflandırma olarak da tanımlanabilir.

Ham LiDAR nokta bulutu verilerinin filtrelenmesi, SYM üretimi için oldukça önemli bir adımdır. Birçok çalışma grubu farklı zemin filtreleme algoritmaları önermekte ve bu algoritmaları geliştirmeye yönelik çalışmalar yapmaktadır. Çoğu filtreleme yaklaşımının farklı arazi türleri üzerinde güçlü ve zayıf yönleri bulunmakla beraber filtreleme yaklaşımları özellikle karmaşık arazilerde hatalı sonuçlar üretebilmektedir. Ancak yine de filtrelenmeye yönelik bazı genel yaklaşımlar araştırmacılar tarafından farklı arazi türleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlardan ilki zemin noktalarının en düşük yükseklik değerine sahip olması yaklaşımıdır. Çoğu filtreleme algoritması işleme başlamadan önce veri grubunu hücelere ayırmaktadır. Zemin noktaları buldukları hücre içinde diğer noktalardan daha küçük yükseklik değerine sahip noktalardır. Filtrelemede kullanılan başka bir özellik eğimdir. Objeler ile zemin noktaları arasındaki eğim, zemin noktalarının birbirleri arasındaki eğime göre daha büyüktür. Filtrelemede obje noktalarını ayırt etmek için eğim eşik değeri kullanılabilir. Yükseklik farkı veri filtrelemede kullanılan bir başka özelliktir. Objeler ile zemin noktaları arasındaki yükseklik farkı zemin noktalarının birbirleri

arasındaki yükseklik farkına nazaran daha büyüktür. Bildiğimiz gibi arazi yüzeyi sürekli bir yapıya sahiptir. Yüzeye ait olmayan obje noktaları (yapılar, bitkiler vb.) ise arazi yüzeyinin sürekliliğini bozmaktadır. Bu özellik de süreksizliğe neden olan zemin dışı noktaları belirlemede kullanılabilir (Chen et al., 2017; Meng et al., 2010).

LiDAR filtreleme yöntemleri, kullandıkları algoritmalara ya da filtreleme stratejilerine göre (morfolojik, enterpolasyon tabanlı, kademeli sıklaştırma tabanlı, bölümlenme ve kümeleme tabanlı vb.) farklı şekillerde gruplandırılabilir (Briese, 2010; H. Hu et al., 2014; Sithole & Vosselman, 2003). Bu çalışmada, ücretsiz olarak sunulan ALDPAT yazılımı yardımıyla uygulanan filtreleme yöntemleri herhangi bir sınıflandırma yapılmadan aşağıda kısaca açıklanmıştır.

2.2.1. Maksimum yerel eğim (MLS) yöntemi

Vosselman (2000) tarafından geliştirilen MLS (Maximum Local Slope) yöntemi bir noktanın obje noktası olup olmadığını, söz konusu nokta ile komşu noktaları arasındaki eğim değerine göre belirlemektedir (Wang & Tseng, 2010; Keçi Zhang & Whitman, 2005). Öncelikle bir LiDAR noktası ile bu noktanın komşuları arasındaki lokal eğim karşılaştırılır. Eğim eşik değerden daha büyük ise bu nokta obje noktası olarak etiketlenir. Yöntemin başarısı seçilen eğim eşik değerine ve arazinin eğimine bağlıdır. MLS yöntemi eğimin az olduğu düz arazilerde daha iyi sonuçlar vermektedir (Sithole & Vosselman, 2004).

Bu çalışmada MLS yöntemi için kullanılan filtreleme parametreleri Tablo 1' de verilmiştir. Ayrıca minimum Z değeri -9999 m ve maksimum Z değeri 9999 m olarak alınmıştır.

Tablo 1. MLS Yöntemi Filtreleme Parametreleri

Hücre Genişliği (m)	Hücre Yüks. (m)	Mak. Eğim (m)	Min. Mesafe (m)	Arama Yarıçapı (m)
1.00	1.00	0.40	1	10

2.2.2. Genişleyen pencereler ile yükseklik eşiği (ETEW) yöntemi

ETEW (Elevation Threshold with Expand Window) yönteminde filtreleme işlemi veri setinin kare hücrelere ayrılması ile başlar. Daha sonra her hücrelerin içerisinde yer alan noktalardan minimum yüksekliğe sahip noktalar seçilerek diğer noktalar elenir. Aynı işlem hücre boyutu artırılarak her bir hücredeki minimum yükseklik değeri tekrardan belirlenir. Hücre içerisindeki minimum nokta yükseliği belirlendikten sonra o hücredeki diğer bütün noktalar ile minimum yüksekliğe sahip nokta arasındaki yükseklik farkı hesaplanır ve bu fark eşik değerden büyük ise o nokta zemin dışı nokta olarak sınıflandırılır. Hücre boyutu ve eşik değeri artarak devam eden bu işlem, eşik değere ulaşıncaya veya herhangi bir nokta elenmemeye başlayıncaya kadar devam eder (K Zhang, 2007; Keçi Zhang & Whitman, 2005).

Bu çalışmada ETEW yönteminde kullanılan filtreleme parametreleri Tablo 2' de verilmiştir. Minimum Z değeri -9999 m ve maksimum Z değeri 9999 m alınmıştır.

Tablo 2. ETEW Yöntemi Filtreleme Parametreleri

Hücre Genişliği (m)	Hücre Yüksekliği (m)	Eğim Faktörü	İterasyon Sayısı
1.00	1.00	0.30	10

2.2.3. Uyarlanabilen üçgenler ağı (ATIN) yöntemi

Axelsson (2000) tarafından geliştirilen ATIN (Adaptive Triangular Irregular Network) yönteminde filtreleme işlemi verilerin düzenli gridlere bölünmesi ile başlar. Her grid (hücre) içerisinde yer alan minimum yüksekliğe sahip noktalar seçilir. Bu noktalar yardımıyla Delauney üçgenlemesine göre düzensiz üçgenler ağı oluşturulur. Üçgenler ağının her üçgeninde, sınıflandırılmamış noktalar iki kritere göre zemin noktalarına eklenir: bunlardan ilki noktanın üçgen yüzeyine olan

mesafesi, ikincisi ise noktayı üçgen yüzeyinin en yakın köşe noktası ile birleştiren çizgi ile üçgen yüzeyi arasındaki açıdır (Montealegre, Lamelas, & de la Riva, 2015). Her bir noktanın mesafe ve açı değerleri önceden tanımlı eşik değerlerden küçük ise nokta zemin noktası olarak belirlenir. Bu işlem eklenebilen tüm noktalar zemin veri kümesine eklenilinceye kadar devam eder. Diğer noktalar zemin dışı nokta olarak sınıflandırılır (K Zhang, 2007).

Bu çalışmada ATIN yönteminde kullanılan filtreleme parametreleri Tablo 3 'de verilmiştir. Hesaplama süresini kısaltmak için, ATIN filtresi, veri setini X Genişliği ve Y Yüksekliği ile belirlenen küçük dikdörtgenlere böler. Bu çalışmada kullanılan X genişliği ve Y yüksekliği değerleri 100m olarak alınmıştır. Tampon boyutu, sınıra yakın noktalarda filtreleme sonuçlarının tutarlılığını sağlamak amacıyla her küçük dikdörtgen için oluşturulan tampon mesafesidir.

Tablo 3. ATIN Yöntemi Filtreleme Parametreleri

Hücre Boyutu (m)	Z Farkı (m)	Açı Eşik Değeri (m)	Başlangıç Grid Boyutu (m)	Tampon Boyutu (m)
1	0.20	5	20	20

2.2.4. Kademeli morfolojik (PM) filtreleme yöntemi

PM (Progressive Morphological) yönteminde Keçi Zhang et al. (2003) tarafından geliştirilen algoritma kullanılmaktadır. PM filtresi, pencere boyutunu kademeli olarak arttırarak ve farkı yükseklik eşik değerleri kullanarak farklı büyüklükteki obje noktalarını filtreleyebilir. PM algoritmasında, matematiksel morfolojide yaygın olarak kullanılan genleşme ve erozyon işlemleri kullanılmaktadır. Bu işlemler nesnelerin boyutunu arttırmak veya azaltmak için kullanılır. Bu algoritmada bir grid herhangi bir yükseklik değeri içermiyorsa, en yakın noktanın yükseklik değeri bu gride atanır. PM algoritmasının en önemli bileşeni olan açma işlemi grid yüzeyine uygulanır. İlk geçişte, başlangıç verileri olarak minimum yükseklik

yüzeyi ve başlangıç penceresi boyutu kullanılır. Bir sonraki geçişte önceki iterasyonda üretilen süzölmüş yüzey ve artırılmış pencere boyutu kullanılır. İterasyon, filtreleme penceresinin boyutu eşik değere ulaşmaya kadar devam eder (K Zhang, 2007). PM filtresi, pencere şekline bağlı olarak tek boyutlu (1D) veya iki boyutlu (2D) olabilmektedir. Eğer filtre penceresi bir çizgi parçasıyla tanımlanmışsa, filtre 1D iken, pencere dikdörtgen veya daire gibi 2D şeklinde ise, filtre PM 2D olarak isimlendirilmektedir (Serifoglu et al., 2016).

