Harita Dergisi

Ocak 2018
Sayı 159

ISSN 1300-5790

Şahin E. K: **Heyelan Duyarlılık Haritası İçin Adımsal Regresyona Dayalı Faktör Seçme Yönteminin Etkinliğinin Araştırılması** (Assessment of Factor Selection Based on Stepwise Regression for Landslide Susceptibility Mapping)

Yağcı A. L, Çam A: **Uzaktan Algılamada Rutin İşlemlerin Otomasyonu: Görüntülerin Sadece Veri ile İlgili Olan Kısımlarının Kesimi** (Automation of Routine Tasks in Remote Sensing: Extracting Only Useful Parts of Imagery)

Çetinkaya C, Dabbaa A, Özceylan E, Erbaş M: **Increasing The School Access in Azaz City, Syria: A GIS-Based Set Covering Model** (Azaz Şehrindeki Okul Erişiminin Arttırılması: CBS Tabanlı Küme Kapsama Modeli)

Kiracı A C, Toz G: **Stereo Görüntü Yöneltmesinde Duyarlılık Analizi** (Precision Analysis of The Stereo Image Orientation)

Yılmaztürk F, Gürbak A. E: **Yakın Resim Fotogrametrisinde Cep Telefonu Kameralarının Kullanımının Araştırılması** (Investigation of The Use of Mobile Phones Cameras In Close Range Photogrammetry)

HARİTA GENEL KOMUTANLIĞI, ANKARA
www.hgk.msb.gov.tr

HARİTA DERGİSİ
Ocak 2018
Yıl: 84 Sayı: 159

ALTI AYDA BİR YAYIMLANIR.
HAKEMLİ DERGİDİR.
YEREL SÜRELİ YAYINDIR.

Sahibi
Harita Genel Komutanlığı Adına
Tuğgeneral Osman ALP

Sorumlu Müdür
Harita Yük.Tek.Ok.K.lığı Adına
Müh. Alb. Caner KARABAY

Editörler
Müh. Alb. Erdem PARMAKSIZ
Müh. Yb. Selçuk CEYLAN

Yönetim Kurulu
Müh. Alb. Caner KARABAY (Bşk.)
Dr. Müh. Alb. Mustafa ATA
Müh. Alb. Hüseyin ÇELİK
Müh. Alb. Erdem PARMAKSIZ
Doç. Dr. Müh. Alb. Hasan YILDIZ

Yönetim Yeri Adresi
Harita Genel Komutanlığı
Harita Dergisi Yönetim Kurulu
Başkanlığı
06590 Cebeci / ANKARA

Tel : (312) 595 22 22
Faks: (312) 320 14 95
e-posta: haritadergisi@hgk.msb.gov.tr

Basım Yeri
Harita Genel Komutanlığı Matbaası
ANKARA

ISSN 1300 – 5790

Bu dergide yayımlanan makaleler, yazarlarının özel fikirlerini yansıtır.

TÜBİTAK-ULAKBİM Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanında (TÜBİTAK MTBVT) taranmaktadır.

İ Ç İ N D E K İ L E R

Heyelan Duyarlılık Haritası İçin Adımsal Regresyona Dayalı Faktör Seçme Yönteminin Etkinliğinin Araştırılması (Assessment of Factor Selection Based on Stepwise Regression for Landslide Susceptibility Mapping)

Emrehan Kutluğ ŞAHİN 1 - 15

Uzaktan Algılamada Rutin İşlemlerin Otomasyonu: Görüntülerin Sadece Veri ile İlgili Olan Kısımlarının Kesimi (Automation of Routine Tasks in Remote Sensing: Extracting Only Useful Parts of Imagery)

Ali Levent YAĞCI
Ahmet ÇAM 16 – 26

Increasing The School Access in Azaz City, Syria: A GIS-Based Set Covering Model (Azaz Şehrindeki Okul Erişiminin Arttırılması: CBS Tabanlı Küme Kapsama Modeli)

Cihan ÇETİNKAYA
Abdulhamid DABBAA
Eren ÖZCEYLAN
Mehmet ERBAŞ 27 – 35

Stereo Görüntü Yöneltmesinde Duyarlılık Analizi (Precision Analysis of The Stereo Image Orientation)

Ali Coşkun KİRACI
Gönül TOZ 36 – 43

Yakın Resim Fotogrametrisinde Cep Telefonu Kameralarının Kullanımının Araştırılması (Investigation of The Use of Mobile Phones Cameras In Close Range Photogrammetry)

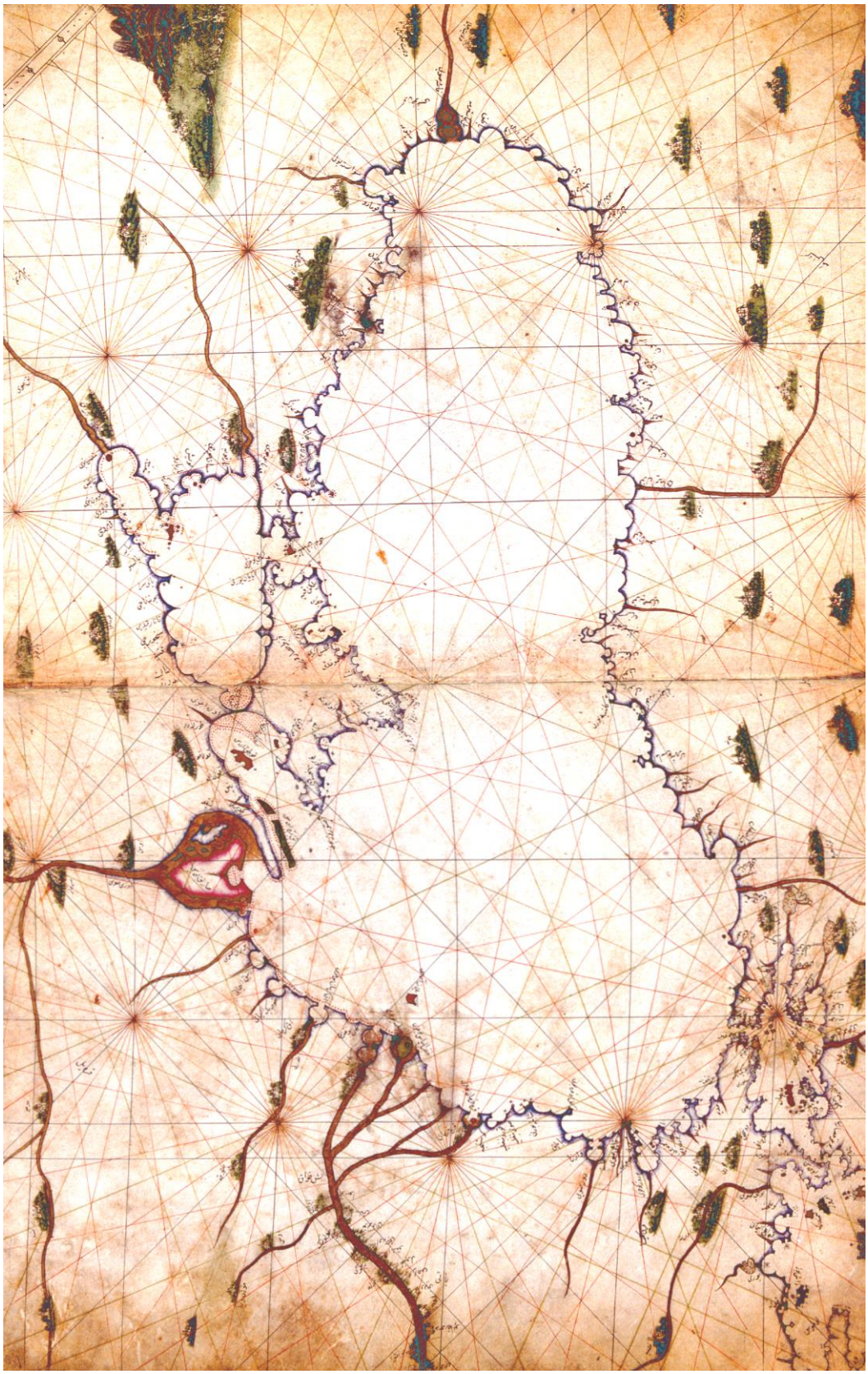
Ferruh YILMAZTÜRK
Ali Ersin GÜRBAK 44 – 51

Bilim Kurulu

Tuğgeneral Osman ALP (HGK)
Prof.Dr.Ahmet Tuğrul BAŞOKUR (AÜ)
Prof.Dr.Bahadır AKTUĞ (AÜ)
Prof.Dr.Çetin CÖMERT (KTÜ)
Prof.Dr.Cevat İNAL (SÜ)
Prof.Dr.D.Zafer ŞEKER (İTÜ)
Prof.Dr.Fatmagül KILIÇ (YTÜ)
Prof.Dr.Ferruh YILDIZ (SÜ)
Prof.Dr.Filiz SUNAR (İTÜ)
Prof.Dr.Gönül TOZ (İTÜ)
Prof.Dr.Haluk ÖZENER (BÜ)
Prof.Dr.Şenol Hakan KUTOĞLU (BEÜ)
Prof.Dr.M.Onur KARSLIOĞLU (ODTÜ)
Prof.Dr.Mustafa TÜRKER (HÜ)
Prof.Dr.Naci YASTIKLI (YTÜ)
Prof.Dr.Nebiye MUSAOĞLU (İTÜ)
Prof.Dr.Necla ULUĞTEKİN (İTÜ)
Prof.Dr.İ.Öztuğ BİLDİRİCİ (SÜ)
Prof.Dr.Rahmi Nurhan ÇELİK(İTÜ)
Prof.Dr.Semih ERGİNTAV (BÜ)
Prof.Dr.Taşkın KAVZOĞLU (GTÜ)
Prof.Dr.Uğur DOĞAN (YTÜ)
Prof.Dr.Fevzi KARSLI (KTÜ)
Prof.Dr.Uğur ŞANLI (YTÜ)
Doç.Dr.Aydın ÜSTÜN (KÜ)
Doç.Dr.Cemal Özer YİĞİT (GTÜ)
Doç.Dr.Hande DEMİREL (İTÜ)
Doç.Dr.Hakan MARAŞ (ÇÜ)
Doç.Dr.Melih BAŞARANER (YTÜ)
Doç.Dr.Müh.Alb.Hasan YILDIZ (HGK)
Yrd.Doç.Dr.Hakan AKÇİN (BEÜ)
Yrd.Doç.Dr.Mustafa KURT (OÜ)
Dr.Müh.Alb.Mustafa ATA (HGK)
Dr.Müh.Alb.Mustafa ERDOĞAN (HGK)
Dr.Müh.Alb.Yavuz Selim ŞENGÜN (HGK)
Dr.Müh.Alb.Altan YILMAZ (HGK)
Prof.Dr.Ayhan ALKIŞ
Prof.Dr.Zübeyde ALKIŞ
Prof.Dr.Sıtkı KÜLÜR
Prof.Dr.Cankut ÖRMECİ
Prof.Dr.Orhan ALTAN
Prof.Dr.Ahmet KAYA
Prof.Dr.Ali KOÇYİĞİT
Prof.Dr.Şerif HEKİMOĞLU
Doç.Dr.Ali KILIÇOĞLU
Doç.Dr.Onur LENK
Dr.Coşkun DEMİR
Dr.Oktay EKER

Bu Sayıda Hakem Olarak Görev Alan Bilim Kurulu Üyeleri

Prof.Dr.Dursun Zafer ŞEKER (İTÜ)
Prof.Dr.Taşkın KAVZOĞLU (GTÜ)
Prof.Dr.Uğur ŞANLI (YTÜ)
Prof.Dr.Mustafa TÜRKER (HÜ)
Prof.Dr.Uğur DOĞAN (YTÜ)
Prof.Dr.Necla ULUĞTEKİN (İTÜ)
Prof.Dr.Ferruh YILDIZ (SÜ)
Prof.Dr.Fevzi KARSLI (KTÜ)
Prof.Dr.Fatmagül KILIÇ (YTÜ)
Prof.Dr.Bahadır AKTUĞ (AÜ)
Doç.Dr.Melih BAŞARANER (YTÜ)
Doç.Dr.Hakan MARAŞ (ÇÜ)
Doç.Dr.Cemal Özer YİĞİT (GTÜ)
Dr.Müh.Alb.Mustafa ERDOĞAN (HGK)
Dr.Müh.Alb.Altan YILMAZ (HGK)
Prof.Dr.Sıtkı KÜLÜR
Dr. Oktay EKER



Ali Macar Reis ve Atlası, Karadeniz Haritası

Ali Macar Reis ve Atlası, Karadeniz Haritası [1]

ALİ MACAR REİS ve ATLASI

16'ncı yüzyıl Osmanlı Haritacılığının doruk noktalarından olan Ali Macar Reis Atlası, adından da anlaşılacağı gibi levend reisi bir denizcinin eseridir. Daha açık deyişle Ali Macar, Akdenizi kasıp kavuran Osmanlı korsan reislerinden biridir. Osmanlı ülkesinin en mahir denizcileri korsanlardı. Savaşcılıklarının yanı sıra, deniz bilimlerinde de üstün bilgilere sahiptiler. Osmanlı denizciliği ve kartografyasının öncüsü oldular.

Topkapı Sarayı Müzesi Kütüphanesi Hazine Kitaplığı 644 numarada kayıtlı bulunan Ali Macar Reis Atlası, yedi haritadan oluşur. Atlas, dönemin cildindendir.; cilt kapakları kahverengidir. Ön ve arka kapaklarının ortasında, Osmanlı cilt sanatının süsleme öğesi şemse bulunur. Kapakların kenarı ayrıca altın yaldız zencerek ve cetvelle çerçevelenmiştir. Yılların etkisi ile bu yaldızlar silinmeye yüz tutmuştur. 18 sayfadan oluşan atlasta, haritalar yedi çift sayfa üzerinde 31x43 santimlik alanı kaplar. Deri parşömen üzerine çizilmiştir. Atlasta yer alan ilk altı harita(Karadeniz, Doğu Akdeniz ve Ege Haritası, İtalya Haritası, Batı Akdeniz ve İber Yarımadası, Britanya Adaları ve Avrupanın Atlantik Kıyıları, Ege Deniz-Batı Anadolu ve Yunanistan Haritası), XVI. Yüzyıl Osmanlı deniz haritalarının tipik örneğidir. Sonuncusu bir Dünya haritasıdır.

Atlasta bulunan ilk altı harita, portolonların tipik özelliklerini taşır ve tamamında on yedi adet rüzgârgülü bulunur. Rüzgârgüllerinden ayrılan otuz iki yön çizgisi belli renklerdedir.

Sekiz ana yön siyah ile, ana yönlerin ortaları kırmızı ile, kerte adı verilen ara yönler yeşil renkle çizilmiştir. Bütün haritaların altında mil ölçeği bulunmaktadır. Limanlar abartılı girinti ve çıkıntılarla belirtilmiştir. Karaların denizle birleştiği yerler lacivertle gölgelendirilmiş, böylece kıyıların göze çarpması amaçlanmıştır. Portolanlarda yer alan adalar altın yaldız, sarı, yeşil, pembe, kırmızı gibi göze çarpan renklerle boyanmıştır. Portolanlarda adet olduğu üzere sığlık yerler kırmızı noktalarla, gizli kayalıklar (+) ile gösterilmiştir. Nehirler altın yaldıza boyanmıştır. Bazı büyük nehirlerin deltaları abartılı çizilmiş, göz alıcı şekilde renklendirilmiştir.

Dünya haritası ve ikinci Ege Haritası dışında, önemli kentler ve kaleler, renkli basit minyatürlerle gösterilmiştir. Kentlerin adları siyahla yazılmış ve böylece portolonlarda önemli limanların kırmızı ile yazılması kuralının dışına çıkılmıştır. Haritaların tamamı kuzeye yönlendirilmiş ve siyasi sınırlarla ilgili hiç bir bilgi verilmemiştir.

[1] *Kemal Özdemir, Osmanlı Haritaları, s.104-105-108-109*

Heyelan Duyarlılık Haritası İçin Adımsal Regresyona Dayalı Faktör Seçme Yönteminin Etkinliğinin Araştırılması

(Assessment of Factor Selection Based on Stepwise Regression for Landslide Susceptibility Mapping)

Emrehan Kutluğ ŞAHİN
Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Gebze, Kocaeli
e.sahin@gtu.edu.tr

ÖZ

Optimum faktör seçimi ve harita üretim metodunun belirlenmesi heyelan duyarlılık haritası üretim sürecinin en önemli bileşenleri arasında yer almaktadır. Fakat; heyelan duyarlılık haritalarında kullanılan faktörler ile yöntemlerin tespitinde henüz evrensel kuralların oluşturulamadığı söylenebilir. Bu çalışmanın temel amacı, çok sayıda heyelanda etkili faktörler içerisinde optimum faktör modelinin tespiti ve farklı yöntemler kullanılarak heyelan duyarlılık haritası üretimindeki etkinliğinin araştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, adımsal regresyon (AR) metodu optimum faktör modeli tespitinde kullanılmıştır. Ayrıca, lojistik regresyon (LR) ve rastgele orman (RO) gibi harita tahmin yöntemlerinin heyelan duyarlılık haritası üretimindeki etkinliği araştırılmıştır. Üretilen duyarlılık haritalarının performanslarının değerlendirilmesi amacıyla genel doğruluk, kappa değerleri, ROC (Alıcı işlem karakteristikleri) eğrisi ile AUC (Eğri Altında Kalan) değerleri incelenmiştir. Ayrıca üretilen modeller arasındaki farklılıklar ve istatistiksel anlamlılıkları McNemar'ın testi ile analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, AR yöntemiyle belirlenen 6 faktörden oluşan Model-6 (NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), Yükseklik, Bakı, Litoloji, Topoğrafik Islaklık İndeksi(Tİİ), Eğim) ile optimum faktör model kurulmuştur. En yüksek genel doğruluk (%88,27) AR algoritması tarafından belirlenen 6 faktörü içeren veri setinin (Model-6) RO algoritması yardımıyla tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, AR ve RO yöntemi ile belirlenen optimum faktör modelinin geleneksel LR yönteminden yaklaşık %8 oranında daha üstün olduğunu ve bu farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: *Faktör seçimi, rastgele orman, duyarlılık haritası, lojistik regresyon, adımsal regresyon*

ABSTRACT

Selection of optimum factors and map production methods are main crucial components of landslide susceptibility mapping process. Unfortunately, there are no universal guidelines regarding the selection of factors in landslide susceptibility mapping. The main purpose of this study was to determine an optimal factor model within the available landslide conditioning factors and investigation of suitable prediction method for landslide susceptibility mapping. For this purpose, stepwise regression method was used to determine the optimal factor model. In addition, this study investigates the map prediction method of logistic regression and random forest for producing landslide susceptibility map. All optimum factor models were tested using overall accuracy, kappa value, area under the ROC curve and AUC value. Also, McNemar's test statistic was also applied to test the statistical significance of performance differences for factor models. As a result of the study, the optimum factor model was established as Model-6 consisting of 6 landslide causative factors (NDVI, elevation, aspect, lithology, topographic wetness index and slope) by applying stepwise regression method. The highest overall accuracy (88.27%) was estimated by RF algorithm for the dataset including 6 factors selected with Stepwise algorithm (Model-6). Results showed that the optimum factor model determined by stepwise regression and random forest method outperformed the conventional LR method by about 8% and this level of difference was found to be statistically significant.

Keywords: *Factor selection, random forest, susceptibility map, logistic regression, stepwise regression*

1. GİRİŞ

Doğal afet, büyük oranda veya tamamen insanların kontrolü dışında gerçekleşen, can ve mal kaybına neden olabilen, yerel ve küresel anlamda büyük zararlar doğuran olay ya da olaylar bütünüdür. Dünyada doğal afetler, nüfus artışı ve yetersiz planlama nedeniyle gelişmekte olan ülkelerin kırsal ve kentsel alanlarında büyüyerek artan bir zafiyettir. Doğal afetler ortaya çıkış nedenlerine göre incelendiğinde deprem, heyelan, yanardağ patlamaları ve tsunami gibi jeolojik kökenli olaylar olabileceği gibi su taşkını, fırtına, kuraklık, sel, hortum ve orman yangınları gibi meteorolojik etmenler olabilmektedir. Türkiye de yaşanan doğal afetler incelendiğinde, özellikle deprem, heyelan, erozyon, sel, su taşkını, yangın ve çığ en sık görülen doğal afet türleri olduğu söylenebilir (Ergünay, 2007). Ülkemizde can ve mal kayıpları açısından en yıkıcı doğal afetlerin başında deprem ve heyelan gelmektedir.