Bu çalışmada PM2D yönteminde kullanılan filtreleme parametreleri Tablo 4 'de verilmiştir.

Tablo 4. PM2D Yöntemi Filtreleme Parametreleri

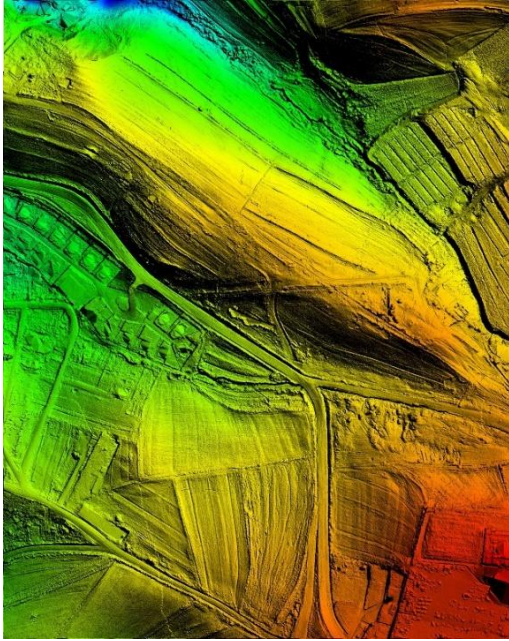
H.B (m)	Eğim	B.E.D (m)	M.E.D (m)	P.T.B (m)	P.S.U
0.5	0.30	0.20	20	20	8

Bu tabloda; H.B: Hücre Büyüklüğü, B.E.D: Başlangıç Eşik Değeri, M.E.D: Maksimum Eşik Değeri, P.S.U: Pencere Seri Uzunluğu olarak tanımlanmaktadır.

2.3. SYM Oluşturma

SYM'ler raster görüntüler veya düzensiz üçgenler ağı (TIN) olarak sunulabilir. Dağınık yapıdaki zemin noktalarının düzenli grid yapıya dönüştürülmesi için enterpolasyon uygulanması gerekmektedir (Yanalak, 2003).

Bu çalışmada dağınık yapıdaki LiDAR verilerinden düzenli grid yapıya geçiş sağlanarak SYM'ler üretilmiştir. Öncelikle referans verilerden SYM oluşturulmuş (Şekil 3), ardından da her bir filtreleme yöntemi ile filtrelenen verilerden dört farklı SYM üretilmiştir. Tüm SYM'ler için grid aralığı olarak 0.25 m seçilmiş ve bilineer enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Üretilen SYM'ler yaklaşık 5.7 milyon grid noktası ile temsil edilmektedir.



Şekil 3. Referans Verilerden Üretilen SYM

2.4. SYM Doğruluk Analizi

Doğruluk değerlendirmesi için öncelikle referans verilerden üretilen SYM ile dört farklı filtreleme yöntemi ile elde edilen verilerden oluşturulan SYM'ler ayrı ayrı karşılaştırılmış ve her yöntem için fark yüzeyi haritası oluşturulmuştur. Fark yüzeyi haritaları, referans yüzeydeki her bir noktanın yükseklik değerinin (z_i), filtrelenmiş verilerden elde edilmiş yüzeyde aynı x ve y koordinatlarına karşılık gelen noktanın yüksekliği (z_i') ile kıyaslanması sonucu ortaya çıkan yükseklik farklarını göstermektedir. Her bir yöntem ile elde edilen fark yüzeyi haritaları, çakışma artıklarının karesel ortalama hata (KOH) büyüklükleri ile değerlendirilmiştir.

$$KOH = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_i - z_i')^2} \quad (1)$$

Ayrıca filtreleme sonucunda elde edilen çakışma artıklarının (Δz) yayılımını belirlemek amacıyla her yöntem için üç farklı sınır değerine göre ($\Delta z < \pm 5$ cm, $\Delta z < \pm 10$ cm ve $\Delta z < \pm 15$ cm) hata dağılımı araştırması yapılmıştır. Burada, toplam çakışma artığı sayısının sınır değer koşulu içinde kalan çakışma artığı sayısına bölünmesiyle koşula

uygun verilerinin oransal değeri elde edilebilmektedir.

Bunlar dışında referans SYM ile filtrelenmiş verilerden elde edilen SYM'ler her bir yöntem için ayrı ayrı olmak üzere görsel olarak karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR

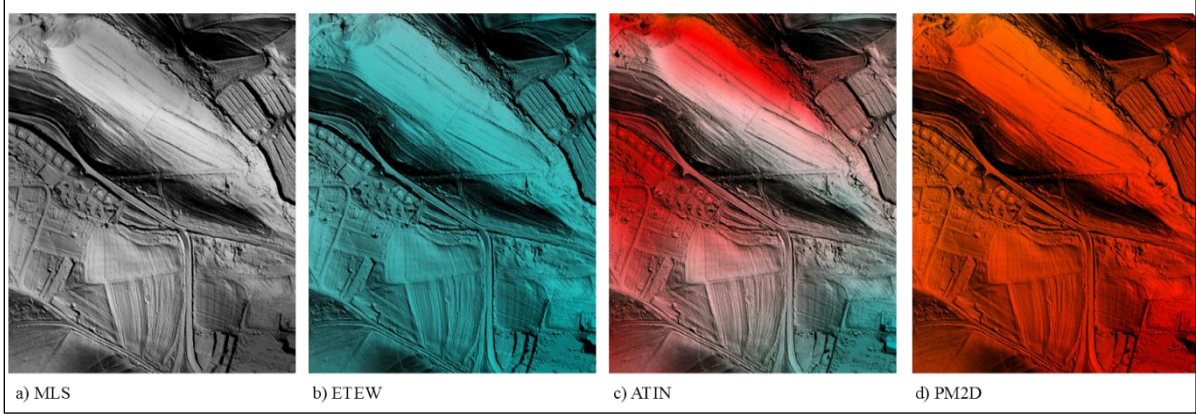
Dört farklı filtreleme yöntemi (MLS, ETEW, ATIN ve PM2D) kullanılarak filtrelenen LiDAR verilerinin referans verilerle kıyaslanması sonucunda ortaya çıkan çakışma artıklarına ait istatistikler Tablo 5' de gösterilmektedir.

Tablo 5. Filtreleme Sonuçları

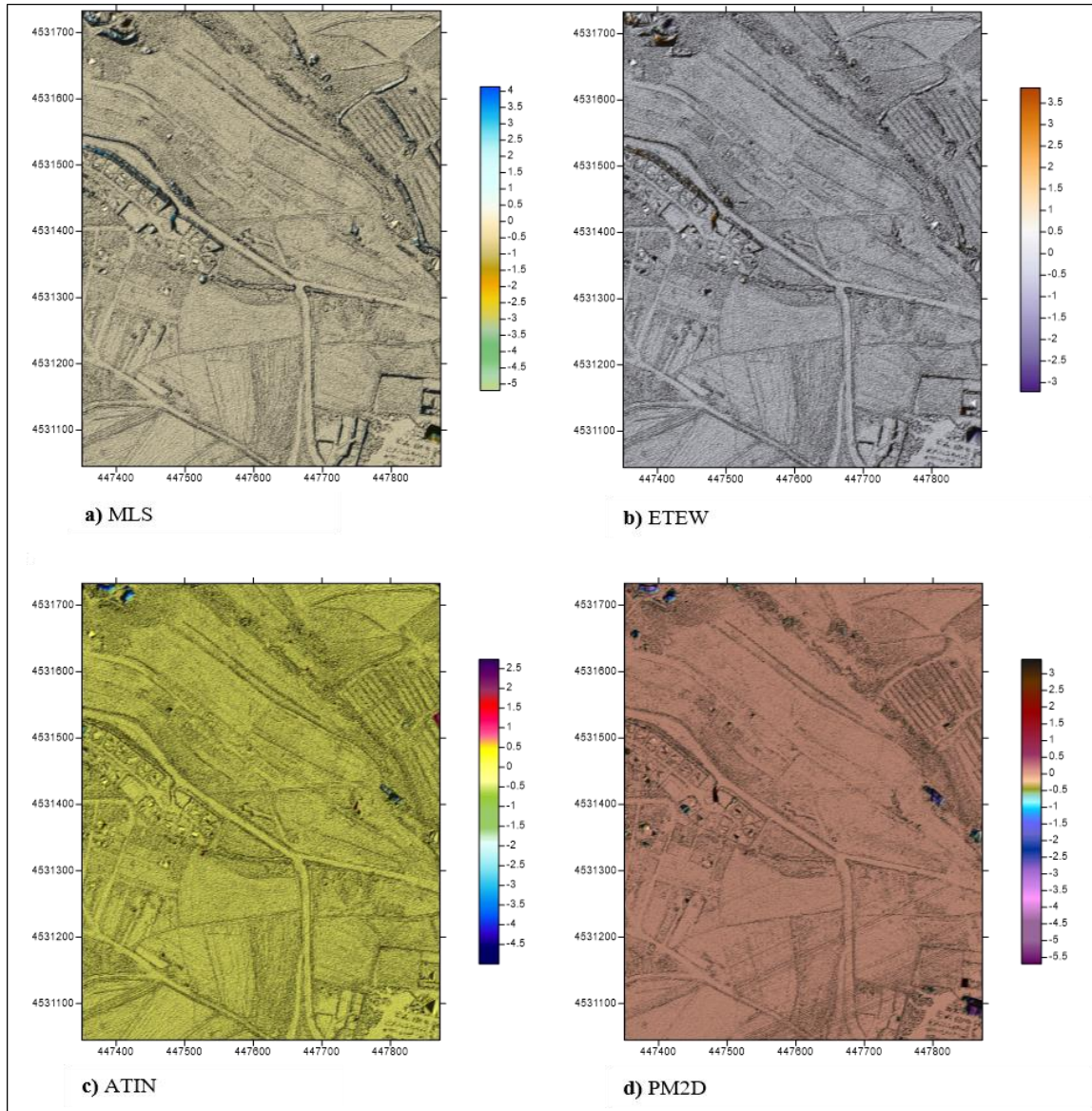
Filtreleme Yöntemleri	Min. (m)	Maks. (m)	Ort. (m)	KOH (m)
MLS	-5.195	4.140	0.037	± 0.208
ETEW	-3.212	3.853	0.027	± 0.161
ATIN	-4.996	2.735	0.006	± 0.139
PM2D	-5.699	3.431	0.020	± 0.216