Heyelana eğilimli alanların belirlenmesi ve mekânsal tahmini, yerel yönetimlerin afet azaltma çalışmalarında ve yatırımlarında önemli bir rol oynamaktadır. Heyelanların karakteristik özellikleri ve çevresel etkileri tematik haritalar ile ortaya konulabilmektedir. Tematik haritalar, heyelana eğilimli alanlardaki duyarlılık

seviyelerinin ölçülmesi ve mekânsal dağılımları hakkında bilgi sağlayan ve birçok risk yönetimi çalışmalarında birincil girdi olarak yaygın bir şekilde kullanılan haritalardır. Bir tematik harita türü olan heyelan duyarlılık haritaları gelecekte oluşabilecek potansiyel heyelan alanlarının tespitinde kullanılır. Bu nedenle risk yönetimi için büyük önem arz eden heyelan duyarlılık haritalarının doğru ve güncel üretilmesi yerel ölçekten küresel ölçeğe kadar birçok çalışma için en önemli esaslardan biridir.

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesindeki en önemli işlem adımı, heyelana etki edebilecek faktörleri belirlenmesi ve kullanılan faktörlerin bir arada değerlendirilmesi sürecidir. Bu kapsamda topoğrafik, jeolojik ve meteorolojik veri türlerine bağlı doğal kaynaklar ile birlikte insan kaynaklı birçok faktörün bir arada değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle duyarlılık haritası üretiminde çok sayıda faktörün birlikte değerlendirilmesini gerektiren karmaşık durumlar söz konusu olduğundan, karar vericilerin sezgisel, deneme-yanılma veya benzer çalışmalarda neler tercih ediliyor gibi yaklaşımlara başvurmaları yanlış kararların verilmesi riskini taşımaktadır. Ayrıca, heyelan duyarlılık haritalarında kullanılan faktörlerin seçimi konusunda henüz evrensel bir uzlaşı bulunmadığı söylenebilir (Gokceoglu ve Ercanoglu, 2001). Heyelan duyarlılık haritası üretimi değerlendirmelerinde önemli bir nokta ise her bölgenin farklı yapısal özellikler göstermesidir. Bu nedenle, duyarlılık değerlendirilmelerinde kimi bölgeler için topoğrafik parametreler anlamlı bulunup değerlendirilirken kimi bölgelerde jeolojik, çevresel veya hidrolojik niteliklere sahip faktörler tercih edilmektedir. (Nefeslioglu vd., 2008). Söz konusu nedenlerden dolayı karar vericilerin heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılacakları anlamlı faktörleri tespit etme işlemlerinde kullanıcı tabanlı eğilimler dışında modern karar verme tekniği olan özellik seçimi tekniklerine başvurmaları doğru ve hızlı sonuçlara ulaşmalarında faydalı olacaktır.

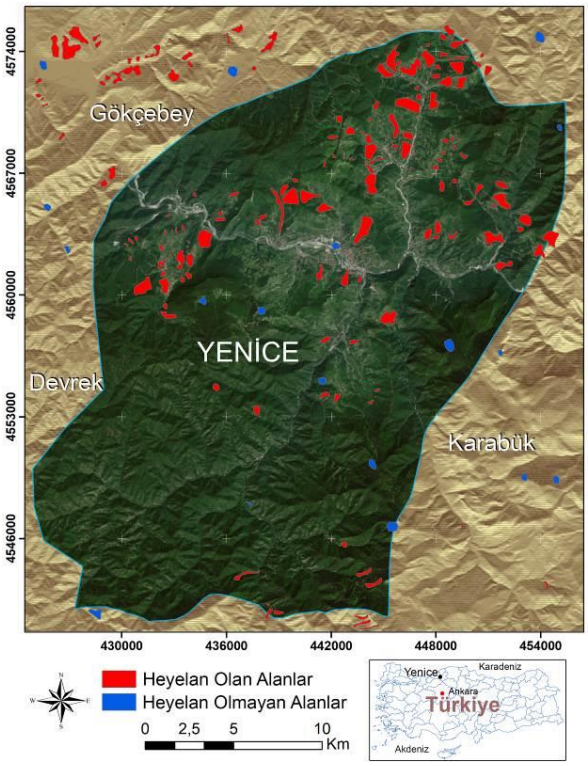
Heyelan duyarlılık haritası üretiminde önemli işlem adımlarından biri, sonuca etki edebilecek faktörlerin belirlenerek en uygun faktör kümesinin oluşturulması, bir diğeri ise en uygun faktör setinin kullanılacağı harita üretimi metodunun tespitidir. Bu nedenle araştırmacılar heyelan mekanizması üzerinde çalışmalarını günümüzde bile sürdürmekte (Sakellariou ve Ferentinou, 2001) ve heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde makine öğrenme (Pham vd., 2017; Colkesen vd., 2016; Pourghasemi ve Kerle, 2016; Catani vd., 2013; Yilmaz, 2009), istatistiksel tabanlı metotlar (Zhang vd., 2016; Kavzoglu vd., 2015; Hong vd., 2015; Yalcin, 2008) veya kullanıcı tabanlı metotlar (Kutlug Sahin vd., 2016; Ahmed, 2015) gibi birçok farklı algoritma kullanılmaktadır. Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde literatürde yaygın olarak kullanılan diğer bir yöntem ise istatistik tabanlı lojistik regresyon metodudur. (Ayalew ve Yamagishi, 2005; Akgun ve Bulut, 2007; Pradhan, 2010; Ercanoglu ve Temiz, 2011; Romer ve Ferentinou, 2016). Ayrıca son yıllarda ağaç tabanlı rastgele orman (RO) algoritması ile duyarlılık haritalarının üretilmesi konusunda araştırmalar bulunmaktadır (Catani vd., 2013; Goetz vd., 2015; Trigila vd., 2015; Youssef vd., 2016; Tsangaratos vd., 2017).

Heyelan duyarlılık haritaları üretiminde kullanılan parametrelerin birbirleri ile olan korelasyonlarının incelenmesi, gürültülü ve/veya ilgisiz bilgiler içeren parametrelerin elenerek optimum parametre setinin belirlenmesi literatürde yeni bir yaklaşımdır (Kavzoglu vd., 2015; Bui vd., 2016; Vasu ve Lee, 2016; Liv vd., 2017). İstatistiksel faktör seçimi yöntemlerinden yaygın olarak bilinenlerinden biri olan adımsal regresyon (AR) yaklaşımı optimum faktör modelinin tespitinde kullanılan yöntemlerden biridir (Kano ve Harada, 2000; Wagner ve Shimshak, 2007; Zhang, 2016).

Bu çalışmada Karabük ili, Yenice ilçesi için üretilecek heyelan duyarlılık haritasında bakı, drenaj yoğunluğu, litoloji, eğim, arazi kullanımı/örtüsü, yükseklik, NDVI, eğim uzunluğu, Tİİ, topoğrafik pürüzlülük indeksi (TPİ), sediment taşıma indeksi ve akarsu güç indeksi olmak üzere 12 farklı faktör dikkate alınmıştır. Söz konusu faktör kümesi içinde heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılmak üzere optimum model tespiti için AR metodu kullanılmıştır. Optimum faktör modelinin elde edilmesinden sonra heyelan duyarlılık haritası üretiminde LR ve RO metodundan faydalanılmıştır. Her iki yöntemde de optimum model ve tüm veri setini içeren faktör grubu ile indeks haritaları üretilerek önemlilik derecelerine göre (çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük) beş sınıflı tematik heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performanslarının değerlendirilmesi amacıyla genel doğruluk, AUC ve kappa değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca çalışmada optimum model ve diğer veri seti ile üretilmiş haritaların birbirleriyle olan farklılıkları ve istatistiksel anlamlılıklarının irdelenmesi için ROC eğrisi karşılaştırması ve McNemar's testi kullanılmıştır.

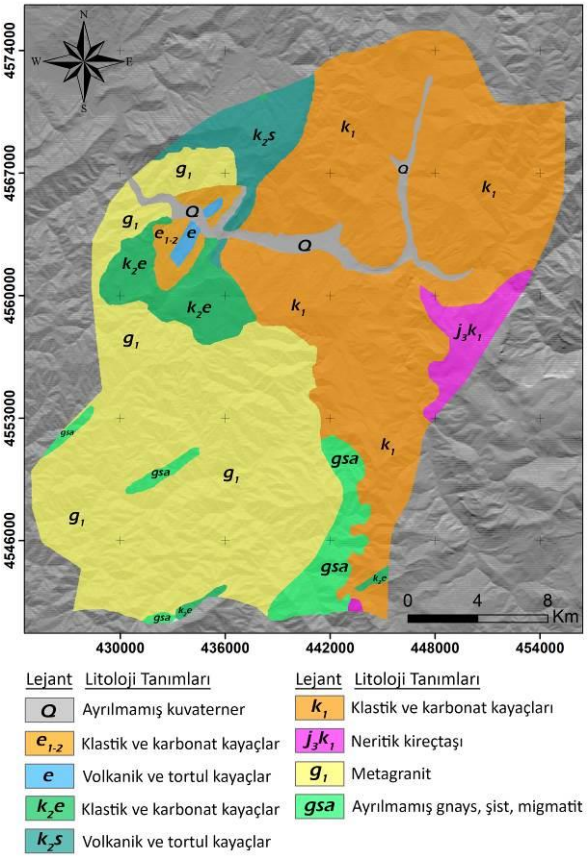
2. ÇALIŞMA ALANI

Batı Karadeniz bölgesinde yer alan Karabük ili sınırları içerisinde yer alan Yenice ilçesi çalışma bölgesi olarak seçilmiştir (Şekil 1). Yenice ilçesinin kuzeyinde Karadeniz ve Bartın ili, batısında Zonguldak ili ve doğusunda Karabük Merkez ilçesi bulunmaktadır. Çalışma alanı yaklaşık 678 km2 bir alanı kapsamakta ve 31° 58' ve 32° 31' doğu-batı meridyenleri ile 41° 19' ve 41° 0' kuzey-güney paralelleri arasında yer almaktadır. Batı Karadeniz Bölgesi, Türkiye'nin önemli heyelan alanlarından biridir. Çalışma bölgesinin meteorolojik olarak yoğun yağış alan ve bununla birlikte zayıf zemin ve heyelana duyarlı kaya formasyonlarına sahip oluşu nedeniyle heyelana meyilli bir bölge konumundadır. Çalışma alanının ortalama yıllık yağış miktarı yaklaşık 1.200 milimetre ve ortalama sıcaklık yaklaşık 9°C'dir (www.karabukyenice.bel.tr). Çalışma alanındaki topoğrafik yükseklik 42 m ile 1.998 m arasında değişirken, arazi eğimi 0° ile 70° arasında değişen dik ve sarp alanları içermektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı ve konumu

Çalışma alanının litolojik birimlerini gösteren tematik 1: 500.000 ölçekli tematik harita Türkiye Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından 1998 yılında üretilmiştir. Şekil 2'de verilen çalışma alanına ait litoloji haritasında 9 litolojik birim bulunmaktadır. Çalışma bölgesinde yaygın olarak iki tip zemin yapısı (klastik ve karbonat kayaçlar ile metagranit) mevcuttur. Bölgenin yaklaşık 288 km^2'sini (yaklaşık %42'si) kapsayan Kırıntılı ve karbonatlı kayaçlardır (k_1) ve çoğunlukla marn, türbiditik akıntılar, kumtaşı, kil taşı ve silt taşlarından oluşur. Bu bölgede kumtaşı, silttaşı ve marn değişimlerinden dolayı Jura-Alt kretase süreci heyelan aktivitelerinin en sık görüldüğü sahalardır. Bununla birlikte, heyelanlar g_1, k_2s, gsa ve j_3k_1 oluşumlarında daha az görülmektedir.



Şekil 2. Çalışma alanına ait litoloji haritası.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Karabük Yenice ilçesine ait heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi için ilk adım olarak AR metodu kullanılarak optimum faktörleri içeren model tespit edilmiştir. AR metodu ile belirlenen model sonrasında harita tahmin metotları (LR ve RO) ile heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Ayrıca RO metodunun performansının karşılaştırılması amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan LR yönteminden faydalanılmıştır. Çalışmadaki son adımda, genel doğruluk, kappa ile AUC değerleri ve ROC eğrisi yardımıyla üretilen haritaların

doğrulukları ve model performanslarına bakılmıştır. Ayrıca, üretilen tüm modellerin birbirleriyle olan farklılıkları ve istatistiksel anlamlılıkları değerlendirilerek optimum heyelan duyarlılık haritasına karar verilmiştir.

Heyelanda etkili faktörleri içeren modellin tespiti ve heyelan duyarlılık haritası üretimi için kullanılacak faktörlerin elde edilmesinde sayısal yükseklik modeli (SYM), uydu görüntüsü ve jeolojik haritalardan faydalanılmıştır. Çalışma bölgesine ait 42 m - 1998 m aralığındaki SYM verisi Harita Genel Komutanlığına ait 1/25.000'lik eş yükseklik eğrilerinden üretilmiştir. 30 metre çözünürlüklü raster formatta dönüştürülen SYM'den eğim, eğim uzunluğu, bakı, yükseklik, drenaj yoğunluğu, Tİİ, TPİ, akarsu güç indeksi ve sediment taşıma indeksi haritaları elde edilmiştir. 2016 yılına ait Landsat OLI uydu verisi kullanılarak arazi örtüsü/kullanımı haritası üretilmiştir. Çalışma alanına ait litoloji haritasını elde edilmesinde 1998 yılında MTA tarafından üretilen 1/100.000'lik litoloji verisi kullanılmıştır. Tüm faktör haritalar uygulama süresince analiz işlem kolaylığı ve veriler arası standartlaştırma için normalize edilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm faktörlerin özellikleri, temin kaynakları ve veri türüne bilgiler aşağıda Tablo 1'de verilmiştir.

Çalışma çerçevesinde genel olarak dönel kayma, ötelenmeli kayma ve toprak akması olmak üzere üç tip heyelan görülmektedir. Dönel ve ötelenmeli kaymalar sık görülürken, toprak akmaları daha az ve dik yamaçlarda görülmektedir (Ercanoglu vd., 2008). Çalışma alanında toplam 159 adet heyelan poligonu sayısallaştırılarak CBS ortamına aktarılmıştır (Şekil 1). Poligon türündeki heyelan verileri 30x30 m'lik raster veri formatına dönüştürülmüştür. Heyelan envanteri içerisindeki heyelan olan alanlar için "1" ve heyelan olmayan alanlar içinse "0" değerleri atanmıştır. Çalışmada, AR işlemi, heyelan duyarlılık haritası üretimi işlemi ve doğrulama işlemlerinde heyelan olan alanlar haricinde olmayan alanlarda gereklidir. Heyelan olmayan alanların tespitinde eğimin 5 dereceden az olma koşulu, nehir, göl gibi düz, topoğrafik açıdan elverişsiz alanlar ve heyelana etkin faktörler olan alanlarla çakıştırılarak frekans karşılaştırmaları incelenerek karar verilmiştir (Gómez ve Kavzoglu, 2005). Bartın-Ulus çalışma çerçevesi için düzenlenen heyelan envanter verilerine ait bilgiler Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan veri kaynak ve türleri.

Veri Özelliği	Veri	Veri Kaynağı	Veri Türü
Yüzey jeolojisi	Heyelan envanter verisi Litoloji	Jeolojik veri	Poligon
Yüzey Topoğrafya bilgisi	Yükseklik Bakı Eğim Eğim uzunluğu Topoğrafik pürüzlülük indeksi	SYM	Raster
Yüzey-su ilişkisi	Topoğrafik ıslaklık indeksi Akarsu güç indeksi Sediment taşıma indeks Drenaj yoğunluğu	SYM	Raster
Yüzey kullanım bilgisi	Arazi kullanımı/örtüsü	Uydu görüntüsü	Raster
Bitki örtüsü	NDVI	Uydu görüntüsü	Raster

Tablo 2. Karabük-Yenice heyelan envanter bilgisi.

Envanter Türü	Adet (Poligon)	Piksel Sayısı	Alan			
			Toplam (km^2)	Ortalama (m^2)	Maksimum (m^2)	Minimum (m^2)
Olan	159	27294	245,070	158.752	770.910	3.625
Olmayan	18	3.012	2,72	150.973	282.762	33.629

a. Adımsal Regresyon (AR)

AR, çok sayıda verinin değerlendirileceği işlemlerde optimum sayıda veri setinin belirlemeye yarayan ve optimum faktör modelinin kurulduğu regresyona dayalı otomatik hesaplama yöntemidir (Neter vd., 1996; Saltelli vd., 2000). Regresyon analizlerindeki amaç, iki veya daha fazla bağımsız değişken ile bir bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu ilişkiyi bir modelle tanımlayabilmek amacıyla yapılır. AR analizlerinde olduğu gibi en ideali bağımsız değişkenlerin veya faktör modelinin belirlenmesinde bağımsız değişkenlerin kendi aralarındaki korelasyonun düşük ama bağımlı değişken ile korelasyonunun yüksek olması şartı aranmaktadır. AR analizi yöntemi işlem adımları incelendiğinde;

- Bağımsız değişkenlerin eşitliğe hangi sırayla sokulacağı tamamen istatistiksel bir kriterle belirlenir.

- Bağımsız değişkenler arasında en yüksek iki değişkenli korelasyona sahip olan değişken modelin ilk en önemli değişkeni olarak regresyon modeline sokulur.

- İkinci bağımsız değişken, ilk bağımsız değişkenin tahmini için hesaplana R^2'de en yüksek artışı üreten değişkendir.

- İkinci bağımsız değişken eklendikten sonra, birinci bağımsız değişkenin istatistiksel olarak anlamlı bir belirteç olup olmadığına ikinci bir istatistiksel anlamlılık testi ile bakılır ve değilse regresyon modelinden çıkarılır.

- Bu işlem, tüm bağımsız değişkenlerin regresyon denklemine girilinceye kadar veya kalan bağımsız değişkenlerin R^2'de istatistiksel olarak anlamlı bir artış sağlamayana kadar tekrarlanır.

- Sonuç model en fazla katkı sağlayan değişkenler kümesini içerir.

AR analizinin dezavantajı, modelde olmayan bütün değişkenlerin olabilirlik tahminlerinin her adımda tek tek hesaplanması gerekliliğidir. Söz konusu durumlarda çok değişkenli yüksek boyutlu modellemelerin hesaplanma zorluğu ve zamansal sıkıntılara neden olabilir.

b. Lojistik Regresyon (LR)

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde en çok kullanılan çok değişkenli analiz yöntemlerinden biri LR yöntemidir. LR birçok yer bilimi araştırmalarında olduğu gibi heyelan duyarlılık analizlerinde de sıklıkla kullanılan istatistiksel tabanlı bir modeldir (Yilmaz, 2010). LR yönteminin temel amacı, bağımlı bir değişken ile bağımsız birçok değişken arasında çok değişkenli bir regresyon ilişkisi kurmayı sağlamaktır (Lee, 2005). Bu regresyon modelinde bağımlı değişken, heyelan olayının olması ya da olmaması durumunu gösterirken, bağımsız değişkenler ise modelde kullanılan ve heyelan olayına etki eden faktörlerdir. Bağımlı değişkenin ikili değişken olması durumunda, lojistik fonksiyon uygulanabilir (Atkinson ve Massari, 1998). Heyelana duyarlı alanların tespiti gibi çalışmalarda bağımlı değişken girdi verisi 0 ya da 1 olmalıdır. LR modelinin dayandığı temel lineer eşitlik aşağıdaki gibi gösterilebilir,

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \ldots + B_n X_n \quad (1)$$

Bu eşitlikteki Y, 0 ve 1 aralığındaki bağımlı değişkeni, B_0 bağımsız değişkenlerin sıfır değerini aldıklarındaki bağımlı değişken değeri ya da sabiti, $B_1,\ldots,B_n$ bağımsız değişkenlerin regresyon katsayılarını ve $X_1,\ldots,X_n$ ise bağımsız değişkenleri göstermektedir. LR modelindeki bağımlı değişkenler aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$Logit(\mathrm{p}) = \ln\left(p/(1-p)\right) = 1/1 + e^{-B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \ldots + B_n x_n} \quad (2)$$

Eşitlikteki p bağımlı değişkenin 0 ile 1 arasında değer alabilen olasılık değeri ve $\left(p/(1-p)\right)$ ise tanımlanan olabilirlik oranıdır.

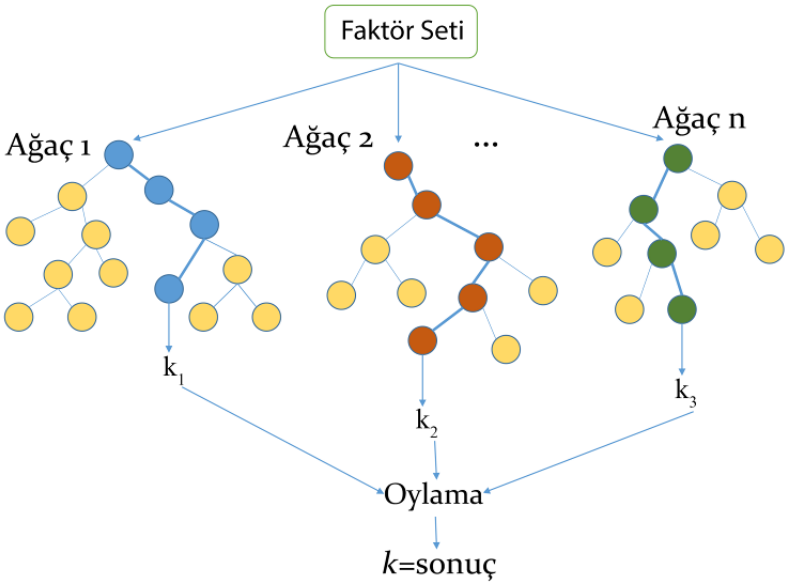
LR sonucu elde edilen her bir regresyon katsayısı risk faktörünün sonuca olan katkısının büyüklüğünü ifade etmektedir. Pozitif regresyon katsayısı sonuç olasılığının artığını ve doğru orantılı bir ilişkiye sahip olduğunu gösterir. Negatif bir regresyon katsayısı ise negatif yönde yani ters orantılı bir ilişkiyi göstermektedir. Artan bir regresyon katsayısı sonuç olasılık üzerinde güçlü bir etki veya ağırlığa sahip olduğunu gösterirken, regresyon katsayısı sıfıra yaklaştığında sonuç olasılık üzerindeki etkisinin ve ağırlığının az olduğunu ifade etmektedir. LR yönteminin avantajları, bağımsız değişkenler arasında doğrusal ilişkilerin bulunmaması ve değişenlerin eşit istatistiksel varyansları olduğu kabul etmemesidir. Bir diğer avantajı değişkenler süreklilik veya kesikli ya da kombinasyonunda nominal, eşit aralıklı veya oransal ölçüm yapabilmesidir. Ayrıca birçok araştırmacı tarafından LR yaklaşımının en uygun veri tabanlı heyelan duyarlılık haritalama yaklaşımı olduğu öne sürülmüştür (Carrara vd., 1991; Brenning, 2005).

c. Rastgele Orman (RO)

RO özellik seçimi yaklaşımı Breiman (2001) tarafından geliştirilmiştir. RO algoritmasının temel prensibi, rastgele seçilmiş çok sayıda ve çok değişkenli karar ağaçlarının her birini farklı eğitim kümeler ile eğitilmesi sonucu ortaya çıkan kararların birleştirilmesidir (Breiman, 2001). *N* kadar örnek ve *m* kadar açıklayıcı ile ormandaki her bir ağaç yapısı aşağıdaki gibi kurulmaktadır (Reif vd., 2006):

- Tüm veri setinin değiştirilmesi ile, *N* kadar örneklem içinden bir eğitim seti seçilir,
- Ağaçtaki her düğüm, tüm veri setindeki *M* kadar özellik içerisinden rastgele *m* kadar özellik seçilir,
- *m* kadar özellik içerisinde en iyi ayrılmış kök belirlenir,
- Ağaç tamamen büyüyene kadar ikinci ve üçüncü adımlar yinelenerek devam edilir.

RO algoritması dallanma kriterlerinin belirlenmesinde veya dallanma için özniteliklerin seçiminde Gini indeksi yöntemini kullanır. Bu algoritmanın işlemesi için kullanıcı tarafından belirlenmesi gereken iki parametre mevcuttur. Bu parametrelerden ilki her bir düğümde kullanılacak örneklem sayısı ve ikinci parametre ise oluşturulacak ağaç sayısıdır. Kurulan ağaç yapılanmasında düğümler en iyi dallanma için seçilen özellikleri araştırır. RO algoritması içerisinde kullanıcı tarafından belirlenen ve oluşturulan ağaç sayıları *n* ile ifade edilir. Sonuç olarak, algoritma bu *n* sayıda ağaçtan elde edilen *n* sayıda oy arasından en fazla oya veya ağırlığa sahip olan faktörü seçer ve bu şekilde yeni veri seti belirler (Çölkesen, 2015). RO algoritması ait temel çalışma prensibi Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Rastgele orman algoritmasının temel çalışma prensibi.

4. UYGULAMA

Çok sayıda faktör veya özelliği içeren veri setinin duyarlılık haritası üretimi işleminde kullanılması durumunda veri içerisinde bozucu etkiye ya da yüksek korelasyona sahip özelliklerin dikkate alınmasına neden olmaktadır. Ayrıca artan faktör sayısının doğruluk üzerinde olumlu etki yaratmadığı tam tersi faktör boyutun artmasına paralel olarak belirli bir noktadan sonra harita doğruluğunun sabit kaldığı veya düştüğü bilinmektedir. Bu nedenle veri setindeki optimum faktör sayısının tespit işlemi hem işlem yükünün azaltılması hem de boyutsalllık probleminin (Hughes fenomeni) önüne geçilerek harita doğruluğunun arttırılmasına yardımcı olacaktır (Hughes, 1968). Faktör sayısının azaltılması özellik çıkarımı veya seçimi olarak bilinen yaklaşımlarla gerçekleştirilmektedir. Özellik seçimi neticesinde yüksek boyutlu veri setini temsil eden daha düşük boyutlu ve az korelasyona sahip bir veri seti tanımlanmaktadır. Söz konusu veri seti düşük korelasyona sahip olması nedeniyle sadece istenilen amaca yönelik yararlı bilgileri içeren seçilmiş özelliklerden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında optimum faktörlerin tespiti ve en iyi faktör modelinin belirlenmesi amacıyla AR metodu kullanılmıştır.

a. AR ile Optimum Faktör Model Tespiti

Optimum faktör sayısının tespiti ve faktör modelinin elde edilmesi amacıyla SPSS v.20 yazılımı kullanılarak AR işlemi yapılmıştır. Optimum faktör modelinin tespitinde ihtiyaç duyulan eğitim verisi çalışma bölgesine ait heyelan olan ve heyelan olmayan alanları içeren heyelan envanter haritasından faydalanılmıştır. Eğitim ve test verisi içerinden rastgele örneklem metodu yardımıyla envanter haritasındaki verinin %70'i eğitim verisi ve %30'u ise test verisi olacak şekilde belirlenmiştir. Karabük-Yenice çalışma bölgesi için AR metodu kullanılarak elde edilen model ve modellerin istatistiksel sonuçları aşağıda Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'de verilen R mevcut ve tahmini değerler arasındaki basit doğrusal Pearson korelasyon kat sayısı, R^2 (belirleme katsayısı) örnek regresyon denkleminin göreceli etkinliğini belirlenmede kullanılan korelasyon katsayısının karesi ve düzeltilmiş R^2 ise belirleme katsayısını hatadan arındırılmış şeklidir. Kurulan regresyon modeline göre (Tablo 3) tüm faktör setinin bağımlı değişken üzerindeki ortak etkileri incelenmiştir. AR işleminde, eklenen ya da çıkarılan faktörlerin bağımlı değişken üzerinde anlamlılığına bakılır ve bu işlem hiçbir faktörün modele anlamlı bir şekilde katkı edemeyeceği duruma (modele eklenecek anlamlı faktör kalmayana kadar) kadar devam eder. Bu çalışmada ise Model-6 dışında kalan faktörlerin %95 güven aralığı için *p-value* değerleri 0,05'in üzerinde çıktığı ve bağımlı değişken üzerindeki etkisinin anlamlı olmadığı tespit edilmiştir. Böylece en az sayıda (Model-6) faktör yardımı ile model kurulmuştur. Optimum model analizde, bağımlı değişken üzerinde katkısı az olan drenaj yoğunluğu, arazi örtüsü/arazi kullanımı, eğim uzunluğu, akarsu güç indeksi, sediment taşıma indeksi ve TPİ faktörleri optimum model dışında kalmıştır. Sonuç olarak 12 faktör setinden oluşan veri setinin yarısı elenerek 6 adet faktörden oluşan Model-6 optimum faktör setine sahip model olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3. AR analizi sonucu elde edilen modeller.

Model Özeti				
Model	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Standart Tahmin Hatası
1	0,676[a]	0,458	0,457	0,369
2	0,756[b]	0,571	0,570	0,328
3	0,774[c]	0,598	0,597	0,318
4	0,786[d]	0,618	0,616	0,310
5	0,794[e]	0,630	0,628	0,305
6	0,795[f]	0,632	0,629	0,305

Model-1: NDVI
Model-2: NDVI, Yükseklik
Model-3: NDVI, Yükseklik, Bakı
Model-4: NDVI, Yükseklik, Bakı, Litoloji
Model-5: NDVI, Yükseklik, Bakı, Litoloji, Tİİ
Model-6: NDVI, Yükseklik, Bakı, Litoloji, Tİİ, Eğim

R-kare istatistiğinin minimum değeri 0 ve maksimum değer ise 1'dir. R^2 değeri ne kadar yüksek olursa modelinde o kadar iyi olduğunu gösterir. R^2 istatistik değerler sonuçlarına göre, 0,2 değerine kadar ki R^2 değeri modelin kabul edilebilir olduğunu, 0,2 ve 0,4 değer aralığı iyi dereceli bir modeli ve 0,5 değeri üzerinde ise modelin ise faktörlerin modelle çok iyi derecede uyduğunu gösterir niteliktedir (Wulf, 2014). AR sonucu elde edilen istatistiksel değerler Model-6 için irdelendiğinde, R^2 değeri 0,632 ve düzeltilmiş R^2 değeri ise 0,629 olarak bulunmuştur. Elde edilen R^2 değerine göre bağımlı değişken (heyelan envanter verisi) ile bağımsız değişkenler (heyelanda etkili faktörler) arasında orta kuvvette bir ilişki olduğunu göstermektedir. Çalışmada elde edilen bir diğer değer olan düzeltilmiş R^2 değerine bakıldığında ise, Model-6 ile oluşturulan regresyon modelinde yer alan bağımsız değişkenlerin, bu çalışmada örnek olarak seçilen diğer heyelanda etkili faktörlerin birçoğunu kapsadığın ve açıklama gücünün %63 olduğunu göstermektedir. Bir diğer istatistik sonuç standart tahmin hatasıdır ve bu hatanın küçük olması elde edilen parametrelerin tahmini açısından önemlidir ve bu hatanın "0" yakın çıkması istenir. Tahmin modeller için elde edilen standart tahmin hataları incelendiğinde Model-6'nın 0,305 ile en az hata katsayısına sahip olduğu görülmüştür.

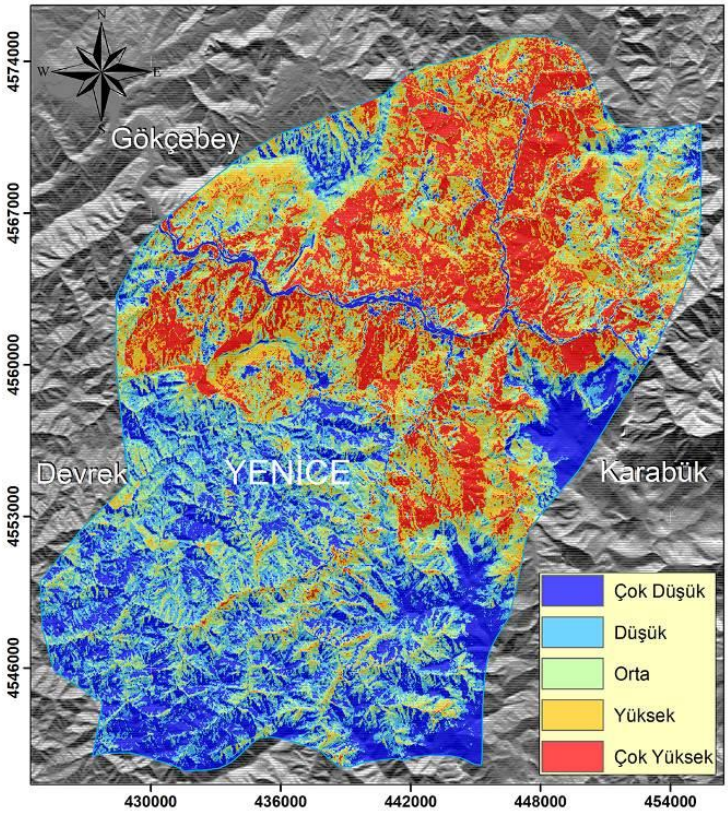
b. LR Metodu ile Heyelan Duyarlılık Haritası Üretimi

Heyelan duyarlılık haritalarında istatistiksel seçime dayalı AR yönteminin performansının incelenmesi ve heyelan duyarlılık haritaları üretimi için LR faydalanılmıştır. Çalışmada AR analizin vermiş olduğu optimum faktör setine sahip Model-6 kullanılarak heyelan duyarlılık haritası üretilecektir. LR yöntemi literatürde heyelan duyarlılık haritası üretimi çalışmalarında sıklıkla kullanılan bir yöntem olmakla birlikte ayrıca literatüre önerilen yeni yöntemlerin performanslarının karşılaştırılmasında "benchmark" olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada LR yöntemi Model-6 için uygulanmış ve regresyon analiz sonuçları olan *B* regresyon katsayısı, *SH* standart hata, Wald testi değeri ve *Sig* anlamlılık değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Model-6 LR analiz sonuçlarına göre (Tablo 4) yükseklik faktörü hariç diğer faktörler pozitif *B* katsayılarına sahiptir. Pozitif katsayıya sahip olan faktörlerin olasılık değerlerinin pozitif yönlü arttığının bir göstergesidir. LR katsayıları incelendiğinde, NDVI faktörü tüm faktörler içerisinde +21,368 katsayısına sahip en etkili faktör olduğu tespit edilmiştir. Bir diğer istatistiksel değer olan Wald değerinin 2'den büyük değerler alması anlamlı kabul edilmekle beraber, Wald değeri büyüdükçe *p* anlamlılık düzeyi küçülmektedir (*p* anlamlılık düzeyi >0,05). Model-6 içerisindeki heyelan duyarlılığına etki eden faktörlerin Wald istatistik değerlerine bakıldığında, tüm faktörlerin Wald değeri 2'den büyük çıktığı ve modeldeki tüm faktörlerin anlamlı oldukları tespit edilmiştir. Tablo 4'deki *Exp(B)* değerleri incelendiğinde 1 değerine uzak olan NDVI, bakı, litoloji ve eğim faktörlerin bağımlı değişken değişimine önemli etkisi olduğu, Tİİ faktörünün ise 1'e en yakın değer olduğu içinde bağımlı değişken üzerinde en etkisiz faktör olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Tablodaki "Sig" kolonu ise faktörlerin anlamlılık düzeyini göstermekte olup SPSS'te varsayılan olarak $p<0,05$ olarak çalışmaktadır. Modeldeki faktörlerin Sig değerleri sıfıra ne kadar yakın olursa anlamlılık düzeyleri o kadar fazla demektir. Böylelikle Tablo 4'deki faktörlerin Sig değerleri incelendiğinde tüm faktörlerin istatistiksel olarak anlamlı oldukları görülmektedir.

Tablo 4. Lojistik regresyon analizi sonucu elde edilen model sonuçları.

	B	S.H.	Wald	df	Sig	Exp(B)
NDVI	21,368	1,196	318,968	1	0,000	1,905
Yükseklik	-0,004	0,000	193,404	1	0,000	0,996
Litoloji	0,117	0,025	22,284	1	0,000	1,124
Bakı	0,366	0,048	57,937	1	0,000	1,442
Eğim	-0,046	0,010	19,255	1	0,000	0,955
Tİİ	0,000	0,000	17,591	1	0,000	1,000
Sabit	-8,541	0,700	148,779	1	0,000	0,000

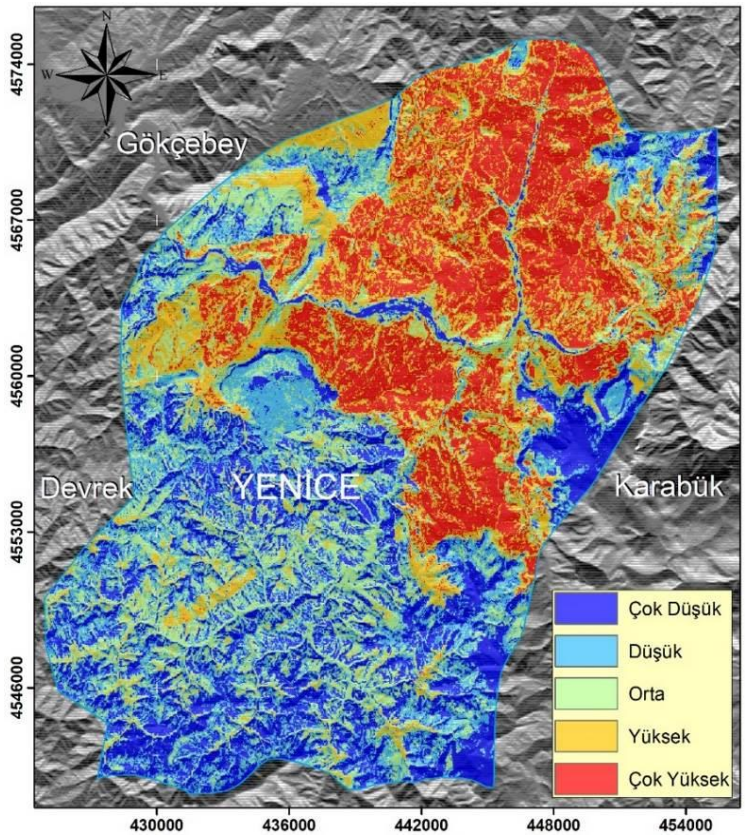


Şekil 4. Model-6 veri seti için LR metodu ile üretilmiş heyelan duyarlılık haritası.

LR metodu kullanılarak Model-6 veri seti ve tüm faktörleri kapsayan Model-12 için heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Duyarlılık haritalarının tematik harita gösterimi ve değerlendirilmesi safhasında tüm harita eşit dağılım (quantile) esasına dayanılarak 5 sınıfta (çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük) bölümlendirilmiştir (Şekil 4). LR yöntemiyle üretilmiş Model-6 ait heyelan duyarlılık haritasındaki sınıfların test alanları ile çakıştırılması ile elde edilen yüzdesel dağılımları incelendiğinde, %38 çok yüksek, %35'u yüksek, %15'i orta, %7'ü düşük ve %5 ise çok düşük duyarlı alanları içerdiği görülmüştür. Elde edilen tematik haritanın yüksek ve çok yüksek riskli alanlardaki toplam doğruluk değeri dikkate alındığında ise yaklaşık %73 olduğu görülmektedir. Çalışma bölgesinde meydana gelen heyelan dağılımı incelendiğinde, yüksek duyarlılıklı alanların kuzey ve orta kesimlerde ve düşük duyarlılıklı alanların ise güney kesimlerde yoğunlukta olduğu görülmektedir.

c. RO Metodu ile Heyelan Duyarlılık Haritası Üretimi

RO metodu ise son yıllarda karmaşık yapıdaki birçok sınıflandırma ve regresyon probleminin çözümünde kullanılan bir veri madenciliği tekniğidir. Birçok regresyon probleminin çözümünde kullanılan rasgele orman yöntemi bu çalışmada kurulan modellerin performanslarının tespitinde ve çalışma alanları için optimum heyelan duyarlılık haritası üretimi amacıyla kullanılmıştır. RO algoritmasında ağaç oluşumu için her bir düğümde kullanılan ağaç sayısı kullanıcı tarafından belirlenmesi gereken parametrelerdir. Bu nedenle bu çalışmada tüm modeller için ağaç sayısı genelleştirilmiş hata grafiğine bakılarak 250 olarak belirlemiştir. Regresyon ağacı oluşturulması ve duyarlılık haritasının üretilmesi işlemleri MATLAB ortamında yazılmış programlarla gerçekleştirilmiştir. RO algoritmasının Model-6 için uygulanarak çalışma bölgesi için 5 sınıf aralığında sınıflandırılmış tematik harita elde edilmiştir (Şekil 5). RO metodu kullanarak hem AR metodunun belirlendiği Model-6 ve tüm faktörleri kapsayan Model-12 için heyelan duyarlılık haritaları üretilerek karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. Model-6 veri seti için RO metodu ile üretilmiş heyelan duyarlılık haritası.