Tablo 5'de görülen sonuçlar KOH bakımından değerlendirildiğinde sırasıyla ± 0.205 m, ± 0.159 m, ± 0.139 m ve ± 0.215 m değerleri elde edilmiştir. Buna göre, en küçük KOH sonuçlarının ATIN algoritması ile elde edildiği görülmektedir.

Farklı yöntemler ile filtrelenen verilerden oluşturulan yüzeylerin (Şekil 4) referans yüzeyle ve birbirleriyle oldukça benzer olduğu görülmektedir. Oluşturulan fark haritaları (Şekil 5) incelendiğinde ise tüm yöntemlerde hata büyüklüklerinin ani yükseklik değişimi olan bölgelerde (yapıların sınırları, çukurlar, şevler vb.) arttığı görülmektedir.



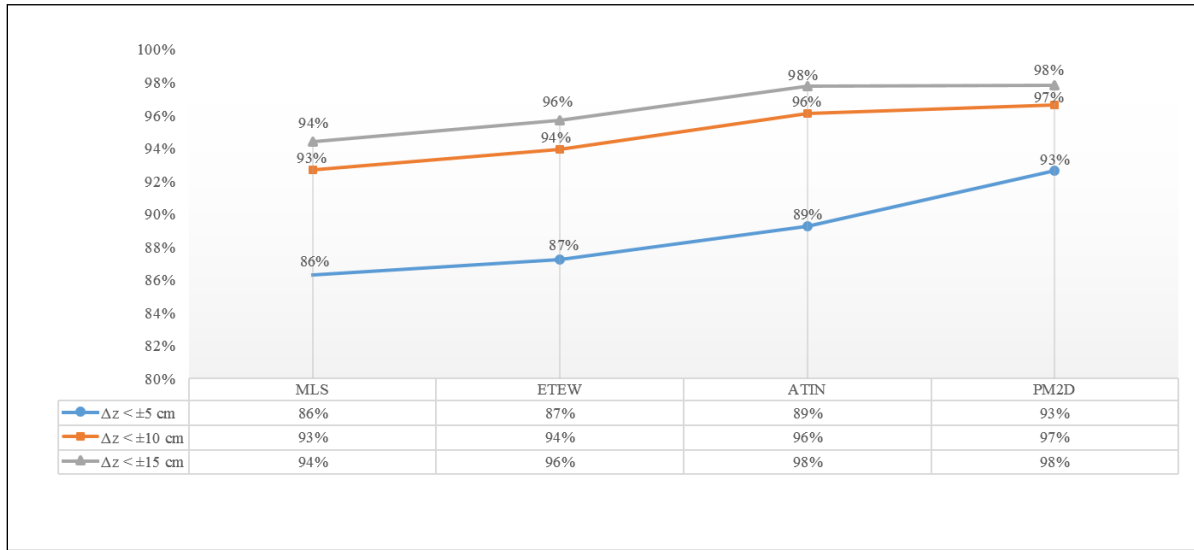
Şekil 4. Filtrelenmiş verilerden Üretilen SYM'ler



Şekil 5. Referans Verilere Göre Oluşturulan Fark Haritaları [a) MLS, b) ETEW, c) ATIN, d) PM2D]

Çakışma artıklarının (Δz) hata dağılımını gösteren grafik (Şekil 6) incelendiğinde ATIN ve PM2D yöntemleri ile elde edilen çakışma artıklarının %98'inin ± 15 cm'den daha küçük olduğu görülmektedir. Aynı koşula göre MLS yöntemi ile elde edilen çakışma artıklarının %94'ü, ETEW yöntemi ile elde edilen

çakışma artıklarının %96'sı ± 15 cm'den daha küçüktür. $\Delta z < \pm 10$ cm koşuluna göre, tüm yöntemlerle (MLS, ETEW, ATIN ve PM2D) sırasıyla %93, %94, %96 ve %97 oranları elde edilmiştir. $\Delta z < \pm 5$ cm koşuluna göre ise tüm yöntemlerle sırasıyla %86, %87, %89 ve %93 değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6. Çakışma Artıklarının Farklı Büyüklükteki Hata Sınır Değerlerine Göre Oransal Dağılımı

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada hava LiDAR ölçümleri ile elde edilen nokta bulutu verilerinin filtrelenmesi ve bu verilerden SYM oluşturma süreci ele alınmıştır. Öncelikle LiDAR verilerinin filtreleme aşamasına hazırlanması açıklanmış, filtreleme yöntemleri ve bunların çalışma prensipleri hakkında temel bilgiler verilmiştir. Ardından LiDAR verilerinin filtreleme metodolojisi için genel bir çerçeve çizilmiştir. Son bölümde farklı filtreleme yöntemleri kullanılarak filtrelenen üç boyutlu LiDAR verilerinden SYM üretimine yönelik bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda her bir filtreleme yöntemi (MLS, ETEW, ATIN ve PM2D) ile filtrelenen verilerden dört farklı SYM oluşturulmuştur. Yaklaşık 5.7 milyon grid noktası ile temsil edilen her bir SYM, referans SYM ile karşılaştırılarak

çakışma artıkları elde edilmiştir. Filtreleme sonuçlarının doğruluk değerlendirmesi, hem nicel hem de nitel olarak gerçekleştirilmiştir. Nicel değerlendirme, çakışma artıklarının KOH değerleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiş ve ayrıca üç farklı sınır değerine göre hata dağılımı araştırması yapılmıştır. Diğer taraftan oluşturulan tüm yüzeyler referans yüzeyle görsel olarak karşılaştırılmış ve fark haritaları oluşturularak nitel değerlendirme yapılmıştır.

Filtreleme sonuçları (Tablo 5) incelendiğinde en küçük KOH değerinin ATIN yöntemi ile elde edildiği görülmektedir (± 0.139 m). Diğer yöntemlerle (MLS, ETEW ve PM2D) elde edilen KOH değerleri sırasıyla ± 0.205 m, ± 0.159 m ve ± 0.215 m'dir. ATIN yöntemi ile daha küçük KOH değeri elde edilmesi referans verilerin filtrelediği Terrasolid yazılımının ATIN algoritmasına benzer bir algoritma kullanması ile açıklanabilir. Ancak yine de

KOH bakımından değerlendirildiğinde, tüm filtreleme yöntemlerinin filtreleme başarısının oldukça yüksek olduğu söylenebilir. Çakışma artıklarının hata dağılımı değerlendirmesi (Şekil 6) incelendiğinde, tüm yüzeylerin 15 cm'den küçük çakışma artığı oranları %94 ile %98 arasında değişmektedir. Bu sonuçlar farklı yöntemler ile filtrelenen verilerden üretilen SYM'lerin referans SYM ile oldukça yüksek oranda uyum sağladığının başka bir göstergesi olarak görülebilir. Özellikle 5 cm'den küçük çakışma artığı oranları incelendiğinde, PM2D yöntemi ile filtrelenen verilerden oluşturulan yüzeyin referans yüzeye uyumunun diğer yöntemlere göre oldukça yüksek (%93) olduğu görülmektedir.

Fark haritaları görsel olarak incelendiğinde (Şekil 5), referans SYM ile oldukça benzer sonuçlar alındığı söylenebilir. Ancak, çakışma artığı değerlerinin yapılaraya yakın bölgelerde, şevlerde ve arazinin karakteristik bölgelerinde (tümsek, çukur vb.) arttığı görülmektedir.

Bu çalışmada uygulanan nicel doğruluk değerlendirmesi tüm yüzey noktaları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Günümüzde benzer nitelikli çalışmalar küçük bir veri grubu kullanılarak tüm yüzeyin değerlendirilmesi şeklinde de yapılabilmektedir. Nicel doğruluk değerlendirmesinin yüzeyin tamamını oluşturan noktalar kullanılarak yapılması çoğu durumda pratik görülmemekle birlikte, küçük bir veri grubu kullanılarak yapılan değerlendirmeye göre daha kapsamlı bir analiz yapılmasına olanak sağlamaktadır. Tüm yüzeyi kapsayan bir analiz, çakışma artıklarının yüzey boyunca oransal dağılımının belirlenebilmesine ve dolayısıyla yüzeyin ne ölçüde temsil edileceğinin ölçülmesine olanak tanımaktadır. Oluşturulacak SYM'nin doğruluğu esasen bu temsil yeteneğine bağlıdır.