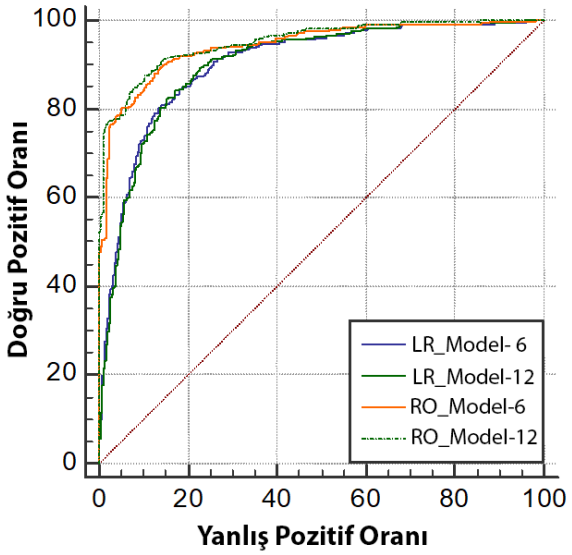
RO yöntemi Model-6 ile üretilmiş heyelan duyarlılık haritasındaki sınıfların test alanları ile çakıştırılması ile elde edilen yüzdesel dağılımları incelendiğinde, %54 çok yüksek, %29'u yüksek, %8'i orta, %3'ü düşük ve %6 ise çok düşük duyarlı alanlara denk gelmiştir. Elde edilen tematik haritanın yüksek ve çok yüksek riskli alanlardaki toplam doğruluk değeri dikkate alındığında ise yaklaşık %83 olduğu görülmektedir. Çalışma bölgesinde meydana gelen heyelan dağılımı incelendiğinde, yüksek duyarlılıklı alanların özellikle çalışma alanının kuzeyinden orta kesimlere kadar yoğunlukta olduğu görülmektedir. Heyelan dağılımına paralel olarak duyarlılık haritasında bu bölgelerde yoğunlaştığı açıkça görülmektedir.

ç. Model Performansları

LR ve RO algoritmaları kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performanslarının analiz edilmesi amacıyla genel doğruluk, ROC (Alıcı işlem karakteristikleri, Receiver Operating Characteristic) eğrisi, AUC (Eğri Altında Kalan, Area Under Curve) ile kappa değerlerine bakılmıştır. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performans değerlendirilmelerinde hata matrislerinde faydalanılmıştır ve hata matrisi hesaplamasında tematik haritalardaki çok yüksek ve yüksek sınıfları "1" ve orta, düşük ve çok düşük sınıflar ise "0" olarak değerlendirilmiştir. Otomatik faktör seçimi yaklaşımının heyelan duyarlılık haritası üretimindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla AR yaklaşımıyla elde edilen Model-6'nın ve tüm faktörlerinde bulunduğu Model-12 (bakı, drenaj yoğunluğu, litoloji, eğim, arazi kullanımı/örtüsü, yükseklik, NDVI, eğim uzunluğu, Tİİ, TPİ, sediment taşıma indeksi ve akarsu güç indeksi) için doğruluk ve performans karşılaştırma analizleri yapılmıştır.

ROC eğrileri model performansını test etmek için birçok alanda uygulanır. ROC eğrileri ile iki sınıf arasındaki ayrımı ve sınıflandırıcının performansını görselleştirmek mümkündür (Swets, 1988). ROC eğrileri analizlerde test ve eğitim verilerinden faydalanan ve işlemlerde ayırt ediciliği göstermekle beraber, farklı modellerin performans açısından karşılaştırılmasında, eğri altında kalan alana (AUC) gereksinim olur. AUC bir olayın meydana gelme ya da gelmeme durumunu güvenli bir biçimde tahmin etme yeteneğini tanımlayarak oluşturulan modelin kalitesini ifade etmektedir (Akgün ve Türk, 2010).

AUC değerinin 1'e yakınlığı ideal durumu gösterirken, 0,5'e yakın bir değer ise söz konusu modelin doğruluğunun oldukça az olduğunu işaret etmektedir. Bu çalışmada, AR yaklaşımını belirlediği Model-6 ve tüm faktör kümesini içeren Model-12'nin model performansları Şekil 6'da verilen ROC eğrisi ve AUC değer sonuçlarına bakılarak incelenmiştir. AUC değerleri incelendiğinde sırasıyla LR metodu Model-6 için 0,903 ve Model-12 için 0,902 olarak bulunmuştur. RO algoritması AUC değerleri ise Model-6 için 0,945 ve Model-12 için 0,952 elde edildiği görülmektedir.



Şekil 6. Model-5 ve Model-12 ile üretilmiş heyelan duyarlılık haritasına ait ROC eğrisi.

Şekil 6'da verilen ROC eğrileri ve AUC değerleri her iki metot için göz önünde bulundurulduğunda RO algoritmasının LR algoritmasından daha iyi performans gösterdiği söylenebilir. Fakat harita tahmin metotları kendi içerisinde değerlendirildikleri takdirde modellerin birbirleriyle büyük performans farkları içermediği görülmektedir. Böylelikle sadece 6 veri seti ile oluşturulan modelin tüm veri seti ile oluşturulan modelle aynı performansı gösterdiği tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonucun istatistiksel olarak da yorumlanabilmesi için ROC eğrilerinin karşılaştırıldığı ve istatistiksel anlamlılıklarının incelendiği bir analiz yapılmıştır (Tablo 5).

LR metodu için Model-6 ve Model-12'te ait ROC eğrisi performanslarının istatistiksel farklılıklarının ayırt edilmesi ve tespiti amacıyla %95 güven aralığı düzleminde karşılaştırılmıştır. Buna göre Model-6 ve Model-12'nin ROC eğrisi model performansları karşılaştırıldığında %95 güven aralığı için *p* değeri 0,874 olarak bulunmuştur. Bu da teknik açıdan iki modelin güven aralığı eşik değeri olan 1,96'dan küçük çıktığı için istatistiksel olarak anlamsız oldukları, yani iki modellinde aynı oldukları görülmüştür (Tablo 5). RO algoritması ili elde edilen harita modellerinin ROC eğrisi sonuçları karşılaştırıldığında ise modeller arasındaki değer farklarının istatistiksel açıdan anlamsız oldukları fakat LR ile üretilen modellerden farklı olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, RO algoritması ile elde edilen Model-6'ya ait heyelan duyarlılık haritası LR haritalarından istatistiksel olarak farklı olduğu ve daha iyi model performansı gösterdiği istatistiksel olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5. ROC eğrilerinin ikili karşılaştırma sonucu elde edilen istatistiksel sonuçları.

	LR Model-6	LR Model-12	RO Model-6	RO Model-12
LR Model-6	-	0,874	**6,030**	**7,004**
LR Model-12		-	**5,962**	**6,910**
RO Model-6			-	1,265
RO Model-12				-

Not: Koyu olarak gösterilen ve 1,96'dan daha yüksek test değerleri, %95 güven düzeyinde iki model arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu göstermektedir.

Heyelan duyarlılık haritalarının model performanslarının değerlendirilmesinde bir diğer doğruluk test araçları olan genel doğruluk ve kappa değerleri incelenmiştir. Çalışma bölgesi için üretilen duyarlılık haritalarına ait genel doğruluk ve kappa değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Heyelan duyarlılık haritaları için elde edilen genel doğruluk ve kappa değerleri.

	Genel Doğruluk	Kappa
LR Model-6	80,87	0,602
LR Model-12	81,23	0,624
RO Model-6	88,27	0,758
RO Model-12	88,10	0,762

Elde edilen test değerleri incelendiğinde LR metodu ile üretilmiş haritalardaki modeller

arasında yaklaşık %0,36 ve RO için ise yaklaşık %0,17 gibi çok düşük doğruluk farkları olduğu görülmüştür. Bu nedenle üretilen duyarlılık haritaları içerisindeki optimum modelin tespiti için McNemar's istatistik anlamlılık testi kullanılmıştır (Tablo 7). Hesaplanan istatistik kritik değerinin %95 güven aralığı için 3,84'ten büyük olması üretilen tematik harita doğrulukları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu, değilse anlamsız olduğu söylenebilir.

Tablo 7. Heyelan duyarlılık haritası modellerinin McNemar's testi kullanılarak istatistiksel karşılaştırılması.

			McNemar's (z=3,84)	Anlamlılık (%95)
LR Model-6	/	LR Model-12	3,375	Anlamsız
LR Model-6	/	RO Model-6	40,347	**Anlamlı**
LR Model-6	/	RO Model-12	43,457	**Anlamlı**
LR Model-12	/	RO Model-6	30,009	**Anlamlı**
LR Model-12	/	RO Model-12	34,454	**Anlamlı**
RO Model-6	/	RO Model-12	0,003	Anlamsız

McNemar's testi sonuçları incelendiğinde RO algoritması kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritalarından Model-6 ve Model-12 arasındaki genel doğruluk farkının anlamsız olduğu görülmüştür. Böylelikle AR yaklaşımı ile belirlenen faktörlerin (NDVI, Yükseklik, Bakı, Litoloji, Tİİ, Eğim), Karabük ili Yenice ilçesi için üretilecek heyelan duyarlılık haritalarında kullanılabilecek optimum faktörler olabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca LR metodu içinde benzer sonuçlar elde edilerek Model-6 ile üretilmiş duyarlılık haritasının optimum sonuçlar verdiği ve Model-12 ile aynı özelliklere sahip bir tematik harita olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmasında, Karabük ilinin Yenice ilçesi için heyelana duyarlı alanların tespiti ve sınıflandırılması amacıyla heyelan duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiş ve heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Çalışmada heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan faktör sayısı ve söz konusu faktörlerin kalitesini belirlemek ve heyelan duyarlılık haritası üretimindeki etkilerinin araştırılması amacıyla otomatik faktör modeli kurulumuna dayalı AR yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, seçilen faktörler yardımıyla heyelana duyarlı alanların tahmin edilmesi ve heyelan duyarlılık haritası üretiminde RO ve LR yöntemleri kullanarak güncel makine öğrenme tabanlı yaklaşım ile geleneksel yaklaşımların performansları karşılaştırılmalı olarak analiz edilmiştir. Çalışma alanı için 12 adet heyelanda etkin faktör belirlenmiştir. Söz konusu faktörler AR işlemi ile değerlendirildiğinde 6 faktör (NDVI, Yükseklik, Bakı, Litoloji, Tİİ ve eğim) setine dayalı Model-6'nın optimum faktör modeli olduğu AR analizi ile tespit edilmiştir. Model-6 ve tüm faktörleri içeren Model-12 RO ve LR yöntemleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının, genel doğruluk ve kappa değerleri ile ROC eğrisi ve AUC değerlerine bakılarak doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir. Bunlara ilave olarak, farklı modeller ile elde edilen doğruluk farklılıklarının anlamlılıkları McNemar's testi ile analiz edilerek yorumlanmıştır. Üretilen duyarlılık haritaları içerisinde en iyi performansı değerini Model-12 ve RO algoritması ile üretilmiş heyelan duyarlılık haritasını olduğu görülmüştür. Fakat Model-6 ile Model-12 arasındaki doğruluk farklarının anlamlılıkları hem ROC eğrisi hem de McNemar's testi ile analiz edildiğinde bu iki modellin aralarındaki farkların anlamsız oldukları görülmüştür. Sonuç olarak, AR işlemi ile elde edilmiş optimum faktör modeli olan Model-6 RO algoritması ile yaklaşık %88,27 genel doğruluğa, 0,758 kappa değerine ve 0,945 AUC değerine sahip optimum model olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çok sayıda faktör kullanılan çalışmalarda otomatik seçim yaklaşımları ile optimum faktör setinin tespitinin mümkün olduğu ve sadece seçilen faktörler ile üretilen heyelan duyarlılık haritalarının genel doğruluk ve model performansının yüksek olduğu istatistiksel anlamlılık testleri ile de ortaya konulmuştur. Elde edilen bu sonuç ile, otomatik faktör modeli yaklaşımının kullanıldığında Karabük-Yenice çalışma alanı için %50 oranda veri seti boyutunun azaltılabileceği ve böylelikle büyük ve çok faktörlü çalışmalarda veri boyutunun azaltılmasının; işlem gücü, hafıza ihtiyacı, ağ bant genişliği ve depolama alanı gibi işlem süreci üzerinde etkili konularda zaman tasarrufu sağlayacağı öngörülmektedir.

K A Y N A K L A R

Ahmed, B., (2015), **Landslide susceptibility modelling applying user-defined weighting and data-driven statistical techniques in Cox's Bazar Municipality, Bangladesh**, Natural Hazards, 79(3), 1707-1737.

Akgun, A., Turk, N., (2010), **İki ve Çok Değişkenli İstatistik ve Sezgisel Tabanlı Heyelan Duyarlılık Modellerinin Karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) Örneği**, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 34, 85-112.

Akgun, A., Bulut, F., (2007), **GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region**, Environmental Geology 51(8), 1377-1387.

Atkinson, P. M., Massari, R., (1998), **Generalised linear modelling of susceptibility to landsliding in the central Apennines, Italy**, Computers & Geosciences, 24(4), 373-385.

Ayalew, L., Yamagishi, H., (2005), **The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan**, Geomorphology 65(1-2), 15-31.

Breiman, L., (2001), **Random forests**, Machine Learning, 45(1), 5-32.

Brenning, A., (2005), **Spatial prediction models for landslide hazards: review, comparison and evaluation,** Natural Hazards and Earth System Sciences, 5(6), 853-862.

Bui, D. T., Tuan, T. A., Klempe, H., Pradhan, B., Revhaug, I., (2016), **Spatial prediction models for shallow landslide hazards: a comparative assessment of the efficacy of support vector machines, artificial neural networks, kernel logistic regression, and logistic model tree**, Landslides 13(2), 361-378.

Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., Reichenbach, P., (1991), **Gis Techniques and Statistical-Models in Evaluating Landslide Hazard,** Earth Surface Processes and Landforms, 16(5), 427-445.

Catani, F., Lagomarsino, D., Segoni, S., Tofani, V., (2013), **Landslide susceptibility estimation by random forests technique: sensitivity and scaling issues,** Natural Hazards and Earth System Sciences 13(11), 2815-2831.

Colkesen, I., Sahin, E. K., Kavzoglu, T., (2016), **Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression,** Journal of African Earth Sciences 118: 53-64.

Çölkesen, İ., (2015), **Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntüleri Kullanarak Benzer Spektral Özelliklere Sahip Doğal Nesnelerin Ayırt Edilmesine Yönelik Bir Metodoloji Geliştirme**, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Doktora Tezi.

Ercanoglu, M., Kasmer, O., Temiz, N., (2008), **Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping,** Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 67(4), 565-578.

Ercanoglu, M., Temiz, F. A., (2011), **Application of logistic regression and fuzzy operators to landslide susceptibility assessment in Azdavay (Kastamonu, Turkey),** Environmental Earth Sciences 64(4), 949-964.

Ergünay, O., (2007), **Türkiye'nin Afet Profili,** TMMOB Afet Sempozyumu, Ankara.

Goetz, J. N., Brenning, A., Petschko, H., Leopold, P., (2015), **Evaluating machine learning and statistical prediction techniques for landslide susceptibility modeling,** Computers & Geosciences, 81, 1-11.

Gómez, H., Kavzoglu, T., (2005), **Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela,** Engineering Geology, 78(1-2), 11-27.

Gökceoğlu, C., Ercanoğlu, M., (2001), **Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler,** Yerbilimleri, 23, 189-206.

Hong, H. Y., Pradhan, B., Xu, C., Tien Bui, D., (2015), **Spatial prediction of landslide hazard at the Yihuang area (China) using two-class kernel logistic regression, alternating decision tree and support vector machines,** Catena, 133, 266-281.

Hughes, G. F., (1968) **On the mean accuracy of statistical pattern recognizers,** IEEE Transactions on Information Theory, 14(1), 55–63.

Kano, Y., Harada, A., (2000), **Stepwise variable selection in factor analysis,** Psychometrika, 65(1), 7-22.

Kavzoglu, T., Sahin, E. K., Colkesen, I., (2015), **An assessment of multivariate and bivariate approaches in landslide susceptibility mapping: a case study of Duzkoy district,** Natural Hazards, 76(1), 471-496.

Kavzoglu, T., Sahin, E. K., Colkesen, I., (2015), **Selecting optimal conditioning factors in shallow translational landslide susceptibility mapping using genetic algorithm,** Engineering Geology, 192, 101-112.

Kutlug Sahin, E., Ipbuker, C., Kavzoglu, T., (2017), **Investigation of automatic feature weighting methods (Fisher, Chi-square and Relief-F) for landslide susceptibility mapping,** Geocarto International, 32(9), 956-977.

Lee, S., (2005), **Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data journals,** International Journal of Remote Sensing, 26(7), 1477-1491.

Li, L., Liu, R., Pirasteh, S., Chen, X. H., He, L., Li, J., (2017), **A novel genetic algorithm for optimization of conditioning factors in shallow translational landslides and susceptibility mapping,** Arabian Journal of Geosciences, 10(9), doi:ARTN 209 10.1007/s12517-017-3002-4.

Nefeslioglu, H. A., Duman, T. Y., Durmaz, S., (2008), **Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey),** Geomorphology, 94(3-4), 401-418.

Neter, J., Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Wasserman, W., (1996), **Applied linear regression models,** Richard D. Irwin, Inc., Burr Ridge, Illinois.

Pham, B. T., Bui, D. T., Dholakia, M. B., Prakash, I., Pham, H. V., (2016), **A Comparative Study of Least Square Support Vector Machines and Multiclass Alternating Decision Trees for Spatial Prediction of Rainfall-Induced Landslides in a Tropical Cyclones Area,** Geotechnical and Geological Engineering, 34(6), 1807-1824.

Pourghasemi, H. R., Kerle, N., (2016), **Random forests and evidential belief function-based landslide susceptibility assessment in Western Mazandaran Province, Iran,** Environmental Earth Sciences 75(3), 185.

Pradhan, B., (2010), **Application of an advanced fuzzy logic model for landslide susceptibility analysis,** International Journal of Computational Intelligence Systems, 3(3), 370-381.

Reif, D. M., Motsinger, A. A., McKinney, B. A., Crowe, J. E., Moore, J. H. (2006**), Feature selection using a random forests classifier for the integrated analysis of multiple data types**, Proceedings of the 2006 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology, 171-178.

Romer, C., Ferentinou, M., (2016), **Shallow landslide susceptibility assessment in a semiarid environment - A Quaternary catchment of KwaZulu-Natal, South Africa,** Engineering Geology, 201, 29-44.

Sakellariou, M. G., Ferentinou, M. D., (2001), **GIS-Based Estimation of Slope Stability,** Natural Hazards Review, 2(1), 12-21.

Saltelli, A., Chan, K., Scott, E. M., (2000), **Sensitivity analysis,** UK, Wiley&Sons Ltd.

Swets, J. A., (1988), **Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems,** Science, 240(4857), 1285-1293.

Trigila, A., Iadanza, C., Esposito, C., Scarascia-Mugnozza, G., (2015), **Comparison of Logistic Regression and Random Forests techniques for shallow landslide susceptibility assessment in Giampilieri (NE Sicily, Italy),** Geomorphology, 249, 119-136.

Tsangaratos, P., Ilia, I., Hong, H. Y., Chen, W., Xu, C., (2017), **Applying Information Theory and GIS-based quantitative methods to produce landslide susceptibility maps in Nancheng County, China,** Landslides 14(3), 1091-1111.

Vasu, N. N., Lee, S. R., (2016), **A hybrid feature selection algorithm integrating an extreme learning machine for landslide susceptibility modeling of Mt. Woomyeon, South Korea,** Geomorphology, 263, 50-70.

Wagner, J. M., Shimshak, D. G., (2007), **Stepwise selection of variables in data envelopment analysis: Procedures and managerial perspectives,** European Journal of Operational Research, 180(1), 57-67.

Wulf, A.J., (2014), **An Optional European Contract Code in the Institutional Competition between European Contract Laws, Institutional Competition between Optional Codes in European Contract Law: A Theoretical and Empirical Analysis**. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 198.

Yalcin, A., (2008), **GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations,** Catena 72(1), 1-12.

Yilmaz, I., (2010), **Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar, Turkey: conditional probability, logistic regression, artificial neural networks, and support vector machine,** Environmental Earth Sciences, 61(4), 821-836.

Yilmaz, I., (2009), **A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by artificial neural networks,** Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 68(3), 297-306.

Youssef, A. M., Pourghasemi, H. R., Pourtaghi, Z. S., Al-Katheeri, M. M., (2016), **Landslide susceptibility mapping using random forest, boosted regression tree, classification and regression tree, and general linear models and comparison of their performance at Wadi Tayyah Basin, Asir Region, Saudi Arabia,** Landslides 13(5), 839-856.

Zhang, G. F., Cai, Y. X., Zheng, Z., Zhen, J. W., Liu, Y. L., Huang, K. Y., (2016), **Integration of the Statistical Index Method and the Analytic Hierarchy Process technique for the assessment of landslide susceptibility in Huizhou, China,** Catena 142, 233-244.

Zhang, Z. H., (2016), **Variable selection with stepwise and best subset approaches,** Annals of Translational Medicine 4(7), 136

Uzaktan Algılamada Rutin İşlemlerin Otomasyonu: Görüntülerin Sadece Veri ile İlgili Olan Kısımlarının Kesimi

(Automation of Routine Tasks in Remote Sensing: Extracting Only Useful Parts of Imagery)

Ali Levent YAĞCI, Ahmet ÇAM
Harita Genel Komutanlığı, Fotogrametri Dairesi, Uzaktan Algılama Şubesi, Ankara
yagciali2002@gmail.com, ahmet.cam@hgk.msb.gov.tr

ÖZ

Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration; NASA), Jeolojik Araştırmalar Merkezi (United States Geological Survey; USGS) ve Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi (National Oceanic and Atmospheric Administration; NOAA) gibi uluslararası araştırma ve veri üretim/dağıtım merkezlerinde, hava ve uydu görüntülerinin ön işlemeleri büyük bir ölçüde insandan bağımsız bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler genellikle C veya Python gibi bilgisayar programlama dillerinde geliştirilen programlar sayesinde, baştan sona otomatik olarak bilgisayarlar tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmalara paralel olarak, Harita Genel Komutanlığı'nda (HGK), hava ve uydu görüntüleri ile ilgili rutin işlemlerin, kullanıcılardan bağımsız olarak otomatikleştirme çalışmalarına başlanmıştır. HGK'nın sorumlukları içinde olan, hava ve uydu görüntülerinin kenarında bulunan ve veri ile ilgili olmayan siyah kısımlarının otomatik olarak kesilmesi için Python dilinde bir program geliştirilmiştir. Ayrıca, Python dilini bilmeyen kullanıcıların de bu programı kullanabilmesi için, bu programa ESRI ArcGIS yazılımı çatısı altında çalışan grafik kullanıcı arabirimi de geliştirilmiştir. Böylece, işlemlerin kullanıcıdan bağımsız otomasyonu sayesinde zaman ve insan gücü tasarrufu yapılacaktır. Ayrıca, görüntü kesim işlemleri belli bir standarda oturtulacak ve kullanıcı hataları en aza indirgenecektir.

Anahtar Kelimeler: *Uzaktan Algılama, Görüntü İşleme, Otomasyon, Python, ArcGIS*

ABSTRACT

In the international research and data production/dissemination centers such as National Aeronautics and Space Administration (NASA), United States Geological Survey (USGS) and National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), preprocessing of aerial and satellite imagery is generally carried out without human interaction. Computer programs written in C, Python or other programming languages are utilized to process imagery in an automated fashion from start to end. Automation of routine imagery tasks at the General Command of Mapping has been recently begun to process aerial and remote sensing images without any human interaction. A stand-alone python script has been developed to clip imagery in an automated fashion. Furthermore, this script is converted to a tool with graphical user interface in ESRI ArcGIS software so that users who are not familiar with Python programming language can use it. Therefore, elimination of human interaction with software in data processing tasks can help save time and human effort. Also, automation will help reduce unintended user errors by standardizing image processing tasks.

Keywords: *Remote Sensing, Image Processing, Automation, Python, ArcGIS*

1. GİRİŞ

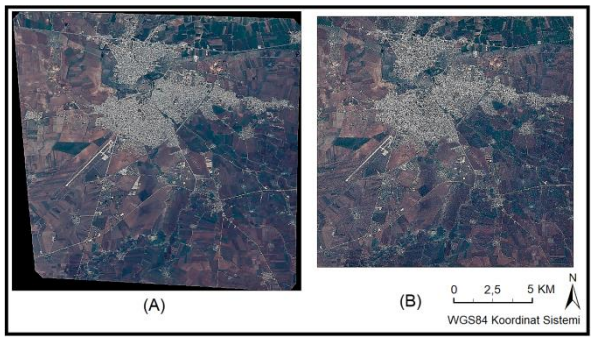
Milli Savunma Bakanlığına (MSB) bağlı HGK kalkınma, savunma, güvenlik amacıyla ve istihbarat faaliyetlerinde kullanılmak üzere rutin olarak Türkiye içi güncel yüksek çözünürlükle (≈ 50 cm) hava görüntüleri toplamak ve üretmektedir (URL-1). Ayrıca, havadan görüntüsü alınamayan bölgelerde ise, Pleiades, GeoEye-1 ve Göktürk-1 gibi uydulardan toplanmış yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerini kullanmaktadır. Bu güncel hava ve uydu görüntüleri daha sonra, HGK tarafından Coğrafi Analiz Sistemi'nde (CAS), diğer bir deyişle Sanal Küre'de, Türk Silahlı Kuvvetleri'nin (TSK) kullanımına hazır duruma getirilmektedir. Ayrıca, istek olduğunda bu veriler kamu kurum ve kuruluşlarına da dağıtılmaktadır.

HGK tarafından toplanan hava görüntülerinin tüm ön işlemeleri (preprocessing) HGK'da yapılmaktadır. İlk aşamada, elektromanyetik spektrum'un kırmızı, yeşil, mavi, yakın kızıl ötesi ve pankromatik dalga boylarında toplanan ham verilerin kalibrasyonu yapılmaktadır ve renklerinin dengelenip birleştirilerek görüntü haline getirilmektedir. Daha sonra, bu görüntüler yeryüzündeki yer kontrol noktaları yardımıyla dengelenir. Sonra, bu görüntüler kamera parametreleri, hassas dış yöneltme parametreleri ve sayısal arazi modeli yardımı ile orto-görüntü haline getirilmektedir (URL-2). En son olarak, bu görüntüler CAS'a yüklenmeden önce görüntü kenarında bulunan ve görüntü ile ilgili olmayan alanlar kesilmektedir ve kesilen görüntü ECW (Enhanced Wavelet Compression) formatında kaydedilmektedir.

HGK'da görüntü işleme, genellikle ArcGIS, ERDAS, GLOBAL Mapper gibi yazılımlar yardımıyla yapılmaktadır. Bu işlemler, uydu ve hava görüntülerinin boyutlarına (görüntülerin bilgisayarda GB biriminde kapladığı alan) paralel olarak uzun sürmektedir. Ayrıca, görüntü işlemesi

kullanıcılar tarafından manuel yapıldığı için sadece mesai saatleri içinde gerçekleştirilmektedir. İstisnai olarak, gerekli görüldüğünde, görüntü birleştirme (mosaic) gibi çok zaman alan işlemler, mesai bitimine yakın başlatılmaktadır. Ama otomasyon olmadığı için, mesai saatleri dışında verilen bir iş yalnızca tek bir işlem veya görüntü ile sınırlıdır.

Güncel hava ve uydu görüntüleri CAS'a yüklemeden önce, görüntü kenarlarında bulunan, Şekil 1-A'da gösterilen veri olmayan kısımlar (siyah renkli bölümler) kesilerek Şekil 1-B'deki görüntü haline getirilerek yüklenmektedir. Birbirine komşu olan görüntülerdeki ortak alanlar yüzünden, sistemde görüntüler üst üste binmektedir. Bir görüntüdeki veri olmayan alanlar (siyah renkli bölgeler), komşu görüntülerdeki veri olan alanların üstüne bindiği için, komşu görüntülerdeki veri olan alanlar görüntülenememektedir. Bu nedenle bu siyah kısımların kesilmesi gerekmektedir. Bu işlem manuel olarak, siyah bölgeler dışında 4 köşe noktası seçilmek suretiyle teker teker mesai saatlerinde yapılmaktadır. Görüntünün boyutlarına göre her bir görüntünün kesimi yaklaşık 30 dakika ile 1 saat arasında gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1. Programa giren (A) ve programdan çıkan (B) 201602040752350 adlı uydu görüntüsü. Bu görüntünün diğer özellikleri Tablo 1' de mevcuttur.

Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration; NASA), Jeolojik Araştırmalar Merkezi (United States Geological Survey; USGS) ve Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi (National Oceanic and Atmospheric Administration; NOAA) gibi uluslararası araştırma ve veri üretim/dağıtım merkezlerinde, hava ve uydu görüntülerinin ön işlemeleri büyük bir ölçüde otomatik bir şekilde yapılmaktadır (URL-3; URL-4 ; URL-5). Bilgisayarlar, bu işlemleri C veya Python gibi bilgisayar programlama dillerinde yazılan programlar vasıtasıyla insandan bağımsız gerçekleştirir. Bilhassa Python programlama dili Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama alanlarında çok yoğun olarak kullanılmaktadır. Örneğin, ArcGIS yazılımının resmi dili python programlama dilidir. Ayrıca, Python dilinde yazılmış çeşitli modeller de bulunmaktadır. Bu modellere örnek olarak, uydu görüntülerinden kuraklığın belirlenmesi ve yeryüzünden (bitkilerden ve topraktan) su buharlaşma miktarının hesaplanması verilebilir (Yagci vd., 2017; Yagci vd., 2015; Deng vd., 2013).

Bu çalışmalara paralel olarak, HGK'da, hava ve uydu görüntüleri ile ilgili rutin işlemlerin insandan bağımsız olarak otomatikleştirme çalışmalarına başlanmıştır. Bu çalışmada, görüntülerin veri ile ilgili olmayan siyah kısımlarının otomatik olarak nasıl kesileceğini ve bu gibi rutin görüntü işlemlerde nelere dikkat etmek gerektiğini anlatılacaktır. Ayrıca, kullanılan yöntem sadece bu uygulama ile sınırlı olmadığı için, ileriye dönük bu yöntemin diğer uygulamalarda nasıl kullanılabileceğinden bahsedilecektir.

2. VERİLER

Yazılan programın test edilmesi amacıyla çeşitli boyutlarda 18 tane uydu görüntüsü seçilmiştir (Tablo 1). Bu görüntünler, program defalarca değişik parametreler ile çalıştırılarak kesilmiştir ve her sefer programın çalışma süresi kayıt edilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan görüntülerin özellikleri.

Görüntü Adı	Sütun Sayısı	Satır Sayısı	Boyut (GB)	
			1	2
201512080838114	42648	34327	8,18	1,63
201602040752350	36593	35418	7,24	1,39
201602060826344	51856	19181	5,56	1,09
201604010802398	51298	14034	4,02	0,79
201609300804329	49184	20572	5,65	1,13
201701050807586	56130	64836	20,34	4,05
201701060759145	52225	78601	22,94	4,57
201701210833195	55996	24830	7,77	1,38
201702240822210	55691	105557	32,85	6,47
201703160818341	52368	83318	24,38	4,85
201703190846230	53746	45809	13,76	2,67
201703230815038	53641	41286	12,38	2,47
201704040822100	55861	47635	14,87	2,85
201704050814383	52786	132070	38,96	7,76
201704100826060	56438	201499	63,55	12,50
201704270755543	58185	45278	14,72	2,87
201705050834185	52076	38910	11,32	2,26
201705060826176	41565	81653	18,96	3,73

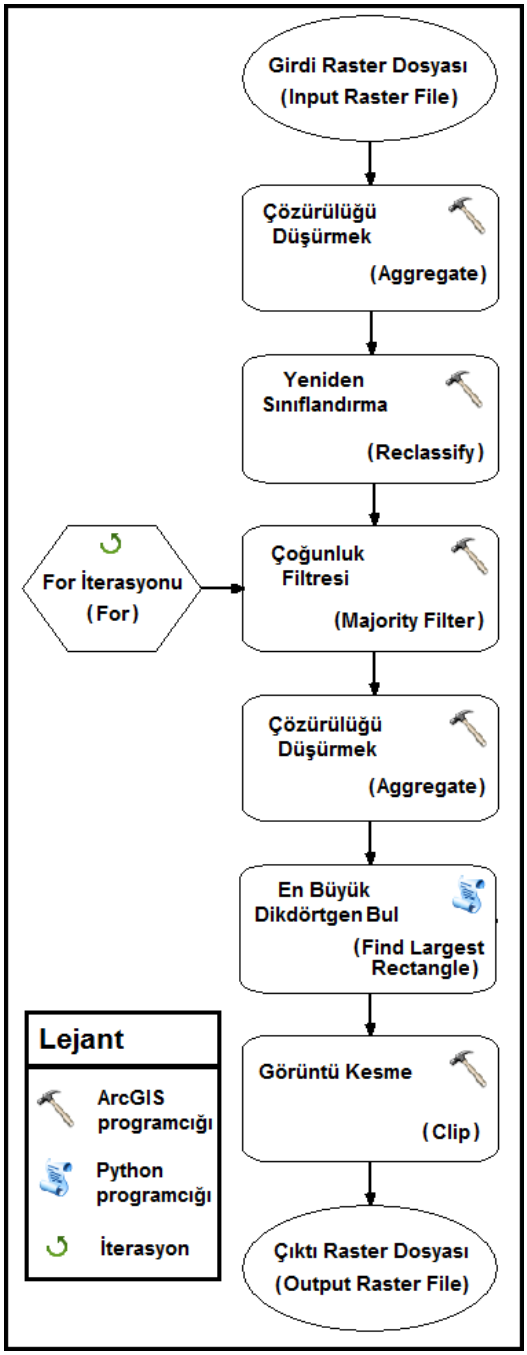
Her bir görüntü, elektromanyetik spektrumun kırmızı, yeşil ve mavi bölgelerinde toplanmış 3 bant içermektedir ve JPEG2000 (uzantısı: jp2) kayıplı (lossy) sıkıştırma formatında, HGK'ya teslim edilmektedir. Bu format, dalgacık (wavelet) teknolojisi kullanarak, görüntüyü kullanıcının belirleyeceği sıkıştırma kalitesine göre sıkıştırabilmektedir (URL-6). Örneğin, Tablo 1'de gösterilen 18 tane görüntünün boyutu (Boyut 1) JPEG2000 formatıyla sıkıştırıldıktan sonra (Boyut 2) ortalama %80 azalmıştır. Bu nedenle, görüntülerin %80 sıkıştırma kalitesi ile sıkıştırıldığı ve yaklaşık %20 veri kaybı yaşandığı söylenebilir. Özetle, bu format ile görüntülerin boyutu yüksek derecede azaltılmasına rağmen, görüntüler sıkıştırıldıktan sonra görüntülerde veri kaybı yaşanmaktadır.

3. METOTLAR

ArcGIS, ESRI şirketi tarafından geliştirilen temelde lisanslı bir CBS yazılımıdır ancak içindeki programlar uzaktan algılama görüntülerini de işleyebilmektedir. Bu yazılımı, diğer CBS ve uzaktan algılama yazılımlarından ayıran önemli özelliği ise Python programlama dili ile uyumlu çalışabilmesidir. Bu sayede, bu yazılımın hem günlük görüntü işleme hem de bilimsel çalışmalarda kullanımına olanak sağlamaktadır.

Görüntü işleme, bu yazılımın ArcToolbox kısmında bulunan programcıklar (tool) vasıtasıyla gerçekleştirilebilir. Ayrıca, ArcToolbox'da bulunmayan işlemler için Python dilinde yazılan kodlar vasıtasıyla görüntü işleme gerçekleştirilebilir. ArcGIS Python ile uyumlu çalıştığı için Python dilinde yazılan kodlar (script), ArcToolbox'a programcık olarak eklenebilmektedir ve bu diğer mevcut programcıklar ile uyumlu çalışabilmektedir. Örneğin, bu çalışma için yazılan görüntü kesme programı, hem mevcut programcıklardan hem de Python dilinde yazılan programcıkların birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Programda kullanılan programcıkların gösterildiği diagram Şekil 2'de verilmiştir.

ArcToolbox'da bulunan programcıklar hem kendi başına hem de başka bir programcığın veya modelin bir parçası olarak çalışabilmektedir. Buna ilaveten, bu programcıklar, ArcPy modülü sayesinde Python kodları içinde de kullanılabilmektedir. ArcPy, ArcToolbox'da bulunan programcıkların Python içinde ArcGIS programı çalıştırılmadan kullanılabilmesini sağlamaktadır.



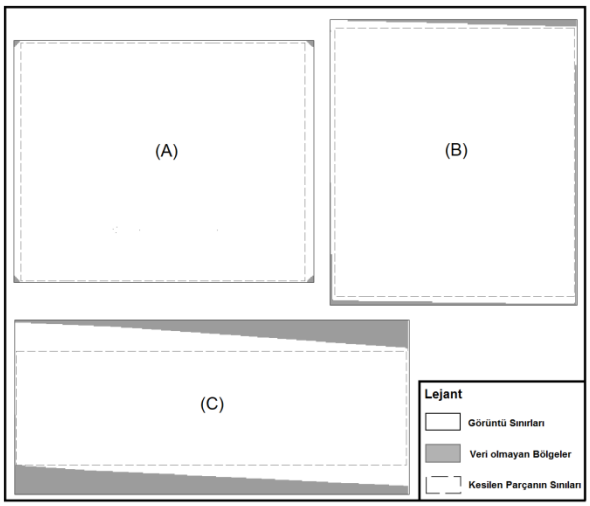
Şekil 2. Otomatik görüntü kesme programcığı işlem akış diyagramı

a. Kullanılan Programcıklar

Genelde, hava ve uydu görüntüleri bilgisayarda büyük bir yer kaplamaktadır. Örneğin, bu çalışmada yazılan programın testi için kullanılan görüntülerin sıkıştırılmamış boyutları 4 GB ila 64 GB arasındadır (Tablo 1). Bu nedenle, görüntü kesme işleminin hızlı ve sorunsuz gerçekleştirilebilmek için çözünürlüğünü düşürmek gerekmektedir.

Görüntü kesme programcığının ilk aşamasında görüntünün çözünürlüğü düşürülmektedir. Bu çalışmada düşük, düşük-orta, büyük-orta ve büyük boyutlu görüntülerin sırasıyla 50, 100, 250 ve 500 kat çözünürlüğü düşürülmektedir.

İkinci aşamada, görüntü piksel değerleri yeniden sınıflandırılmaktadır (bu işlem görüntü sınıflandırma ile karıştırılmamalıdır). Veri içeren pikseller bir sınıfta (piksel değeri 1), veri içermeyen pikseller (piksel değeri 0) başka bir sınıf olmak üzere toplam iki sınıfta toplanmaktadır ve sadece iki değer (binary) bulunan yeni bir görüntü oluşturulmaktadır. Şekil 3'te bu sınıflandırmadan oluşan iki sınıflı görüntüler gösterilmiştir.

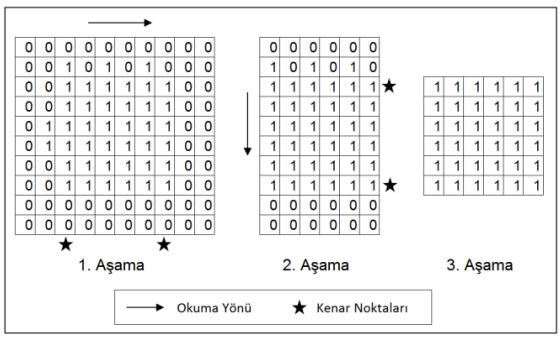


Şekil 3. Program ile kesilen 201512080838114 (A), 201701050807586 (B) ve 201701210833195 (C) adlı görüntülerin orijinal sınırları, veri olmayan kısımlarının dağılımı ve kesilen parçaların sınırları.

Görüntülerin veri ile ilgili olmayan kısımları genellikle görüntülerin kenarlarında bulunmaktadır (Şekil 1-A; Şekil 3-A, B ve C). Ama bazı görüntülerde, görüntülerin orta kısımlarında sıfır (0) değerine sahip az sayıda siyah piksel veya piksel grupları görülmüştür. Bu görüntünün ortasında olan sıfır değerine sahip veri içermeyen kısımlar, "en büyük dikdörtgen bul" programcığının istenilen sonuçlar vermesini engellemektedir. Bu nedenle, 3. aşamada yeniden sınıflandırılan görüntü, 3 kez iterasyon ile 3x3 boyutlu çoğunluk filtresinden geçirilir. Böylelikle, görüntü kenarlarında çoğunluk olan sıfır pikselleri (siyah) korunur ama görüntü ortasında olan sıfır pikselleri bir pikselleri ile yer değiştirir.

Bir sonraki aşamada, görüntünün çözünürlüğü 2 kat daha düşürülür. İlk aşamada da, görüntü çözünürlüğü düşürülmektedir ama bazı görüntülerin kenarlarında çok küçük siyah bölümler bulunmaktadır. Eğer bu görüntülerin çözünürlüğü çok düşürülürse bu sefer bu siyah bölümler kaybolmaktadır ve program görüntülerin kenarında siyah bölgeler yok diye algılayıp kesme işlemi gerçekleştirmemektedir. Onun için çözünürlüğün kademeli olarak iki aşamada düşürülmesi daha uygundur.

Kesme işleminde bir önceki aşamada, "en büyük dikdörtgen bul" programcığı yardımıyla siyah bölgelerden arındırılmış en büyük parçanın dört köşe koordinatları bulunur. Bu aşamada, çözünürlüğü düşürülmüş 0 ve 1 piksel değerlerinden oluşan görüntü, bir diziye (array) yazdırılır. Bu dizi önce soldan sağa ve yukarıdan aşağıya okunarak, her satır ve sütun için siyah bölgelerin bittiği ve yeniden başladığı piksel numaraları bulunur. İlk aşamada, dizi soldan sağa okunur, siyah bölgelerin başladığı satır piksel numaraların en büyüğü, siyah bölgelerin bittiği satır numaralarının en küçüğü seçilir ve bu numaralara göre dizi kesilir. İkinci aşamada, kesilen dizi yukarıdan aşağıya okunur ve siyah bölgelerin başladığı sütun piksel numaraların en büyüğü, siyah bölgelerin bittiği sütün numaralarının en küçüğü seçilir ve dizi tekrar kesilir. Böylelikle, dizi 0 değerli piksellerden tamamen arındırılmış olur. Kesim işleminin algoritması görsel olarak Şekil 4'te anlatılmıştır. Bu işlemler 3 kez daha yapılır ve her seferinde dizi 90° döndürülür. Her görüntüden toplamda 4 tane kesilmiş dizi bulunur. Alan hesabına göre bu dizilerin en büyük olanı bulunur. En son olarak, en büyük alanlı dizinin 4 köşe noktalarının koordinatları bulunur. Bu aşama, bu programın en önemli kısmıdır ve diğer programcıkların aksine ArcGIS ArcToolbox'da bulunmamaktadır. Bu programcık, sıfırdan Python dilinde yazılmıştır ve en kısa süren kısmıdır. Diğer kullanılan programcıklar ArcToolbox'da mevcuttur.