Bu çalışmada elde edilen filtreleme sonuçları bağlı bir değerlendirmeyi ifade etmektedir ve filtreleme sonuçlarının mutlak doğruluk değerlendirmesi için arazi ölçümleri ile kontrol noktası toplamak, çalışmanın sonuçlarına anlamlı katkılar sağlayacaktır. Buna ek olarak çalışma alanına ait yüksek çözünürlüklü optik görüntülerin kullanılması doğruluk analizlerinde farklı yöntemlerin kullanılmasına imkan tanınması açısından anlamlı olacaktır.

KAYNAKÇA

- Axelsson, P. (2000). DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B4/1; PART 4), 111-118.
- Briese, C. (2010). Extraction of digital terrain models. *Airborne and terrestrial laser scanning*, 135-167.
- Chen, Z., Gao, B., & Devereux, B. (2017). State-of-the-Art: DTM Generation Using Airborne LIDAR Data. *Sensors*, 17(1), 150.
- Hobi, M. L., & Ginzler, C. (2012). Accuracy Assessment of Digital Surface Models Based on WorldView-2 and ADS80 Stereo Remote Sensing Data. *Sensors*, 12(5), 6347-6368. doi:10.3390/s120506347
- Hu, F., Gao, X., Li, G., & Li, M. (2016). DEM Extraction from Worldview-3 Stereo-Images and Accuracy Evaluation. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 41.
- Hu, H., Ding, Y., Zhu, Q., Wu, B., Lin, H., Du, Z., . . . Zhang, Y. (2014). An adaptive surface filter for airborne laser scanning point clouds by means of regularization and bending energy. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92(Supplement C), 98-111. doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.014>
- Jones, A. F., Brewer, P. A., Johnstone, E., & Macklin, M. G. (2007). High-resolution interpretative geomorphological mapping of river valley environments using airborne LiDAR data. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(10), 1574-1592. doi:doi:10.1002/esp.1505
- Kilian, J., Haala, N., & Englich, M. (1996). Capture and evaluation of airborne laser scanner data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 31, 383-388.

- Kraus, K., & Pfeifer, N. (1998). Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 53(4), 193-203. doi:[https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(98\)00009-4](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(98)00009-4)
- Liu, X. (2008). Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. *Progress in Physical Geography*, 32(1), 31-49.
- Meng, X., Currit, N., & Zhao, K. (2010). Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues. *Remote Sensing*, 2(3), 833-860.
- Meng, X., Wang, L., Silván-Cárdenas, J. L., & Currit, N. (2009). A multi-directional ground filtering algorithm for airborne LIDAR. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(1), 117-124. doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2008.09.001>
- Montealegre, A. L., Lamelas, M. T., & de la Riva, J. (2015). A comparison of open-source LiDAR filtering algorithms in a mediterranean forest environment. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(8), 4072-4085.
- Oh, J., & Lee, C. (2016). Extraction of Digital Elevation Model Using Stereo Matching with Slope-Adaptive Patch Transformation. *Ksce Journal of Civil Engineering*, 20(7), 2902-2909. doi:10.1007/s12205-016-1735-3
- Poli, D., Remondino, F., Angiuli, E., & Agugiaro, G. (2015). Radiometric and Geometric Evaluation of Geoeye-1, Worldview-2 And Pleiades-1a Stereo Images for 3D Information Extraction. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 100, 35-47. doi:10.1016/j.isprsjprs.2014.04.007
- Poli, D., & Soille, P. (2012). Digital Surface Model Extraction and Refinement through Image Segmentation - Application to the ISPRS Benchmark Stereo Dataset. *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation*(4), 317-329. doi:10.1127/1432-8364/2012/0120
- Sefercik, U. G., Alkan, M., Buyuksalih, G., & Jacobsen, K. (2013). Generation and Validation of High-Resolution DEMs from Worldview-2 Stereo Data. *Photogrammetric Record*, 28(144), 362-374. doi:10.1111/phor.12038
- Serifoglu, C., Gungor, O., & Yilmaz, V. (2016). PERFORMANCE EVALUATION OF DIFFERENT GROUND FILTERING ALGORITHMS FOR UAV-BASED POINT CLOUDS. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 41.
- Sithole, G., & Vosselman, G. (2003). Comparison of filtering algorithms. Paper presented at the Proceedings of the ISPRS working group III/3 workshop.
- Sithole, G., & Vosselman, G. (2004). Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59(1), 85-101. doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2004.05.004>
- Toutin, T., Schmitt, C. V., Wang, H., & Reinartz, P. (2012). 3D Photogrammetric Processing of Worldview-2 Data Without GCP. In M. Shortis & N. ElSheimy (Eds.), *Xxii Isprs Congress, Technical Commission I* (Vol. 39-B1, pp. 277-280). Gottingen: Copernicus Gesellschaft Mbh.
- Vosselman, G. (2000). Slope based filtering of laser altimetry data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B3/2; PART 3), 935-942.
- Wang, C.-K., & Tseng, Y.-H. (2010). DEM generation from airborne LiDAR data by an adaptive dual-directional slope filter: na.
- Yan, W. Y., Shaker, A., & El-Ashmawy, N. (2015). Urban land cover classification using airborne LiDAR data: A review.

Remote Sensing of Environment, 158,
295-310.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.11.001>

- Yanalak, M. (2003). Effect of gridding method on digital terrain model profile data based on scattered data. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 17(1), 58-67.
- Zhang, K. (2007). *Airborne LiDAR data processing and analysis tools*. Paper presented at the AGU Fall Meeting Abstracts.
- Zhang, K., Chen, S.-C., Whitman, D., Shyu, M.-L., Yan, J., & Zhang, C. (2003). A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR data. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 41(4), 872-882.
- Zhang, K., & Whitman, D. (2005). Comparison of three algorithms for filtering airborne lidar data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71(3), 313-324.

İki Boyutlu Koordinat Dönüşümünde En Küçük Kareler ve Toplam En Küçük Kareler Yöntemlerinin Performansı

Bahattin ERDOĞAN¹, Utkan Mustafa DURDAĞ², Ali Hasan DOĞAN³, Taylan ÖCALAN^{4*}

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul
(berdogan@yildiz.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 8060 – 9208

²Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul
(umurdag@yildiz.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0003 – 2049 – 6587

³Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul
(alihasan@yildiz.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 8490 – 890X

⁴Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul
(tocalan@yildiz.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0003 – 0861 – 013X

Öz

Bir datumdan diğer bir datuma olan koordinat dönüşümü jeodezinin temel problemlerinden bir tanesidir. Genel olarak problem, bir sistemde tanımlı koordinatların, matematiksel eşitlikler kullanılarak farklı bir başlangıç noktasına sahip sisteme dönüşümüdür. Dönüşüm parametrelerinin hesaplanması için, her iki sistemde koordinatları bilinen yeterli sayıdaki ortak noktanın olması gerekmektedir. Problem iki boyutlu (2B) ya da üç boyutlu (3B) koordinat sistemlerinin dönüşümünü içerir. Koordinat dönüşümünde yaygın olarak kullanılan yöntem, Helmert Dönüşümü olarak da adlandırılan En Küçük Kareler (EKK) yaklaşımıdır. Son yıllarda, Toplam En Küçük Kareler (TEKK) olarak adlandırılan yeni bir yaklaşım, deformasyon analizi, koordinat dönüşümü vb. gibi jeodezik çalışmalarda kullanılmaya başlanmıştır. EKK yaklaşımında, sadece ölçü vektörü hatalı kabul edilirken, TEKK yaklaşımında ölçü vektörünün yanında katsayılar matrisi de hatalı kabul edilmektedir. Bu çalışmanın amacı, farklı dönüşüm parametreleri kullanarak bu iki yöntemin koordinat dönüşümü problemlerinde performanslarını karşılaştırmak ve 2B ağlarda değişen her bir parametrenin etkisini araştırmaktır. Bu amaçla, jeodezik bir ağ yapay olarak üretilmiş ve farklı senaryolarda dönüşüm parametreleri hesaplanmıştır. Yöntemlerin performanslarına ait karşılaştırmalar, kestirilen dönüşüm parametrelerinin norm değerleri dikkate alınarak yapılmıştır. Yöntemleri karşılaştırmak için, dönüşüm parametrelerinin ortalamalarına ait norm değerleri 10000 farklı durum için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, TEKK yaklaşımının hesaplanan norm değerlerine göre daha güvenilir sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Toplam En Küçük Kareler (TEKK), En Küçük Kareler (EKK), Koordinat Dönüşümü, Dönüşüm Parametreleri, Norm

Performance of the Least Squares and Total Least Squares Methods on Two Dimensional Coordinate Transformation

Abstract

Coordinate transformation from one datum to another is one of the basic problems in geodesy. Generally, the problem is to transform the coordinates defined in a coordinate system into a coordinate system with defined another origin by using mathematical equations. To compute the transformation parameters between two coordinate systems, sufficient number of coordinates of the common points should be known in both systems. The problem involves either two dimensional (2D) or three dimensional (3D) coordinate systems.