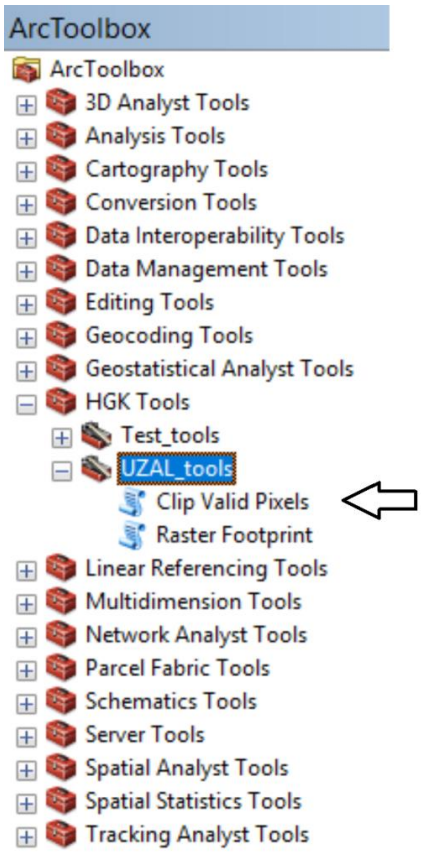
Şekil 4. "En büyük dikdörtgen bul" programcığın algoritması

Programın en son aşamasında, bir önceki aşamada bulunan köşe koordinatlarına göre görüntü kesilir. Bu kısım programın en uzun süren kısmıdır.

Ayrıca, program "en büyük dikdörtgen bul" aşamasından önce, görüntüde siyah bölge var mı diye kontrol etmektedir. Eğer görüntüde siyah bölge yoksa program o aşamada durur ve girdi görüntüsünü kesmeden çıktı klasörüne kopyalar.

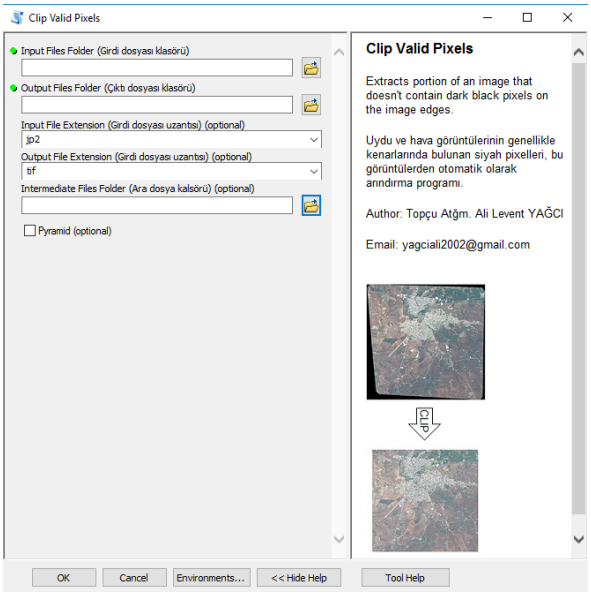
b. Programcığın Kullanımı

Python dilinde yazılan kod, ArcGIS programı açılmadan Python komut satırından çalıştırılabilir. Ama bu işlem için basit Python dili bilgisi gereklidir. Bu yüzden, görüntü kesme programcığına grafik kullanıcı arabirimi eklenerek ArcToolbox'da sunulmuştur (Şekil 5). Böylelikle, kullanıcıların herhangi bir programlama dili bilmesine gerek olmadan ve ArcToolbox'daki diğer programcıkları kullandıkları şekilde, bu programcığı da kullanılabilecektir.



Şekil 5. Görüntü Kesme programcığın ArcGIS ArcToolbox'daki görünümü

Programcığın grafik kullanıcı arabirimi Şekil 6'daki gibidir. Programda 2'si zorunlu 4'ü opsiyonel olacak şekilde toplam 6 tane parametre vardır. Girdi dosyalarının bulunduğu klasör ile kesilen görüntülerin yazılacağı klasör zorunlu parametrelerdir. Girdi dosyalarının uzantısı, kesilen dosyaların hangi uzantıda yazılacağı, programın çalışması sırasında oluşan ara dosyaların yazılacağı klasör ve kesilen görüntünün piramitlerinin oluşturulup oluşturulmayacağı opsiyonel parametrelerdir.



Şekil 6. Programcığın grafik kullanıcı arabirimi

Uydu görüntüleri, JPEG2000 (dosya uzantısı: jp2) formatı ile teslim edildiği için, girdi dosyaları parametresi jp2 olarak önceden tanımlanmıştır. Çıktı dosyaları ise GeoTIFF (dosya uzantısı: tif) formatı olarak programa önceden tanımlanmıştır. Ayrıca program kesilen görüntünün piramitlerini oluşturmayacak ve ara dosyaları dışarıya yazmayacak şekilde önceden ayarlanmıştır. Örnek olarak, program görüntüyü istenildiği gibi kesmediğinde (Görüntü kesme sonrasında oluşan görüntüde veri ile ilgili olmayan siyah renkli pikseller kalmışsa) veya programın çalışması sırasında bir hata olduğunda, ara dosyaları belli bir klasöre yazdırılabilir. Bu ara dosyalar incelenerek, sorunun hangi aşamadan kaynaklandığı bulunabilir. Çıktı dosyaları ve piramit parametrelerin neden yukarıda bahsedilen değişkenler ile programa önceden tanımlandığı "bulgular" kısmında anlatılacaktır.

4. BULGULAR

Yazılan görüntü kesme programcığı, Tablo 1'de verilen 18 tane görüntü ile defalarca test edilmiştir. Bu programcık, görüntü başına en az

3'er kez olmak üzere çeşitli opsiyonel parametrelerle hem Python hem de ArcGIS ortamında çalıştırılmıştır ve programcık her çalıştırıldığında geçen süreler kaydedilmiştir. Bu bölümde, bu çalışma sürelerinin istatistikleri sunulacaktır.

a. Görüntü Kesme Süresi

Görüntü kesme programcığının her bir aşamasının ne kadar sürdüğü ve bu aşamaların toplamı Tablo 2'de verilmiştir. Bu programcık Python ortamında piramit seçeneği kapalı olarak çalıştırılmıştır ve kesilen dosyalar GeoTIFF formatında kaydedilmiştir. Görüntü kesme işleminin yapıldığı bilgisayarın özellikleri Tablo 3'de listelenmiştir.

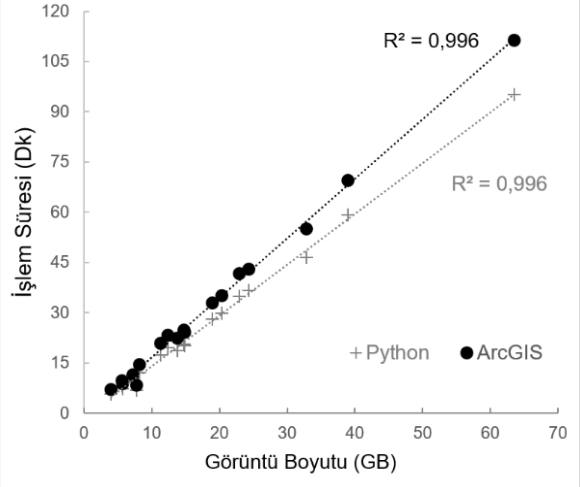
Programcık en kısa 5,7 dakika çalışarak en küçük boyutlu "201604010802398" adlı görüntüyü ve en uzun 95,3 dakika çalışarak en büyük boyutlu 201704100826060 adlı görüntüyü otomatik olarak kesmektedir (Tablo 2). Görüntü kesme süresi, görüntü boyutu ile doğru orantılıdır (Şekil 7). Diğer bir deyişle, görüntünün boyutu büyüdükçe görüntüyü kesme süresi de uzamaktadır.

Tablo 2. Görüntü kesme işleminin yapıldığı bilgisayarın özellikleri

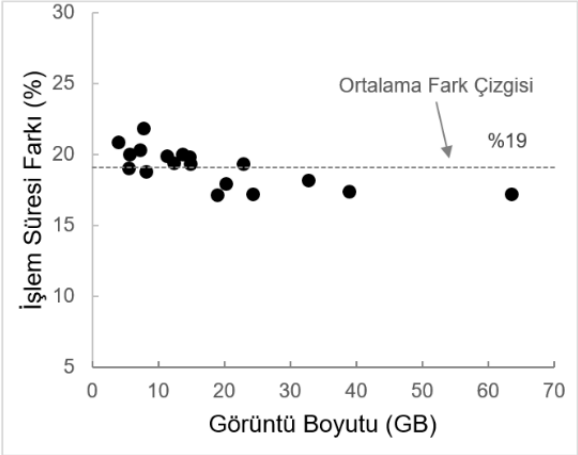
İşlemci Marka ve Model	Intel Xeon X5647
İşlemci Hızı (GHz)	2,93
İşlemci Çekirdek Sayısı	4
Yüklü Bellek (GB)	16
Sistem Sabit Disk (GB)	256
Depolama Sabit Disk (TB)	4
İşletim Sistemi	Windows 10 Enterprise
İşletim Sistemi Türü (bit)	64

Tablo 3. Görüntü kesme işleminde ortalama çalışma süreleri. Programcık Python ortamında piramit seçeneği kapalı olarak çalıştırılmıştır ve kesilen dosyalar GeoTIFF formatında kaydedilmiştir.

Görüntü Adı	Çözünürlüğü Düşürmek (Dk.)	Yeniden Sınıflandırma (Dk.)	Çoğunluk Filtresi (Dk.)	Çözünürlüğü Düşürmek (Dk.)	En Büyük Dikdörtgen Bul (Dk.)	Görüntü Kesme (Dk.)	Toplam Zaman (Dk.)
201512080838114	1,750	0,009	0,033	0,010	0,002	10,361	**12,168**
201602040752350	1,702	0,010	0,035	0,012	0,002	7,672	**9,432**
201602060826344	1,312	0,010	0,034	0,009	0,003	6,711	**8,081**
201604010802398	0,903	0,009	0,034	0,012	0,003	4,812	**5,775**
201609300804329	1,325	0,010	0,035	0,012	0,003	5,903	**7,289**
201701050807586	4,082	0,011	0,033	0,013	0,002	25,669	**29,811**
201701060759145	5,052	0,010	0,035	0,011	0,003	29,843	**34,958**
201701210833195	1,693	0,011	0,036	0,014	0,003	5,176	**6,933**
201702240822210	7,778	0,009	0,036	0,011	0,001	38,749	**46,588**
201703160818341	5,881	0,010	0,035	0,011	0,003	30,769	**36,712**
201703190846230	3,023	0,013	0,039	0,014	0,002	15,556	**18,647**
201703230815038	3,106	0,012	0,038	0,014	0,003	16,374	**19,548**
201704040822100	3,480	0,008	0,034	0,011	0,003	16,639	**20,178**
201704050814383	9,115	0,009	0,036	0,012	0,002	49,976	**59,151**
201704100826060	14,705	0,009	0,036	0,012	0,003	80,306	**95,072**
201704270755543	3,465	0,013	0,040	0,014	0,003	17,127	**20,663**
201705050834185	2,654	0,013	0,038	0,015	0,003	14,712	**17,434**
201705060826176	4,410	0,008	0,032	0,011	0,001	23,572	**28,036**



Şekil 7. Görüntü kesme işleminin hem Python (+) hem de ArcGIS (●) ortamında süresinin görüntü boyutları ile ilişkisi.



Şekil 8. ArcGIS ortamındaki görüntü kesme süresinin Python ortamındaki görüntü kesme süresine göre farkı. Farklar yüzdesel olarak 18 görüntü için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

En uzun aşama görüntü kesme (clip) (Şekil 2) aşamasıdır ve bu aşama ortalama toplam zamanın yaklaşık olarak %83'ünü almaktadır (Tablo 2). İlk aşama olan görüntünün çözünürlüğü düşürülmesi (aggregate) (Şekil 2) ise ikinci uzun aşamadır ve bu aşama ortalama toplam zamanın yaklaşık olarak %16,2'sine tekabül etmektir (Tablo 2). Geri kalan diğer aşamalar, toplam görüntü kesme süresinin yaklaşık %0,4'ünü almaktadır. En kısa aşama ise en büyük dikdörtgen bul aşamasıdır ve ortalama sadece 0,15 saniye sürmektedir (Tablo 2).

b. Python- ArcGIS Karşılaştırması

Görüntü kesme işleminin hangi ortamda daha hızlı olduğunu belirlemek için 18 tane görüntü hem yazılan kod ile Python ortamında ve hem de bu kodun grafik kullanıcı arabirimli programcığı ile ArcGIS ortamında her görüntü en az 3 kez olmak üzere kesilmiştir. Her iki ortamdaki işlem süreleri ve bu işlem sürelerinin görüntü boyutları ile olan ilişkileri Şekil 7'de gösterilmiştir. Ayrıca işlem süreleri arasında yüzdesel farklar her görüntü için Şekil 8'de verilmiştir.

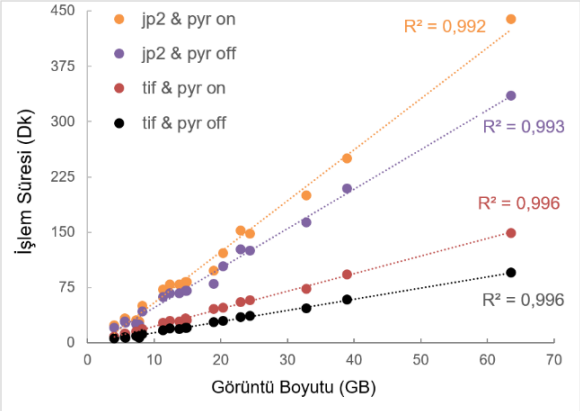
Şekil 7'ye göre aynı Python ortamındaki gibi, ArcGIS ortamındaki görüntü kesme süresi görüntü büyüdükçe uzamaktadır. ArcGIS ortamında görüntü kesme süresi Python ortamındaki kesme süresine göre görüntü boyutlarından bağımsız ortalama %19 fazladır (Şekil 8). Bir diğer deyişle, Python ortamında görüntüleri kesmek ortalama %19 zaman kazandırmaktadır.

c. Parametre Seçimi

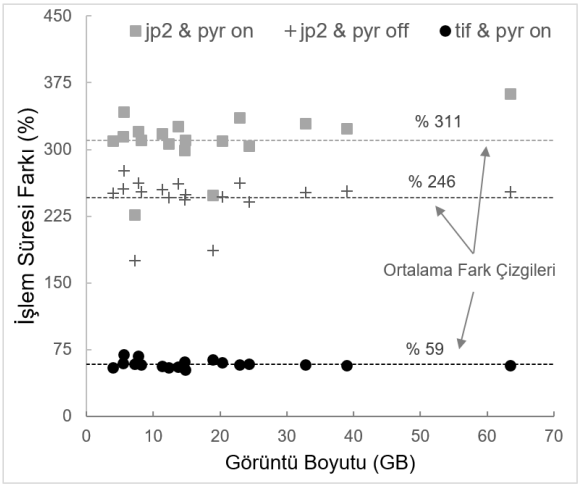
Metotlar kısmında, grafik kullanıcı arayüzlü programcığıyla kesilen görüntülerin GeoTIFF formatı ile piramitler seçeneği kapatılarak bilgisayara yazdırıldığından bahsetmiştik. Bunun nedeni ise Şekil 9 ve 10'da betimlenmiştir. Şekil 9'a göre programcık en hızlı şekilde piramit seçeneği kapatılıp ve çıktı dosyası GeoTIFF seçildiğinde çalışmaktadır. Kesilen dosyayı GeoTIFF formatı ile yazdırırken piramit seçeneğini açmak işlem süresini ortalama %59 uzatmaktadır (Şekil 10). Eğer, piramit seçeneği kapalı iken kesilen görüntü JPEG2000 formatında (sıkıştırma kalitesi %75) sıkıştırılmak istenirse görüntü kesme süresi, ortalama %246 uzamaktadır (Şekil 10). Piramit seçeneği açıkken kesilen görüntüyü JPEG2000 formatıyla yazdırılmak istenirse görüntü kesme süresi ortalama %311 uzamaktadır. Örneğin, programcık Python ortamında, 201512080838114 adlı görüntüyü piramitsiz ve GeoTIFF formatı ile kesmek için 12,2 dakika çalışmaktadır (Tablo 2). Aynı görüntüyü, piramitli GeoTIFF formatı ile kesmek 19,2 dakika, piramitsiz JPEG2000 formatı ile kesmek 42,9 dakika ve piramitli JPEG2000 formatı ile kesmek 49,9 dakika almaktadır. Ayrıca, görüntü kesme süresi görüntünün boyutu ile doğru orantılıdır (Şekil 9).

Kesilen görüntü GeoTIFF formatında, LZW sıkıştırması kullanılarak kayıpsız (lossless) sıkıştırılabilmektedir ve JPEG2000 formatındaki gibi bir sıkıştırma kalitesi seçilememektedir. JPEG2000 formatında ise veri kayıp oranı seçilebilir. Programcıkta, ortam seçeneklerinde

önceden tanımlı %75 sıkıştırma kalitesi kullanılmaktadır ve yaklaşık kesilen görüntünün boyutu % 75 civarı küçültülebilmektedir. Buna karşın, GeoTIFF formatıyla kaydedilen görüntüler LZW ile sıkıştırılınca, görüntüler ortalama %30 küçültülebilmektedir.



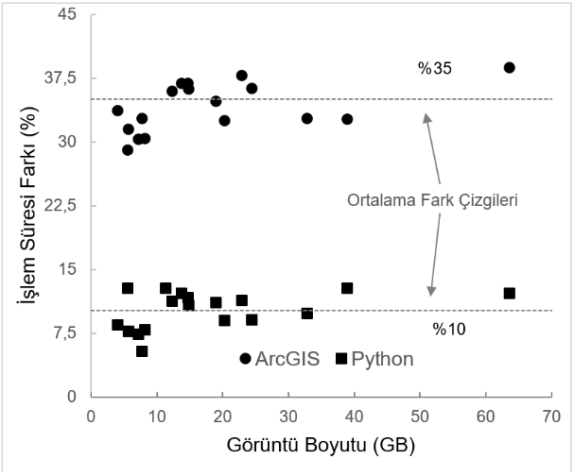
Şekil 9. Görüntü kesme programcığının çıktı dosya formatı ile piramit seçeneği değiştirildiğinde oluşan işlem süreleri ve bu sürelerin görüntü boyutları ile olan ilişkisi.



Şekil 10. Görüntü kesme programcığının piramitli GeoTIFF (●), piramitsiz JPEG2000 (+) ve piramitli JPEG2000 formatı (■) ile çalıştırıldığında oluşan işlem sürelerinin, piramitsiz GeoTIFF formatı ile çalıştırıldığında oluşan işlem süresinden farkları.

ç. Ağ Üzerinden Görüntü Kesme

Görüntüler, merkezi sunucularda muhafaza edilmektedir. Erişim izni olan bütün kullanıcılar bu görüntülere istedikleri zaman ulaşabilmektedirler. Şu ana kadarki görüntü kesme işlemleri, görüntüler kişisel bilgisayara sunucudan kopyalandıktan sonra bu bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Buna karşın, kullanıcılar görüntü kesim işlemini, görüntüleri kişisel bilgisayarlarına transfer etmeden gerçekleştirmek istemektedir. Bu nedenle, görüntü kesme işlemi, ağ üzerinden hem Python hem de ArcGIS ortamında gerçekleştirilmiştir ve Python ortamında kesim süreleri Tablo 4'te ve ArcGIS ortamındakiler ise Tablo 5'te verilmiştir. Bu işlemde, görüntüler sunucudan üzerinden okutulup, sunucuya yazılmıştır. Daha sonra bu süreler, aynı Şekil 8 ve 10'daki gibi kişisel bilgisayarda Python ortamında gerçekleştirilen görüntü kesme süreleri (Tablo 2) ile karşılaştırılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Görüntü kesme programcığının ArcGIS (●) ve Python (■) ortamında merkezi sunucu (server) bilgisayar üzerinden görüntüleri okuyup tekrar aynı yere yazdırdığında oluşan işlem sürelerinin, kişisel bilgisayar üzerinde Python ortamındaki görüntü kesme süresine göre farkı (Tablo 2).

Şekil 11'e göre, Python ortamındaki görüntü kesme işlem süresi ortalama %10 ve ArcGIS ortamında %35 artmıştır. Toplam 18 görüntünün kesim süresi 476 dakikadan (7 saat 56 dakika) Python ortamında 529 dakikaya (8 saat 49 dakika) ve ArcGIS ortamında ise 648 dakikaya (10 saat 48 dakika) çıkmıştır.

Tablo 1'de verilen 18 görüntünün toplamı yaklaşık 65 GB'tır ve sunucudaki bilgisayar ile kişisel bilgisayar arasındaki dosya transfer hızı ise 80 ile 120 MB/saniye arasında dalgalanmaktadır. Bu hız dosya transferinde gözlemlenen hızdır, bu yüzden sunucuyu kullanan kişi sayısına göre değişiklik gösterebilir. Dosyaların tek yönlü sunucudan kişisel bilgisayara taşınması 10-11 dakika almaktadır. Görüntüler kesildikten sonra GeoTIFF formatından ECW formatına dönüştürülen görüntülerin boyutu daha da azalacağından, görüntülerin sunucuya transferi daha da

kısalacaktır. Böylelikle görüntülerin çift yönlü transferi yaklaşık 20 dakika civarı olacaktır. Sonuç olarak, 18 görüntünün toplam kesim süresi 476 dakikadan (7 saat 56 dakika) 496 dakikaya (8 saat 16 dakika) çıkacaktır ve artış oranı %4 olacaktır.

Tablo 4. Ağ üzerinden gerçekleştirilen görüntü kesme işlemlerinin ortalama çalışma süreleri. Programcık Python ortamında piramit seçeneği kapalı olarak çalıştırılmıştır ve kesilen dosyalar GeoTIFF formatında kaydedilmiştir.

Görüntü Adı	Çözünürlüğü Düşürmek (Dk.)	Yeniden Sınıflandırma (Dk.)	Çoğunluk Filtresi (Dk.)	Çözünürlüğü Düşürmek (Dk.)	En Büyük Dikdörtgen Bul (Dk.)	Görüntü Kesme (Dk.)	Toplam Zaman (Dk.)
201512080838114	2.098	0.010	0.044	0.014	0.001	10.958	13.129
201602040752350	1.748	0.009	0.041	0.014	0.003	8.308	10.126
201602060826344	1.603	0.009	0.043	0.014	0.003	7.443	9.118
201604010802398	0.984	0.010	0.043	0.015	0.003	5.211	6.265
201609300804329	1.410	0.010	0.042	0.014	0.003	6.373	7.853
201701050807586	4.884	0.009	0.042	0.014	0.003	27.547	32.501
201701060759145	5.694	0.010	0.043	0.014	0.001	33.172	38.937
201701210833195	1.748	0.010	0.043	0.014	0.003	5.489	7.308
201702240822210	7.868	0.010	0.043	0.014	0.001	43.248	51.187
201703160818341	5.900	0.010	0.044	0.014	0.003	34.083	40.056
201703190846230	3.139	0.010	0.045	0.014	0.003	17.703	20.915
201703230815038	3.156	0.010	0.043	0.014	0.003	18.524	21.752
201704040822100	3.362	0.010	0.043	0.014	0.003	18.919	22.353
201704050814383	9.461	0.010	0.042	0.014	0.001	57.177	66.707
201704100826060	15.070	0.010	0.044	0.014	0.002	91.562	106.704
201704270755543	3.583	0.009	0.043	0.014	0.002	19.427	23.081
201705050834185	2.852	0.010	0.044	7.007	0.003	16.722	19.645
201705060826176	4.625	0.009	0.042	0.014	0.003	26.450	31.144

Tablo 5. Ağ üzerinden gerçekleştirilen görüntü kesme işlemlerinin ortalama çalışma süreleri. Programcık ArcGIS ortamında piramit seçeneği kapalı olarak çalıştırılmıştır ve kesilen dosyalar GeoTIFF formatında kaydedilmiştir.

Görüntü Adı	Çözünürlüğü Düşürmek (Dk.)	Yeniden Sınıflandırma (Dk.)	Çoğunluk Filtresi (Dk.)	Çözünürlüğü Düşürmek (Dk.)	En Büyük Dikdörtgen Bul (Dk.)	Görüntü Kesme (Dk.)	Toplam Zaman (Dk.)
201512080838114	3.284	0.041	0.122	0.039	0.001	12.385	15.873
201602040752350	2.902	0.044	0.130	0.042	0.001	9.177	12.296
201602060826344	2.219	0.043	0.125	0.040	0.002	8.004	10.432
201604010802398	1.656	0.044	0.127	0.043	0.002	5.852	7.723
201609300804329	2.312	0.039	0.127	0.040	0.001	7.066	9.585
201701050807586	7.993	0.045	0.128	0.040	0.001	31.303	39.509
201701060759145	9.198	0.039	0.119	0.042	0.001	38.799	48.198
201701210833195	2.960	0.040	0.130	0.040	0.001	6.035	9.206
201702240822210	12.936	0.044	0.130	0.041	0.001	48.695	61.848
201703160818341	9.721	0.040	0.126	0.039	0.001	40.116	50.042
201703190846230	5.155	0.044	0.125	0.039	0.002	20.158	25.523
201703230815038	5.011	0.044	0.133	0.041	0.002	21.352	26.582
201704040822100	5.774	0.045	0.133	0.042	0.002	21.495	27.492
201704050814383	14.514	0.045	0.012	0.039	0.001	63.767	78.490
201704100826060	27.357	0.040	0.121	0.039	0.001	104.392	131.950
201704270755543	5.946	0.039	0.122	0.038	0.001	22.136	28.283
201705050834185	4.683	0.045	0.130	0.041	0.002	21.596	26.497
201705060826176	7.471	0.044	0.118	0.038	0.001	30.112	37.784

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, hava ve uydu görüntülerinin kenar kısmında bulunan veri ile ilgili olmayan siyah kısımlarının, Python programlama dili kullanarak nasıl otomatik kesilebileceği gösterilmiştir. Geliştirilen programcık bu çalışma kapsamında 18 farklı görüntü ile test edilerek anlatılmıştır ama şu ana kadar bu programcık ile 200'den fazla farklı boyutlarda görüntü kesilmiştir. Bu görüntülerin hepsi, programcık tarafından %100 doğrulukla kesilmiştir (görüntülerden veri olmayan kısımlar tamamen arındırılmıştır) .

Bu programcık sayesinde gelen görüntüler, kullanıcıya ihtiyaç duyulmadan art arda kesilebilecektir. Bu özellik sayesinde, mesai bitimine yakın başlatılan programcık ile ertesi gün mesai başlangıcına kadar 25-30 görüntü kesilebilecektir. Hafta sonları ise daha fazla görüntü kesilebilmektedir. Böylelikle hem zamandan hem de iş gücünden kazanç oluşacaktır. İlaveten, manuel yöntemde görüntü kullanıcı tarafından kesilirken, kesim alanı göz kararı belirlenmektedir. Bu durumdan dolayı görüntü kenarlarında kalan veri içeren bölümler kesim alanının dışında kalmaktadır ve bu durum veri israfına neden olmaktadır. Programcık sayesinde veri israfı en aza indirgenecek ve görüntü kesme işlemi belli bir standarda oturtulacaktır.

Bu çalışmada uygulanan yöntem genel olup, başka uygulamaların otomatikleştirilmesi için de kullanılabilir. Mesela, aynı yöntem ile görüntülerin yeryüzüne düşen alanlarını otomatik olarak çıkartan bir grafik kullanıcı arabirimli programcık daha geliştirilmiştir (Raster Footprint; Şekil 5) ve bu programcık 5700 üzeri görüntü ile test edilmiştir. Daha sonra, bu alanların birleştirilmesi ile verisi olmayan bölgeler belirlenmiştir.

Bu yöntemde, hem ArcGIS yazılımında bulunan programcıklar hem de yazılımda olmadığı için baştan geliştirilen programcık, Python dilinde büyük bir programcıkta birleştirilmiştir. Sonrada, programlama bilmeyen kullanıcıların kullanması için, ArcGIS yazılımı çatısı altında bu programcığa grafik kullanıcı arabirimi yapılmıştır.

Sonuçlara göre, görüntüler Python ortamında piramit seçeneği kapalı GeoTIFF formatında en hızlı kesilmektedir. Görüntü kesme işlemi aynı seçenekler ile ArcGIS ortamında yaklaşık %19 daha yavaş gerçekleştirilmektedir. Eğer kesilen görüntüler piramitsiz JPEG2000 sıkıştırma formatı seçenekleri ile kesilmek istenirse kesim süresi %246 artmaktadır. Bu karşın, kesilen görüntüler sıkıştırıldığı için bilgisayarda daha az yer kaplamaktadır. Kesilen görüntüler GeoTIFF ve JPEG2000 formatıyla sırasıyla ortalama %30 ve %75 küçültülebilmektedir. Ayrıca, JPEG2000 formatıyla sıkıştırılma kalitesi yükseltilerek küçültme oranı daha da yükseltilebilir.

Teslim edilen görüntülerin en hızlı biçimde kesilip Sanal Küre sistemine yüklenmesi için, kullanım kolaylığı da göz önünde bulundurularak, görüntülerin ArcGIS ortamında piramit seçeneği kapatılarak GeoTIFF formatıyla kesilmesi en uygunudur. Şu anda bu seçenekler programcığa önceden tanıtılmıştır. Kullanıcılar sadece girdi ve çıktı klasörlerini tanıtarak ve diğer parametreleri değiştirmeden görüntü kesme işlemini gerçekleştirebilir. Ayrıca, sunucu üzerinden görüntülerin okunması ve yazılması görüntü kesme işlemini yavaşlatmaktadır. Bu nedenle, görüntülerin önce kişisel bilgisayara taşındıktan sonra, görüntü kesme işleminin bu bilgisayarda yapılması tavsiye edilmektedir. Daha sonra, ECW formatına dönüştürülen görüntüler sunucuya kopyalanmalıdır. Ayrıca, sunucu ile kişisel bilgisayar arasındaki hız, sunucuya bağlanan kullanıcı sayısı ile ters orantılıdır. Örneğin, aynı anda görüntü kesme işlemi sunucu üzerinden birden fazla bilgisayardan başlatılırsa, Şekil 11'de verilen yüzdeler daha da artacaktır ve görüntü kesme süresi daha da artacaktır.

Şu andaki sorun, kesilen görüntülerin CAS sistemine yüklenmeden önce ECW formatına dönüştürülmesidir. ECW formatı Hexagon adlı ticari bir şirkete ait bir dosya formatıdır. Bu yüzden, görüntüleri bu formatta kaydetmek sadece bu şirketin geliştirdiği yazılımlar (ERDAS ve Global Mapper gibi) ile mümkündür. Bu yazılımlarda, ArcGIS yazılımındaki gibi bir programlama dili ile sorunsuz uyum bulunmamaktadır. Eğer ileride ECW formatında görüntü kaydetmek ArcGIS yazılımı ile mümkün olduğunda veya CAS sistemine ECW formatlı görüntü yükleme zorunluluğu değişirse, bu sorun ortadan kalkacaktır.

Bir diğer önemli konu ise, ArcGIS yazılımında, piramit seçeneği, açık olarak programcıklara önceden tanımlanmıştır ve genellikle bu seçenek kullanıcı tarafından değiştirilemez. Ancak, programın ortam seçeneklerini (environment settings) Python kod içinde elle değiştirmek mümkündür. Programcıkta piramit seçeneğini kapatarak hem ortalama %60 civarı zaman kazanılmıştır hem de piramit dosyası oluşturulmadığı için bilgisayarda fazladan yer işgal etmemiştir.

Son konu ise Python dilinde geliştirilen kodlar genelde ArcGIS ArcToolbox'da bulunan programcıklara göre çok daha hızlı çalışabilmektedir. Örneğin, Python da yazılan en büyük dikdörtgen bul kodu, görüntünün içinde kesilecek bölgenin 4 köşe koordinatlarını, 1 saniyenin altında bulabilmektedir. Bu kodlar, Linux tabanlı işletim sistemlerinde çalıştırılarak işlemler daha da hızlandırılabilir. Python dilinde görüntü işleme ve CBS işleri için birçok ücretsiz kütüphane bulunmaktadır ve bu kütüphanelerin Python ile uyumu Linux tabanlı işletim sistemlerinde, Windows tabanlı işletim sistemlerine göre çok güçlüdür. Bu kütüphaneler sayesinde görüntü kesme işlemi ArcGIS'teki programcıklar kullanılmadan da yapılabilir. Böylelikle, görüntü ile işlemler, herhangi bir lisanslı yazılım kullanmadan çok hızlı bir biçimde gerçekleştirilebilir. Ayrıca, yazılan kodlar açık kaynaklı (open-source) olacağı için, bu kodların başka kullanıcılar tarafından da geliştirilme imkânı vardır.

K A Y N A K L A R

Deng, M., Di L., Han W., Yagci A. L., Peng C., Heo G. (2013). **Web-service-based monitoring and analysis of global agricultural drought,** Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 79:10, 929-943. DOI: 10.14358/PERS.79.10.929.

Yagci, A. L., Santanello J. A., Jones J. W. (2017). **Estimating evaporative fraction from readily obtainable variables in magrove forests of the Everglades, U.S.A.,** International Journal of Remote Sensing, 38:14, 3981-4007. DOI: 10.1080/01431161.2017.1312033.

Yagci, A. L., Di L., Deng M., Yu G., Peng C., (2015). **Global agricultural drought mapping: results for the year 2011**, 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), pp. 3764-3767. DOI: 10.1109/IGARSS.2012.6350498.

URL-1: https://www.hgk.msb.gov.tr/kurumsal
Erişim Tarihi: 3 Ekim 2017.

URL-2: https://www.hgk.msb.gov.tr/uf-11-uretim-is-akisi.html
Erişim Tarihi: 3 Ekim 2017

URL-3: https://lpdaac.usgs.gov
Erişim Tarihi: 29 Kasım 2017

URL-4: https://espa.cr.usgs.gov
Erişim Tarihi: 29 Kasım 2017

URL-5: https://www.class.ncdc.noaa.gov
Erişim Tarihi: 29 Kasım 2017

URL-6:http://
desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/environments/compression.htm
Erişim Tarihi: 3 Ekim 2017

Increasing The School Access in Azaz City, Syria: A GIS-Based Set Covering Model

(Azaz Şehrindeki Okul Erişiminin Arttırılması: CBS Tabanlı Küme Kapsama Modeli)

Cihan ÇETİNKAYA[1], Abdulhamid DABBAA[2], Eren ÖZCEYLAN[1], Mehmet ERBAŞ[3],
[1]Department of Industrial Engineering, Gaziantep University, Gaziantep, Turkey
[2]Graduate School of Natural and Applied Science, Gaziantep University, Gaziantep, Turkey
[3]General Command of Mapping, Ankara, Turkey
cihancetinkaya1903@hotmail.com

ABSTRACT

Education is very important for humanity from different points of view. It is a backbone for developing countries, it helps to become a good citizen, and it gives discipline, wisdom also character to individuals. As nations are shaped by individuals, the education still keeps its place at the top priority for the nations. There are some reasons for not receiving education such as being poor or being exposed to armed conflict. Since 2011, Syria faces the ongoing conflict as known which results in millions of out of school children. Thus, in this paper we develop a scientific approach for education planning in Azaz City, Syria. To do so, firstly geographic information of 11 current schools and calculated population of students are entered to a geographic information system (GIS). Then, set covering analysis is applied on current schools such that these schools serve as students don't walk more than 500 meters. The coverage area for these schools reached 74% and we obtained nearly 90% coverage of Azaz city with 6 potential additional schools. Remaining 10% of the city is not reachable because of the lack of transportation infrastructure and the dust in the area. Computational experiments show that this approach can help to make a healthier education planning and it can be a useful tool for policy makers.

Keywords: *Geographic Information System, GIS, Location Analysis, School Access, Set Covering Analysis, Syria.*

ÖZ

Eğitim, insanlık için farklı açılardan çok büyük öneme sahiptir. Gelişmekte olan ülkeler için bir omurgadır, iyi bir vatandaş olmaya yardımcı olur ve bireylere disiplin, bilgelik ile karakter katmaktadır. Uluslar, bireyler tarafından şekillendirildiği için eğitim ilk sıradaki önemini halen korumaktadır. Eğitim almamanın fakirlik ya da silahlı karışıklıklara maruz kalmak gibi bir takım nedenleri olabilir. Suriye, 2011 yılından bu yana sürmekte olan çatışmalar yüzünden milyonlarca okula gidemeyen çocuğa sahiptir. Bu nedenle, bu çalışmada Suriye'nin Azaz şehrinde eğitim planlaması için bilimsel bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bunu yapabilmek için, öncelikle 11 mevcut okulun coğrafi bilgileri ve hesaplanan öğrenci nüfusu Coğrafi Bilgi Sistemine (CBS) girilmiştir. Daha sonra, mevcut okullarda uygulanan küme kapsama analizi, öğrencilerin okullarına 500 metreden daha fazla yürümeyeceği şekilde uygulanmıştır. Hâlihazırdaki okulların kapsama alanı %74'tür ve 6 ilave okul sayesinde Azaz şehrinin yaklaşık %90'ına hizmet planlanmıştır. Kentin geri kalan %10'u ulaşım altyapısı eksikliği veya bölgedeki toz nedeniyle ulaşılamaz durumdadır. Bu hesaplamalar, uygulanan yaklaşımın daha sağlıklı bir eğitim planlamasına yardımcı olabileceğini ve karar vericiler için yararlı bir araç olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Coğrafi Bilgi Sistemleri, CBS, Konumsal Analiz, Okul ulaşımı, Küme kapsama, Suriye.*

1. INTRODUCTION

Education in any field is one of the most important factors for development. A country cannot achieve sustainable economic development unless they invest in human capital. Education helps people to understand themselves and understand the world. Education improves the quality of their lives and raises people's both productivity and creativity (Odhiambo&Imwati, 2014).

According to UNICEF; in the top 10 countries with the highest rates of children missing out on primary education, nearly 18 million children are out of school. Although it is not one of the top 10 countries with the highest rates of "out-of-school children"; Syria owns 2.1 million children in school age (5-17) who are not in school. In addition, 600,000 Syrian children living as refugees in the surrounding region are also out of school (UNICEF, 2017a). In all countries, school equips children with the knowledge and skills that they need to build/rebuild their communities, and it provides them with the ability to cope with difficulties of the life. When children are not in schools, they face an increased danger of abuse or the threat of recruitment to terrorist groups. Without education, a generation of children will grow up without the skills they need to contribute to their countries and economies.

The first six years of schooling has been compulsory since 1981 in Syria as primary education and compulsory education was extended to nine years in 2002. After the crisis, the educational process receded drastically (Information Management Unit, 2017). After five

years into the crisis, 2.1 million Syrian children are out of school and one in four schools have been either damaged, destroyed, or are being used as shelter or for military purposes (UNICEF, 2017b).

This situation led local councils and international and local education organizations to start closing this education gap by establishing and rebuilding schools again in areas that are out of regime control. Because of the absence of data in regards of places of schools and the population density in the city, arbitrary schools have been rehabilitated and built. This caused own places with redundant schools and other places with no schools. In this chaotic environment, a scientific approach should be used for education planning. Although the data is not precise for scientific approaches, the top-quality accessible data can be used or some sampling can be utilized.

This study has two aims: The first one is analyzing the existing school locations in Azaz city, Syria to investigate the current school access of students. The other one is selecting suitable locations for new schools to increase the student access to the schools by imposing some constraints. For this purpose, GIS was used to make locational analyses and GIS-based set covering analysis was performed to find optimum locations for new schools.

The paper is organized as follows. Next section provides a review of the literature on GIS used in education planning, while section 3 gives the related data. Section 4 provides the results of applied analyses. The last section sums up our conclusion and sets future study directions.

2. LITERATURE REVIEW

A geographic information system (GIS) is a system designed to capture, store, manipulate, analyze, manage and present all types of geographical data. GIS is more than just software. People and methods are combined with geospatial software and tools, to enable spatial analysis, management large datasets, and the display of information in a map/graphical form (Researchguides, 2017).

GIS offers an effective decision making tool in many fields including education sector. For administrators, it can give the opportunity to visualize and also manage the whole areas including safety, mapping campus buildings, infrastructure, school bus routes, planning of schools to be opened or closed (Geoithub, 2017).

School mapping involves physical location analysis of schools which requires knowledge about the settlement and population. Accessibility analysis is made based on the location and attributes of roads, houses and other infrastructures as layers thus providing more effective decision making (Hite, 2008).