* Sorumlu Yazar

Geliş Tarihi: 14.04.2018

Kabul Tarihi: 04.05.2018

Geomatik Dergisi

Journal of Geomatics

Traditionally, common model used for coordinate transformation is the Least Squares (LS) method known as Helmert Transformation. Recently, a new approach so called Total Least Squares (TLS) has become used in application areas in geodetic studies, such as deformation analysis, coordinate transformation etc. Although only the observation vector is assumed as erroneous according to LS approach, design matrix besides observation vector is assumed as erroneous in TLS approach. The aims of this study were to compare the performance of these two methods in coordinate transformation problems in terms of altering transformation parameters and to investigate the effects of each parameters change to the model in 2D networks. For these aims, the geodetic networks were simulated and transformation parameters were computed under different scenarios. The comparisons of performance of the methods are considered with the norm of the estimated translation parameters. To compare the methods, the norm criteria of mean of transformation parameters were computed for 10000 different cases. The results showed that TLS estimates more reliable solutions in terms of norm values.

Keywords: *Total Least Squares (TLS) Method, Least Square (LS), Coordinate Transformation, Transformation Parameter, Norm*

1. GİRİŞ

Koordinat dönüşümü, jeodezinin en yaygın konularından birisidir. Klasik anlamda iki boyutlu koordinat dönüşümü, öteleme elemanları, ölçek faktörü ve dönme açısından oluşan dönüşüm parametreleri yardımıyla bir datumdan diğer bir datuma koordinatların aktarılması için kullanılır. Mühendislik ölçmelerinde uygulama alanlarındaki artış ve farklı datumlara sahip paftaların birleştirilmesi gibi nedenlerden dolayı, hassas datum dönüşümünün gerekliliği de artmıştır. Datum dönüşümündeki problem, iki farklı datumda bulunan koordinatları bilinen ortak noktaları kullanarak dönüşüm parametrelerinin hesaplanması olarak tanımlanabilir.

Literatürde yapılan pek çok çalışmada, dönüşüm parametrelerinin kestirimi için farklı stratejiler kullanılmıştır. Bunların arasında, 2 boyutlu ağlarda Helmert Dönüşümü en yaygın uygulanan yöntemdir (Guobin vd., 2018). Helmert Dönüşümünde dönüşüm elemanları, iki eksen boyunca alınan iki adet öteleme elemanı, bir ölçek faktörü ve iki koordinat sisteminin eksenleri arasındaki bir dönüklük açısıdır. Helmert Dönüşümünde, her iki datumda ortak olacak şekilde koordinatları bilinen en az iki noktaya ihtiyaç vardır. İki nokta, çözüm için gerekli olan minimum ortak nokta sayısını ifade etmektedir. Helmert Dönüşümü, bu ortak noktaların koordinatlarını kullanarak En Küçük Kareler (EKK) prensibine dayalı olarak kestirim yapar.

EKK yaklaşımında, sadece ölçü vektörü hatalı kabul edilir. Ancak, koordinat dönüşümünde olduğu gibi bazı durumlarda, katsayılar

matrisini oluşturan parametreler de hatalı olabilir. Bu nedenle, bu gibi durumlarda, katsayılar matrisinin de hatalı kabul edildiği Toplam En Küçük Kareler (TEKK) yaklaşımı kullanılmalıdır (Golub ve Van Loan, 1980; Van Huffel ve Vandewalle, 1991; Felus, 2004; Schaffrin vd., 2006; Markovsky ve Van Huffel, 2007; Akyılmaz, 2007; Akyılmaz vd., 2007; Schaffrin ve Wieser, 2008). TEKK, katsayılar matrisinin de rasgele hata içerdiği (Errors-in-Variables, EIV) dengeleme modelini önermektedir. Farklı koordinat sistemlerindeki noktaların koordinatları, dönüşüm eşitliklerindeki katsayılar matrisinde kendi hata bileşenleri ile değerlendirilmektedir.

Jeodezinin en yaygın olarak kullanılan ve araştırılan konularından birisi olan koordinat dönüşümü, güncelliğini ve uygulama alanlarını koruyan bir problemdir. Dönüşüme etki eden her bir parametrenin araştırılması ve kullanılan yaklaşımların performans değerlendirmeleri ise elde edilen sonuçların güvenilirliği için önemlidir.

2. YÖNTEM

2.1. İki Boyutlu EKK Yaklaşımı (Helmert Dönüşümü)

Sadece bir sisteme ait stokastik modelin hata içerdiğini kabul eden ve günümüzde Helmert Dönüşümü olarak adlandırılan 2 boyutlu koordinat dönüşümü, F.R. Helmert tarafından formüle edilmiştir. Bu yaklaşımda, dönüşüm parametreleri EKK yaklaşımı ile kestirilmektedir. 2 Boyutlu Helmert dönüşüm problemi, iki öteleme elemanı, bir dönüklük bileşeni ve bir ölçek faktörü olmak üzere dört

adet dönüşüm parametresini içermektedir. Parametrelerin kestirimi için, iki farklı sistemde ortak olan noktalar kullanılır. İki boyutlu Helmert Dönüşüm problemine ait eşitlikler, (1) ve (2)' de verilmiştir.

$$x = t_x + k \cos \varepsilon \chi - k \sin \varepsilon \gamma \quad (1)$$

$$y = t_y + k \sin \varepsilon \chi + k \cos \varepsilon \gamma \quad (2)$$

Burada χ ve γ birinci sistemdeki koordinatları, x ve y ikinci sistemdeki koordinatları, t_x ve t_y öteleme elemanlarını, k ölçek faktörünü, ε dönüklük bileşenini ifade etmektedir. \mathbf{A} katsayılar matrisinin elemanları aşağıdaki gibi yazılır,

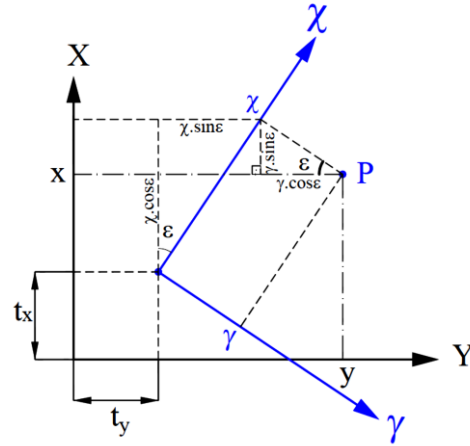
$$\mathbf{A}_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \chi_i & -\gamma_i \\ 0 & 1 & \gamma_i & \chi_i \end{bmatrix}_{i=1, \dots, n} \quad (3)$$

Burada, n her iki sistemde ortak olan nokta sayısıdır. $\mathbf{I} = [x \ y]^T$ dönüşüm problemindeki ölçü vektörünü göstermektedir. Ölçü vektörü ikinci sistemdeki tüm eşlenik noktaların koordinatlarını içerir. Dönüşüm parametrelerini $\boldsymbol{\beta} = [t_x \ t_y \ k \cos \varepsilon \ k \sin \varepsilon]^T$ kestirmek için, tek bir ortak nokta için düzeltme denklemleri aşağıdaki gibi oluşturulur:

$$\mathbf{v}_{LS} = \mathbf{A}\boldsymbol{\beta} - \mathbf{I} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \chi & -\gamma \\ 0 & 1 & \gamma & \chi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ k \cos \varepsilon \\ k \sin \varepsilon \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (5)$$

Ortak noktalar yardımı ile iki sistem arasındaki dönüşüm parametreleri kestirildikten sonra χ ve γ koordinatları, ikinci sistemde x ve y olarak adlandırılan nokta koordinatlarına dönüştürülürler (Şekil 1).



Şekil 1. İki Boyutlu Koordinat Dönüşümü

2.2. Toplam En Küçük Kareler (TEKK)

Golub ve Van Loan (1980) tarafından ortaya atılan TEKK yöntemi, ölçü vektörü ve katsayılar matrisinin her ikisinin de rasgele hata (aynı varyans değerine sahip ve sıfır ortalamalı) içerdiği EIV dengeleme modeli olarak tanımlanmaktadır. TEKK yaklaşımındaki fonksiyonel model, genel haliyle aşağıda verildiği gibi yazılabilir,

$$\mathbf{I} + \mathbf{e} = (\mathbf{A} - \mathbf{E})\boldsymbol{\beta}; \mathbf{I} + \mathbf{e} = \tilde{\mathbf{I}}; \mathbf{A} - \mathbf{E} = \tilde{\mathbf{A}} \quad (6)$$

Burada, \mathbf{A} ($m \times n$) boyutlarında ($\text{rank}(\mathbf{A}) = m < n$) olan katsayılar matrisini; \mathbf{I} ($m \times 1$) boyutundaki ölçü vektörünü; \mathbf{e} , \mathbf{I} vektörüne ait hata vektörünü; \mathbf{E} \mathbf{A} matrisine ait hata matrisini; $\boldsymbol{\beta}$ ($m \times 1$) boyutundaki bilinmeyenler vektörünü ifade etmektedir.

$$\min_{[\mathbf{e}; \mathbf{E}]} \|\mathbf{E}; \mathbf{e}\|_F \rightarrow \mathbf{I} + \mathbf{e} = (\mathbf{A} - \mathbf{E})\boldsymbol{\beta} \quad (7)$$

Burada, $\|\mathbf{H}\|_F$ $n \times m$ boyutundaki \mathbf{H} matrisinin Frobenius normunu, $[\mathbf{E}; \mathbf{e}]$ $n \times (m + 1)$ boyutlu her iki sistemdeki hata matrisini ifade eder ve aşağıda verildiği haliyle tanımlanır;

$$\|\mathbf{H}\|_F = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m h_{ij}^2} = \sqrt{\text{tr}(\mathbf{H}^T \mathbf{H})} \quad (8)$$

Burada, tr matrisin izini ifade eder. $[\tilde{\mathbf{E}}; \tilde{\mathbf{e}}]$ matrisinin minimum değere sahip olmasına dayalı olarak $\boldsymbol{\beta}$ hesaplanır.

$$(\mathbf{A} - \tilde{\mathbf{E}})\boldsymbol{\beta} = \mathbf{I} + \tilde{\mathbf{e}} \quad (9)$$

Burada; dönüşümde her iki sistemdeki hataları da içeren genişletilmiş $[A; I]$ matrisi; $[E; e]$ ' nin Frobenius normunu minimum yapacak şekilde değiştirilir. Bu değişiklik genişletilmiş $[A; I]$ matrisinin sütunları arasında lineer bir ilişki doğurur. Ayrıca, $(m+1)$ rank değerine sahip $[A; I]$ matrisi; m rank değerine sahip $[A - E; I + e] = [\hat{A}; \hat{I}]$ matrisi ile değiştirilir. Bu durum, \hat{I} nin sütunlarının \hat{A} 'nın sütunları ile lineer bağımlı olduğu anlamına gelmektedir (Felus, 2004).

Genişletilmiş $[A; I]$ matrisinin tekil değer ayrışımı (TDA) (Singular Value Decomposition – SVD) gerçekleştirilirse;

$$[A; I] = U \Sigma V^T \quad (10)$$

$U = [u_1, \dots, u_2] \in R^{n \times n}$, $V = [v_1, \dots, v_{m+1}] \in R^{(m+1) \times (m+1)}$; $\Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \dots, \sigma_{m+1}) \in R^{n \times (m+1)}$ şeklinde hesaplanır. Burada Σ matrisinin köşegen elemanları tekil değerlere, $[\sigma_{ij} = \sigma_i; i = 1, \dots, (m+1); i = j]$, köşegen dışındaki elemanları da 0' a eşit olur $[\sigma_{ij} = 0; i \neq j]$ (Felus, 2004).

Teorem 1

(10) denkleminde $[A; I]$ matrisinin TDA' sında $\sigma_m > \sigma_{m+1}$ ve $v_{m+1, m+1} \neq 0$ olduğu varsayılır. Bu durumda, genişletilmiş $[A; I]$ matrisinin TEKK kestirimi aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir:

$$[\hat{A}; \hat{I}] = U \hat{\Sigma} V^T, \hat{\Sigma} = \text{diag}(\sigma_1, \dots, \sigma_m, 0) \quad (11)$$

$\sigma_m > \sigma_{m+1}$ ve $v_{m+1, m+1} \neq 0$ koşulları A matrisi tam ranka sahip olduğunda genellikle sağlanır. Burada $\hat{I} = I + e$ ve $\hat{A} = A + E$ şeklinde ifade edilirse (6) nolu denklem aşağıdaki şekilde tekrar yazılabilir.

$$[\hat{A}; \hat{I}] \begin{bmatrix} \beta \\ -1 \end{bmatrix} = 0 \quad (12)$$

$[\beta; -1]^T$ vektörü genişletilmiş $[\hat{A}; \hat{I}]$ matrisinin soldan sıfır uzayıdır; TEKK problemi TDA kullanılarak çözülebilir. Bunun yanında, v_{m+1} (V ' nin son sütunun son bileşeni), -1 değerine sahip oluncaya kadar ölçeklendirilerek $[\beta; -1]^T$ vektörü elde edilir (Felus, 2004).

Teorem 2

(7) nolu denklemde verilen koşula göre parametreler vektörü aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\hat{\beta} = -\frac{1}{v_{m+1, m+1}} [v_{1, m+1}, \dots, v_{m, m+1}]^T \quad (13)$$

TEKK probleminin tek çözümü; en küçük tekil değer ve $[A; I]$ matrisinin sağ tekil vektörüyle ilişkilendirilir. TEKK düzeltme matrisini $[\Delta A; \Delta I]$ hesaplayabilmek için, Teorem 1 ve (13) nolu denklem birlikte düşünülürse, aşağıdaki denklem elde edilir:

$$[\Delta A; \Delta I] = [A; I] - [\hat{A}; \hat{I}] = \sigma_{m+1} u_{m+1} v_{m+1}^T \quad (14)$$

Burada, $[\hat{\beta}; -1]^T$ vektörü, $[A; I]^T [A; I]$ ' nin özdeğeri ile ilgili özvektördür. Sonuç olarak, özvektör denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$[A; I]^T [A; I] \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^T A & A^T I \\ I^T A & I^T I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ -1 \end{bmatrix} = \sigma_{m+1}^2 \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ -1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$\hat{\beta}$ bilinmeyen parametrelerin kestirimi (15) nolu denklemin ilk satırı göz önünde bulundurularak (16) nolu eşitlikte hesaplanabilir.

$$(A^T A - \sigma_{m+1}^2 I) \hat{\beta} = A^T I \quad (16)$$

(16) nolu eşitlik TEKK çözümünün normal denklemleri olarak kabul edilebilir. $\sigma_m > \sigma_{m+1}$ ve $v_{m+1, m+1} \neq 0$, olduğu için $(A^T A - \sigma_{m+1}^2 I)$ matrisi pozitifdir; bu şekilde $\hat{\beta}$ (17) nolu denklem ile hesaplanır.

$$\hat{\beta} = (A^T A - \sigma_{m+1}^2 I)^{-1} A^T I \quad (17)$$

TEKK yönteminde katsayılar matrisinin sabit sütunları

TEKK yönteminde hem ölçülerin hem de katsayılar matrisinin (A) hatalı olarak düşünülmesine karşın; TEKK çözümlerinden sonra bazı değerler değişmez, sabit kalır. Bu duruma koordinat dönüşüm problemlerinde öteleme parametrelerinin katsayıları örnek verilebilir. Bu durumda A katsayılar matrisi ve β bilinmeyen vektörü alt kısımlara ayrılır (Akyılmaz, 2007).

$$A = [A_1; A_2];$$

$$\mathbf{A}_1 \in R^{n \times m_1} \text{ ve } \mathbf{A}_2 \in R^{n \times m_2} \quad (18)$$

$$\boldsymbol{\beta} = [\boldsymbol{\beta}_1^T; \boldsymbol{\beta}_2^T]^T;$$

$$\boldsymbol{\beta}_1 \in R^{m_1 \times 1} \text{ ve } \boldsymbol{\beta}_2 \in R^{m_2 \times 1} \quad (19)$$

Burada \mathbf{A}_1 , \mathbf{A}_2 , $\boldsymbol{\beta}_1$, $\boldsymbol{\beta}_2$ sırasıyla A katsayılar matrisinin ve $\boldsymbol{\beta}$ bilinmeyen parametre vektörünün alt kısımlara bölünmüş halidir. \mathbf{A}_1 matrisinin sütunlarının bilindiği kabul edilirse; TEKK problemi aşağıdaki şekilde oluşturulabilir:

$$\min_{[\hat{\mathbf{A}}; \hat{\mathbf{I}}]} \|\mathbf{A}_2; \mathbf{I}\| - \|\hat{\mathbf{A}}_2; \hat{\mathbf{I}}\|_F \rightarrow \hat{\mathbf{A}}\hat{\boldsymbol{\beta}} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1; \hat{\mathbf{A}}_2 \\ \hat{\boldsymbol{\beta}}_1 \\ \hat{\boldsymbol{\beta}}_2 \end{bmatrix} = \hat{\mathbf{I}} \quad (20)$$

Bu problemin çözülebilmesi için bilinen sütunlarla diğerlerini ayırmak gerekir. Bu işlem QR çarpanlarına ayırma yöntemi ile gerçekleştirilebilir. QR çarpanlarına ayırma yöntemi dörtgen matrisleri bir ortogonal matris çarpımı \mathbf{Q} ve bir de üst üçgen matris \mathbf{R} olarak ifade etmemizi sağlar (Felus, 2004).

Genişletilmiş matrisin QR çarpanlarına ayrılması aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir.

$$[\mathbf{A}; \mathbf{I}] = \mathbf{QR} \quad (21)$$

$$\mathbf{Q}^T[\mathbf{A}_1; \mathbf{A}_2; \mathbf{I}] = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{11} & \mathbf{R}_{12} & \mathbf{R}_{1b} \\ \mathbf{0} & \mathbf{R}_{22} & \mathbf{R}_{2b} \end{bmatrix} \quad (22)$$

Ortogonal \mathbf{Q} matrisinin sütunlarının öklit formu 1'e ve Frobenius normu \sqrt{n} , 'ye eşittir. Ayrıca, \mathbf{R} matrisi \mathbf{R}_{11} , \mathbf{R}_{12} , \mathbf{R}_{22} , \mathbf{R}_{1b} ve \mathbf{R}_{2b} şeklinde alt matrislere ayrılabilir. Bu matrislerin boyutları sırasıyla $(m_1 \times m_1)$, $(m_1 \times m - m_1)$, $(n - m_1 \times m - m_1)$, $(m_1 \times 1)$, $(n - m_1 \times 1)$ şeklindedir.

Felus (2004)' te verildiği şekilde karma EKK-TEKK probleminin çözümü iki adımdan oluşmaktadır:

1. $\hat{\boldsymbol{\beta}}_2$ parametre vektörü indirgenmiş sistem için Teorem 2 kullanılarak hesaplanır:

$$\mathbf{R}_{22}\hat{\boldsymbol{\beta}}_2 \approx \mathbf{R}_{2b} \quad (23)$$

$\hat{\mathbf{R}}_{22}$ ve $\hat{\mathbf{R}}_{2b}$ Teorem 1 kullanılarak hesaplanabilir.

2. $\hat{\boldsymbol{\beta}}_1$ parametre vektörü aşağıdaki denklemlerde yerine koyma tekniği kullanılarak hesaplanabilir.

$$\mathbf{R}_{11}\hat{\boldsymbol{\beta}}_1 = \mathbf{R}_{1b} - \mathbf{R}_{12}\hat{\boldsymbol{\beta}}_2 \quad (24)$$

Buraya kadar anlatılan yöntemler tüm değerlere ait varyans değerlerinin aynı kabul edildiği klasik TEKK çözümünü içermektedir. Buna karşın, katsayılar matrisinin ve ölçülerin varyans değerleri farklı olabilir. Bu tür problemlerin çözümünde Genelleştirilmiş TEKK (GTEKK) yöntemi uygulanır (Felus, 2004; Neitzel, 2010).

GTEKK yönteminde \mathbf{D} ve \mathbf{C} olarak iki köşegen ağırlık matrisi tanımlanır. \mathbf{D} , $n \times n$ boyutunda ölçülerin ağırlık matrisini ifade etmektedir ($\mathbf{D} = \text{diag}(\mathbf{d}_1, \dots, \mathbf{d}_n)$). Ayrıca \mathbf{C} , $(m + 1) \times (m + 1)$ boyutunda \mathbf{A}_2 sütunundaki katsayılar matrisine ilişkin ağırlık matrisini ifade etmektedir ($\mathbf{C} = \text{diag}(\mathbf{c}_1, \dots, \mathbf{c}_{m+1})$). Bu tanımlara göre GTEKK probleminin çözümü aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$\min_{[\mathbf{e}; \mathbf{E}_{A2}]} \|\mathbf{D}[\mathbf{E}_{A2}; \mathbf{e}]\mathbf{C}\|_F \rightarrow \mathbf{b} + \mathbf{e} = (\mathbf{A}_1; \mathbf{A}_2 + \mathbf{E}_{A2}) \begin{bmatrix} \hat{\boldsymbol{\beta}}_1 \\ \hat{\boldsymbol{\beta}}_2 \end{bmatrix} \quad (25)$$

Felus (2004) GTEKK probleminin çözümünü 3 adımda ortaya koymaktadır:

1. Genişletilmiş $\mathbf{D}[\mathbf{A}; \mathbf{I}]$ matrisi QR çarpanlarına ayrılır.

$$\mathbf{Q}^T\mathbf{D}[\mathbf{A}_1; \mathbf{A}_2; \mathbf{I}] = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{11} & \mathbf{R}_{12} & \mathbf{R}_{1b} \\ \mathbf{0} & \mathbf{R}_{22} & \mathbf{R}_{2b} \end{bmatrix} \quad (26)$$

2. İndirgenmiş sistem için $\hat{\boldsymbol{\beta}}_2$ parametre vektörü klasik TEKK yöntemine göre hesaplanır.

$$[\mathbf{R}_{22}; \mathbf{R}_{2b}]\mathbf{C} \left(\mathbf{C}^{-1} \begin{bmatrix} \hat{\boldsymbol{\beta}}_2 \\ -\mathbf{1} \end{bmatrix} \right) \approx \mathbf{0} \quad (27)$$

(27) nolu eşitliği çözümü için $[\mathbf{R}_{22}; \mathbf{R}_{2b}]\mathbf{C} = \mathbf{U}\boldsymbol{\Sigma}\mathbf{V}^T$ eşitliğinin TDA' sı hesaplanır.

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = -\frac{1}{\mathbf{c}_{m+1} \cdot \mathbf{v}_{m+1, m+1}} \mathbf{c}_{1..m} [v_{1, m+1}, \dots, v_{m, m+1}]^T \quad (28)$$

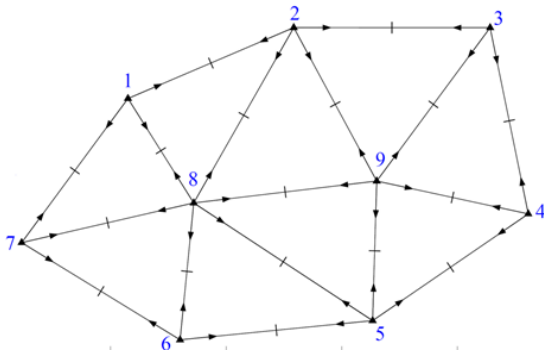
Burada, $\mathbf{C}_{1..m} = \text{diag}(c_1, \dots, c_m)$

3. $\hat{\beta}_1$ parametresi, ikinci adımda hesaplanan $\hat{\beta}_2$ parametresinin yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\mathbf{R}_{11}\hat{\beta}_1 = \mathbf{R}_{1b} - \mathbf{R}_{12}\hat{\beta}_2 \quad (29)$$

3. BULGULAR

Son yıllarda koordinat dönüşümü ile ilgi pek çok çalışma yapılmasına karşın, TEKK yöntemi kullanılarak koordinat dönüşümünün güvenilirliği ile ilgili çalışma yapılmamıştır. Her iki yöntem, doğrultu-kenar ölçülerine dayalı olarak yapay olarak oluşturulmuş ağlarda (Şekil 2) test edilmiştir. Kenar uzunlukları 212 m ile 370 m aralığında değişen 9 noktalı test ağında, kullanılan alet doğruluğu kenar ölçümünde $\pm(3 + 2 ppm)$ ve doğrultu ölçümünde $\pm 2''$ olarak kabul edilmiştir. Yöntemlerin performanslarına ait karşılaştırmalar, kestirilen dönüşüm parametrelerinin norm değerleri dikkate alınarak yapılmıştır. Norm değeri, analiz yönteminin performans ölçümünde kullanılan bir değerdir (Hekimoğlu ve Erenoglu 2013). Çalışmada, birinci ve ikinci datumlar 100×100 kez üretilmiştir. Burada, ikinci datum, Tablo 1, 2, 3 ve 4' te verilen durumlar göz önüne alınarak orijinal dönüşüm parametreleri kullanılarak üretilmiştir. Simülasyon, 10000 kez çalıştırılmış ve dönüşüm parametreleri 10000 tekrar için hesaplanmıştır. Norm değerleri, orijinal dönüşüm parametreleri ile kestirilen değerlerin arasındaki farkların mutlak değerlerine ait ortalama değerden hesaplanmıştır (Hekimoğlu ve Erenoglu, 2013).



Şekil 2. 2B yapay olarak üretilmiş ağ (Doğrultu-Kenar)

2 Boyutlu ağda, dört adet dönüşüm parametresi (iki öteleme, bir dönüklük ve bir ölçek faktörü)

sırasıyla t_x , t_y , ε ve k olarak gösterilmiştir (Tablo 1-4). Her durumda, ölçek faktörü sabit ("1") olarak alınmıştır. Tablolarda farklı senaryolara ait 2 Boyutlu ağ çözümleri verilmiştir. Farklı senaryolardaki durumlar, öteleme elemanları ile dönüklük bileşeni arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için oluşturulmuş ve bu sayede EKK ile TEKK çözümlerinin güvenilirliği araştırılmıştır.

Tablo 1' de, dönüklük bileşeni 0° ile 10° arasında artırılırken, öteleme elemanları değiştirilmeyerek 10 cm gibi küçük değişimlerdeki durum dikkate alınmıştır. Helmert dönüşümünden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, parametrelere ait norm değerlerinin 2.3556 ve 2.3598 arasında birbirine yakın değerlerde değiştiği ve anlamlı bir farkın olmadığı görülmüştür. Ancak, dönüklük açısının 10° olduğu durumda norm değerlerinde farklılıklar bulunmuştur. Dönüklük açısı 10° olduğunda hesaplanan norm değeri diğer durumlardan daha küçük sonuç vermiştir. Bu durum, EKK yaklaşımının 2 Boyutlu ağlarda dönüklük açısının büyük olduğu durumlar için güvenilir sonuçlar verdiğini göstermektedir. Küçük dönüklük açıları için daha az hassas sonuçlara ulaşılmıştır.

Benzer sonuçlar, TEKK yaklaşımı ile elde edilen çözümlerde de görülmüştür. Parametrelere ait norm değerleri 1.2128 ve 1.2145 arasında değişmektedir. Dönüklük açısının 10° olduğu durumda ise en küçük norm değerleri elde edilmiştir.

EKK ve TEKK çözümleri karşılaştırıldığında, TEKK yaklaşımı ile elde edilen norm değerinin EKK çözümünden elde edilen değerden iki kat daha küçük olduğu görülmektedir. Tablo 2 ve 3' te, dönüklük bileşeni 0° dan 10° ye çıkarılırken, x ve y yönlerindeki öteleme elemanları aynı anda 1 m' den 100 m' ye artırılmıştır. Bu durumda, her bir senaryo için EKK ve TEKK sonuçları incelendiğinde, Tablo 1' de elde edilen sonuçlara benzer olarak dönüklük açısının 10° olduğu durumda norm değerlerinde değişimin olduğu görülmektedir. Tablo 4' te verildiği gibi öteleme elemanları 1000 m olarak alınmış ve son senaryodaki durum değerlendirilmiştir. Burada, en yüksek öteleme değerleri verilmiş olmasına rağmen diğer

durumlarda elde edilen sonuçlarla benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 1. $t_x = t_y = 10$ cm için 2B ağda elde edilen sonuçlar

Senaryolar	EKK		TEKK	
	Ortalama	Norm	Ortalama	Norm
t_x (m)	\hat{t}_x (m)		\hat{t}_x (m)	
t_y (m)	\hat{t}_y (m)		\hat{t}_y (m)	
k	\hat{k}		\hat{k}	
ε (°)	$\hat{\varepsilon}$ (°)		$\hat{\varepsilon}$ (°)	
10 cm	0.5071	2.3556	0.3817	1.2128
10 cm	-2.2201		-1.0796	
1	0.9999		0.9999	
0"	0.0004		0.0004	
10 cm	0.5072	2.3556	0.3818	1.2128
10 cm	-2.2202		-1.0796	
1	0.9999		0.9999	
0.00278° (10")	0.0028		0.0028	
10 cm	0.5142	2.3598	0.3919	1.2145
10 cm	-2.2231		-1.0789	
1	0.9999		0.9999	
0.16667° (10')	0.1667		0.1667	
10 cm	0.8056	1.9799	1.0297	1.0808
10 cm	-1.7499		-0.4511	
1	0.9999		0.9999	
10°	10.0000		10.0000	

Tablo 2. $t_x = t_y = 1$ m için 2B ağda elde edilen sonuçlar

Senaryolar	EKK		TEKK	
	Ortalama	Norm	Ortalama	Norm
t_x (m)	\hat{t}_x (m)		\hat{t}_x (m)	
t_y (m)	\hat{t}_y (m)		\hat{t}_y (m)	
k	\hat{k}		\hat{k}	
ε (°)	$\hat{\varepsilon}$ (°)		$\hat{\varepsilon}$ (°)	
1 m	1.4071	2.3556	1.2817	1.2128
1 m	-1.3201		-0.1796	
1	0.9999		0.9999	
0"	0.0004		0.0004	
1 m	1.4072	2.3556	1.2818	1.2129
1 m	-1.3202		-0.1796	
1	0.9999		0.9999	
0.00278° (10")	0.0028		0.0028	
1 m	1.4142	2.3598	1.2919	1.2145
1 m	-1.3231		-0.1789	
1	0.9999		0.9999	
0.16667° (10')	0.1667		0.1667	
1 m	1.7056	1.9799	1.9297	1.0808
1 m	-0.8499		0.4489	
1	0.9999		0.9999	
10°	10.0000		10.0000	

Tablo 3. $t_x = t_y = 100$ m için 2B ağda elde edilen sonuçlar

Senaryolar	EKK		TEKK	
	Ortalama	Norm	Ortalama	Norm
t_x (m)	\hat{t}_x (m)		\hat{t}_x (m)	
t_y (m)	\hat{t}_y (m)		\hat{t}_y (m)	
k	\hat{k}		\hat{k}	
ε (°)	$\hat{\varepsilon}$ (°)		$\hat{\varepsilon}$ (°)	
100	100.4071	2.3556	100.2816	1.2128
100	97.6799		98.8204	
1	0.9999		0.9999	
0"	0.0004		0.0004	
100	100.4072	2.3556	100.2818	1.2128

100	97.6798		98.8204	
1	0.9999		0.9999	
0.00278° (10")	0.0028		0.0028	
100	100.4142	2.3598	100.2919	1.2145
100	97.6769		98.8211	
1	0.9999		0.9999	
0.16667° (10')	0.1667		0.1667	
100	100.7056	1.9799	100.9297	1.0807
100	98.1501		99.4489	
1	0.9999		0.9999	
10°	10.0000		10.0000	

Tablo 4. $t_x = t_y = 1000$ m için 2B ağda elde edilen sonuçlar

Senaryolar	EKK		TEKK	
	Ortalama	Norm	Ortalama	Norm
t_x (m)	\hat{t}_x (m)		\hat{t}_x (m)	
t_y (m)	\hat{t}_y (m)		\hat{t}_y (m)	
k	\hat{k}		\hat{k}	
ε (°)	$\hat{\varepsilon}$ (°)		$\hat{\varepsilon}$ (°)	
1000	1000.4071	2.3556	1000.2816	1.2128
1000	997.6799		998.8203	
1	0.9999		0.9999	
0"	0.0004		0.0004	
1000	1000.4072	2.3556	1000.2818	1.2128
1000	997.6798		998.8204	
1	0.9999		0.9999	
0.00278° (10")	0.0028		0.0028	
1000	1000.4142	2.3598	1000.2919	1.2145
1000	997.6769		998.8211	
1	0.9999		0.9999	
0.16667° (10')	0.1667		0.1667	
1000	1000.7056	1.9799	1000.9297	1.0808
1000	998.1501		999.4489	
1	0.9999		0.9999	
10°	10.0000		10.0000	

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, önemli jeodezik problemlerden bir tanesi olan koordinat dönüşüm problemi EKK ve TEKK yaklaşımları kullanılarak incelenmiştir. Bunun için problem, yapay olarak üretilmiş 2 boyutlu ağlarda test edilmiştir. 2 boyutlu ağa ait nokta koordinatları doğrultu-kenar ölçülerinden hesaplanmıştır. İkinci datuma ait koordinatlar, her bir durum için tablolarda verilen değerler kullanılarak orijinal dönüşüm parametrelerinden üretilmiştir. Koordinat dönüşümü jeodezik problemlere sıklıkla uygulanmasına rağmen, son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlayan TEKK yöntemine ait doğruluk analizleri henüz incelenmemiştir. Modele ait doğruluk analizlerinin tek bir üretilen ağdan yapılması yeterli olmayacağından dolayı, yöntemin performansını değerlendirmek için 10 000 adet ağ oluşturulmuştur. Her durum için, kestirilen parametreler orijinal

parametrelerle karşılaştırılmış ve norm değerleri hesaplanmıştır. TEKK yaklaşımında, ölçüler ve katsayılar matrisi hatalı alınırsa, daha güvenilir sonuçlara ulaşılmaktadır. Ancak, EKK kestiriminde, sadece ölçü vektörünün hatalı olduğu kabul edilmektedir. Bu durum, katsayılar matrisinin ve ölçü vektörünün hata içerdiği bu deneysel çalışmada da gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, TEKK yaklaşımının, koordinat dönüşümü için parametre kestiriminde uygulanmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Van Huffel, S., ve Vandewalle, J. (1991). The total least squares problem, computational aspects and analysis. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, Philadelphia.

KAYNAKÇA

- Akyılmaz, O. (2007). Total Least Squares Solution of Coordinate Transformation. *Survey Review*, 39, 303, 68-80.
- Akyılmaz, O., Acar, M., Ozludemir, M. T. (2007) "Koordinat Dönüşümünde En Küçük Kareler ve Toplam En Küçük Kareler Yöntemleri", *HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, Vol. 2007/2, No. 97, 15-21
- Felus, Y. (2004). Application of Total Least Squares for Spatial Point Process Analysis. *Journal of Surveying Engineering*, 103 (3), 126-133.
- Golub, H.G., Van Loan, F.C. (1980). An Analysis of the Total Least Squares Problem. *SIAM Journal of Numerical Analysis*, 17 (6), 883-893.
- Guobin Chang, G., Lin, P., Bian, H., ve Gao, J. (2018). Simultaneous Helmert transformations among multiple frames considering all relevant measurements. *Meas. Sci. Technol.* 29, 035801 (10pp)
- Hekimoglu, S., ve Erenoglu, R. C. (2013). A new GM-estimate with high breakdown point. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 48(4), 419-437
- Markovsky, I., ve Van Huffel, S. (2007). Overview of total least-squares methods. *Signal Processing*, 87, 2283–2302.
- Neitzel, F. (2010). Generalisation of total least squares on example of unweighted and weighted similarity transformation. *J Geodesy*, 35, 751–762.
- Schaffrin, B., Lee, I., Felus, Y., ve Choi, Y. (2006). Total least squares (TLS) for geodetic straight-line and plane adjustment. *Boll Geod Sci Aff.*, 65 (3), 141–168.
- Schaffrin, B., ve Wieser, A. (2008). On weighted total least-squares adjustment for linear regression. *J. Geodes.*, 82(7), 415–21.