The application of GIS in school mapping is a term used in educational planning and management. It covers a wide range of educational concerns such as resource allocation, efficient delivery of services and improvement in efficient learning. Also mapping is a tool which can be used to reveal the relationships between the distribution of schools and also distribution of school-age population to be served in a given area. GIS database provides a comprehensive framework and organization of both spatial and non-spatial data, which has become a tool to help decision making. Mapping of schools along with the information on administrative boundary also the layers such as road network provides the ground reality with geographic coverage (Geoithub, 2017). Furthermore, it is also well suited to measure spatial accessibility to educational facilities as they contain the core components needed for analysis such as data capture, storage, core analysis algorithms, proximity analysis, shortest path and raster cost-distance analysis (Ngigi et al., 2012).

There are some examples of using GIS in educational/school planning in the literature. School mapping of Bangkok is done by Makino and Watanabe (2002) in a previous study. They analyzed the current location of primary and junior high schools in addition to potential sites for additional schools. They report that their results are efficient and rational.

Galabawa et al. (2002) searched the impact of school mapping in the development for education in Tanzania. They investigated the experiences of six districts where school mapping exercises were carried out. They actually tried to find out what happened after they applied school mapping. Through a combination of instruments the study found that school mapping impacted in varying degrees positively on education development in the districts in terms of increased enrollment and attendance, decreased incidents of dropping out, improved information for decision

making, and enhanced capacities of field actors to plan and take action.

In Kenyan school mapping project, Mulaku and Nyadimo (2011) aimed to collect data for all Kenyan learning institutions and to integrate them into a GIS database so that it can be a useful information for planners. Results show that there were nearly 73000 educational institutions in Kenya during the project, ranging from early childhood schools to universities. Also they obtained useful information on important educational indicators such as schools distribution, enrolments, pupil-teacher ratios and gender parity indices by using GIS analysis. The results demonstrated the utility of the database for its purpose and therefore showed the project to be a useful model that can be a tool for other countries.

Eray (2012) GIS applies to education facilities, where each educational unit has easy access to the common database. The system was constructed for the schools in Old Tbilisi District of Georgia and different analyses were performed related to education.

3. MATERIAL AND METHODOLOGY

One of the most important problems experienced by the local councils and the NGOs in Azaz is that some schools are not available and the population capacity has changed because of internal displaced persons. They are mainly related to the spatial distribution of primary schools and the lack of balance between the supply and demand in the provision of education to school age population. This study attempts to address these problems through mapping locational analysis of the schools. Accessibility analysis is performed on current schools to determine the coverage area such that the students do not walk more than 500 meters to reach these schools. Coverage area analysis is performed to increase the city coverage (determined in accessibility analysis) by adding new schools. Lastly school capacity analysis is performed to determine if the capacities of old schools lack in ability to cover all students and to plan these schools for next five years. Set covering analysis is used for performing the three analyses.

The set covering problem is identified as a facility location selection problem in a way to reach every cluster at least once in a predetermined time on a network. In other words, this problem would involve identifying a specific location for a specific activity such as an appropriate location for an activity, a measurement of where something exists or business and service planning. Caprara et al. (2000), Farahani et al. (2012) and Li et al. (2011) can be examined as set covering problem examples.

In this paper the set covering analyses are performed by using Network Analyst extension of ArcGIS. GIS data obtained from different sources is used to perform spatial analysis. Spatial accessibility in this research is based on the existing road networks. Demand analysis is carried out by computing the population density in all city districts by calculating and crossing many data (because of country situation it was hard to get formal population density) from lists of local councils, number of bread consuming and numbers from vaccine campaign, all these were calculated and aggregated for analysis at the administrative division level.

a. The Study Area

Azaz is a city in northwestern Syria, roughly 20 miles (32 kilometers) north-northwest of Aleppo and it belongs administratively to Aleppo. Before the conflict, according to the Syria Central Bureau of Statistics (CBS), Azaz had a population of 31,623 in the 2004 census. After the huge number of internal displacements, the population has increased to reach about 75,000 (“Wikipedia,” 2017). After the Euphrates Shield (Turkey intervention) it has become safer and the population has increased. Azaz has moderate climatic conditions with temperatures ranging between 5.3 to 27.4° C. The main economic activities include agriculture at both small and large scale, the shape of the city is circular, and it has 20 administrative sectors. It has 15 primary schools, 4 of them are out of service. The situation on the ground generally reveals disparity in the distribution for these schools; where some children walk quite long distances to access them and others walk quite short distances. This paper presents an effort of a geographical analysis on Azaz's working schools. Figure 1 shows the study area.

To improve access to educational facilities, it is crucial to monitor how the school access varies across geography and subpopulations. Maps can be used to explore issues such as utilization and location of educational services and the different levels of facilities. However, the issue of access to educational facilities is in many respects a geographical one and thus spatial display of data

Figure 1. The study area.

is essential. The results are intended to empower researchers, policy makers, decision makers, practitioners, and donors to develop educational policies that achieve the highest benefits.

b. Data

Data used for this research includes scanned topographical maps at the scale 1:25.000, administrative boundary maps, and demographic data of the country, school locations and related attributes. Data relating to the situations and locations of schools are collected physically by visiting them on the field.

The obtained data revealed that the total area of the city is 4.22 km^2 including empty areas. Figure 2 shows residential areas, covering 2.57 km^2, and current schools of Azaz City. In addition, Table 1 shows the capacity of these schools.

C1, D3, B5 and C2 (just 4 districts) have 5 primary schools while the rest of the schools (6 schools) distributed on the rest of districts (16 districts), that indicates that there is an unfair distribution on whole the city.

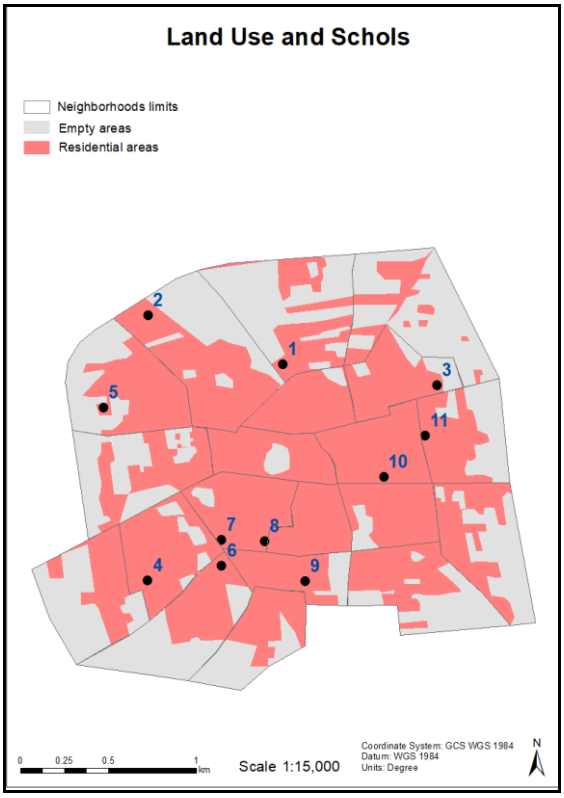


Figure 2. Residential areas and current schools of Azaz City.

Table 1. School districts and capacities.

Object ID	School Name	District	Capacity
1	Gazal Khd	A-1	750
2	Zat Alnitaqin	A-2	750
3	Niara	A-4	590
4	Alandalus	B-5	500
5	Alaqqsa	B-1	750
6	Subhi	B-4	500
7	Abdu Allah	B-5	700
8	Hannan	D-2	500
9	Ahmad Maki	C-1	590
10	Omer Ibkn khatab	C-6	700
11	Mohamad Alshaikh	C-5	1070

c. Population Density and Number of Students

The total population is calculated by average of three data resources: local councils, number of bread consuming and numbers from vaccine campaign as follows:

- Number of children that have got Measles Vaccine according to Azaz Vaccine Campaign is 19874 (ranging from 6 months to 15 years). The population in the age group 0-14 is 37.12% of the total population ("Trading Economics," 2017a). So, the number of the children in every 6 months ~ 19874/29 = 685.3. (We divide the total number to 29 because there are 29 periods of 6 months between 6 months-15 years age old) Then the number of children from 0 – 14 ~ 19874-685.3 = 19188. So, the number of population near to 19188/0.3712 = 51693.

- The production of all bread furnaces according to Local councils is 22.5 ton, every person consumes 0.4 kg, so the total of population is 22500/0.4 = 56250

- According to the local councils, the total population is approximately 60207 persons.

- The average of all three resources: 56250 + 51693 + 60207 = 168150/3 = 56050 persons.

d. Number of Students

We can calculate the number of students by knowing the percentage of primary school age. The population of Syria in 2015 was 18.43 million people ("Trading Economics," 2017b), the population in the age group 6 – 12 (primary school age) in 2015 was 3594601 persons ("Trading Economics," 2017c), the percentage of primary school age: 3594601/18430000 *100= 19.5%. So the number of students: 56050* 19.5% = 10930 students.

The districts in Azaz city have various building capacity values, some of districts have horizontal buildings (buildings with one floor with spaces between them) and the other vertical buildings (buildings with more than two floors). The population density of all districts is shown in Table 2. Figure 3 shows the population distribution in all city districts.

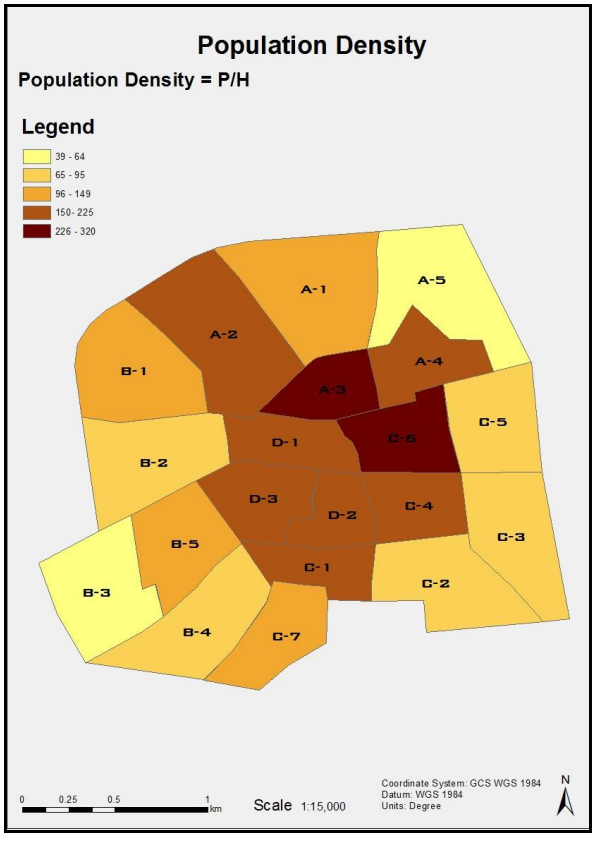


Figure 3. Population distribution in city districts.

Table 2. The density of all Azaz districts.

Plc ID	Name	Population	Students No	Area Hectare	Population Density Person/Hectare
0	A-1	3500	683	32.315	108
1	A-2	8000	1560	35.618	225
2	A-3	4000	780	13.060	306
3	A-4	3500	683	15.695	223
4	A-5	1200	234	30.960	39
5	B-1	2900	566	26.941	108
6	B-2	1700	332	26.361	64
7	B-3	1400	273	24.441	57
8	B-4	2000	390	24.96	80
9	B-5	2100	410	19.717	107
10	C-1	2200	429	12,435	177
11	C-2	2300	449	24.29	95
12	C-3	1700	332	24.322	70
13	C-4	2200	429	14.734	149
14	C-5	1650	322	20.378	81
15	C-6	5400	1053	16.881	320
16	C-7	2400	468	16.912	142
17	D-1	2500	488	14.212	177
18	D-2	2300	449	11.668	197
19	D-3	3100	605	16.244	191

4. EXPERIMENTAL STUDY

In this chapter, accessibility, coverage and capacity analyses are applied respectively.

a. Accessibility Analysis

To identify maximum distance that students walk regarding the security situation in Syria, planning standards for education in neighborhood countries (Saudi Arabia and Egypt) are applied. According to these standards, primary school students should not walk more than 500 meters (for Saudi Arabia) and 500-750 meters (for Egypt) (Information Management Unit, 2017).

Network Analysis is applied on current schools to get the area that these schools serve for Azaz city that students do not walk more than 500 meters. The coverage area for these schools reached 74.00% (1.9 km^2). Figure 4 shows the places currently schools serve (with 500 m condition).

To cover more area by adding schools for places that have no easy access (students walk more than 500 meters) an analysis has been applied to empty the easy access places (student walk less than 500 meters). According to the those places, new schools are suggested to be built to improve schools' coverage for the city, Figure 5 shows the school construction requirement map and candidate school locations.

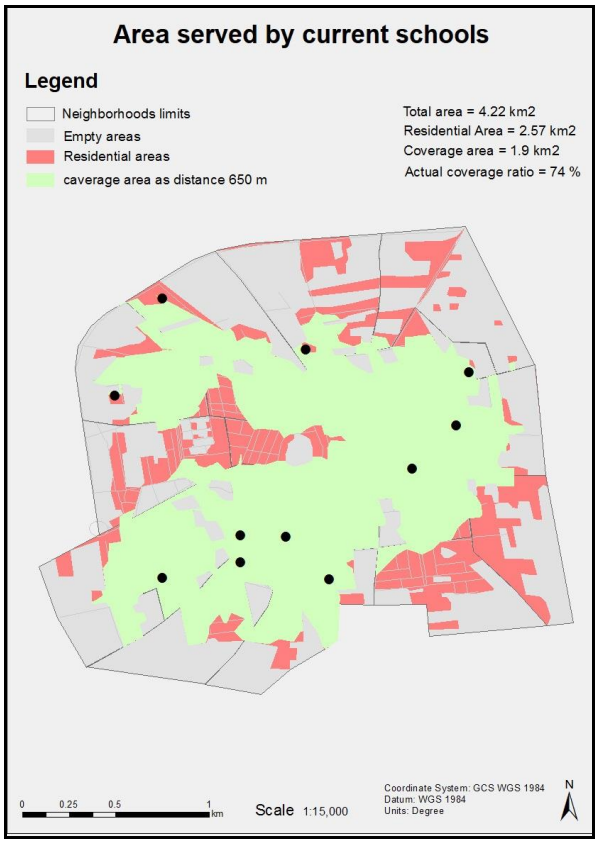


Figure 4. Schools that currently serve with 500-meter condition.

Figure 5. School construction requirement map and candidate school locations.

b. Coverage Area Analysis

As mentioned before, 6 schools which are in the most important places of the area are chosen to increase the city coverage. By adding these schools and applying network analysis, the covered area has reached 89.5%. Figure 6 shows the area that the current and new schools have covered. The remaining area (10%) contains some places with no real road (dirt road) and some other places which are far and it is not feasible to put a school for it (the number of students are very low).

c. Capacity Analysis

The preview of the schools showed differentiation in schools' capacity Table 1 shows the schools name and capacities.

Old schools' capacity is 7400. Number of students in Azaz as it was calculated as 10930 students. That shows a lack in ability of schools to cover all students (or it will lead to students overfilling in classes), the number of surplus students reach to 3530 students. To plan these schools for next five years, population growth rate is used. The population growth rate for Syria in 2009 was 2.89% by applying it to Azaz city: the increase of population in five years will be 8581 people and the number of students will be 1673. Azaz city was divided into four main parts (according to main roads that students shouldn't pass), three of them is opened A, B and C (that could have population increase) and one is closed D (that couldn't have that increase), the increase of students was distributed on opened areas (A, B and C). Figure 7 shows the result of the density analysis and 4 main areas in addition to new and old schools capacities. The new capacities for all schools (new and old ones) reached 12605 students.

Figure 6. The area that the current and new schools have covered.

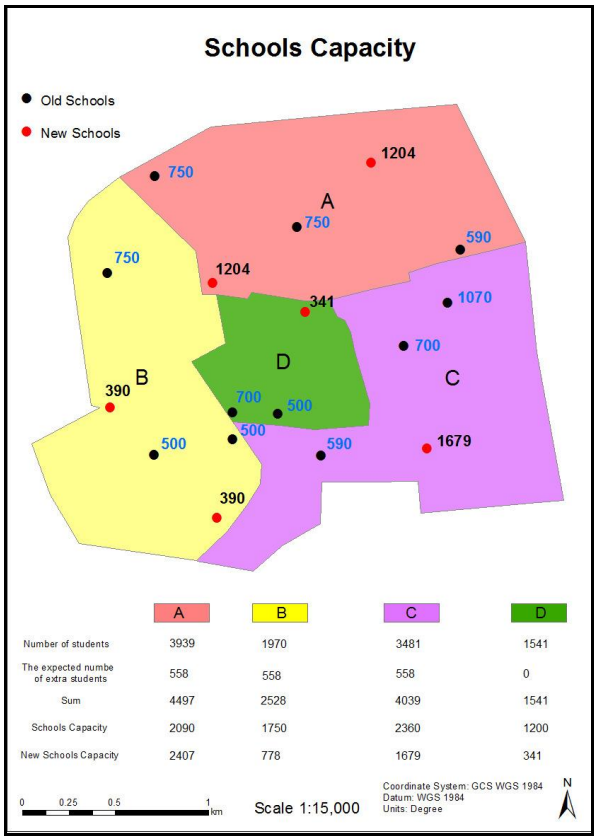


Figure 7. Schools' capacity and students' distribution.

5. CONCLUSION

Education allows us to understand the world and change it in a way that we can all live with dignity, use our rights and participate actively in the building of a more equal society. Also it is the most efficient tool for fighting against poverty. There are millions of out of school children with different reasons.

Therefore, the school planning for Azaz City in Syria is the motive of this paper. The main contribution of this paper is both scientific and humanitarian because there is no study for the conflict area in the literature. Although the data used is not so precise, the help of local councils about data collection and statistical calculations made the study richer.

To sum up in this paper a scientific approach is developed for school planning in Azaz City, Syria. To do so, firstly geographic information of current schools and calculated population of students are entered into GIS. Set covering analysis is applied on current schools such that these schools serve as students don't walk more than 500 meters. The coverage area for these schools reached 74.00% and we obtained nearly %90 coverage of Azaz city with 6 potential additional schools. Remaining %10 of the city is not reachable because of the lack of transportation infrastructure and the dust in the area. Computational experiments show that this approach can help to make a healthier education planning and it can be a useful tool for policy makers. Further research can be determining the school bus routes in a safe way by using attack statistics because the area still experienced armed conflict.

REFERENCES

Caprara, A., Toth, P., & Fischetti, M. (2000). **Algorithms for the set covering problem.** Annals of Operations Research, 98 (1-4):353-371.

Church, R. L. (2005). **Location modelling and GIS. In Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications, Abridged** (Second Edi, pp. 293–303). New Jersey: John Wiley & Sons.

Eray, O. (2012). **Application of Geographic Information System (GIS) in Education.** Journal of Technical Science and Technologies, 1(2), 53–58.

Farahani, R.Z., Asgari, N., Heidari, N., Hosseininia, M., & Goh, M. (2012). **Covering problems in facility location: A review.** Computers & Industrial Engineering, 62 (1): 368-407.

Galabawa, J. C. J., Agu, A. O., & Miyazawa, I. (2002). **The impact of school mapping in the development of education in Tanzania: An assessment of the experiences of six districts.** Evaluation and Program Planning, 1(1), 23–33.

Geoithub. (2017). **Geoithub**. Retrieved November 1, 2017, from http://geoithub.com/wp-content/uploads/2017/01/GIS-IN-EDUCATION.pdf

Hite, J. S. (2008). **School Mapping and GIS in Educational Micro-Planning,** Working Document. International Institute for Education Planning (UNESCO).

Information Management Unit. (2017). **Schools in Syria Thematic Report, Issue 3, https://www.acu-sy.org/en/schools-in-syria-2017/, Access date:6.12.2017**

Li, X., Zhao, Z., Zhu, X., & Wyatt, T. (2011). **Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: a review.** Mathematical Methods of Operations Research, 74 (3):281-310.

Makino, Y., & Watanabe, S. (2002). **The Application Of GIS To The School Mapping In Bangkok.** In 23rd Asian Conference on Remote Sensing (p. 7). Kathmandu, Nepal.

Mulaku, G. C., & Nyadimo, E. (2011). **GIS in Education Planning: The Kenyan School Mapping Project.** Survey Review, 43(323), 567–578.

Ngigi, M. M., Musiega, D., & Mulefu, F. (2012). **Planning and Analysis of Educational Facilities using GIS: A Case Study of Busia County, Kenya.** In Conference: AGSE 2012 (pp. 261–269). Universiti Teknologi Malaysia (UTM).

Odhiambo, O. G., & Imwati, A. T. (2014). **Use of Geo-Information Systems for Educational Services Provision and Planning in Asal Areas: A Case Study of Garissa County – Kenya.** International Journal of Science and Research, 3(9), 2432–2446.

Researchguides, What is GIS, https://researchguides.library.wisc.edu/GIS Access date: 27.11.2017

Trading Economics. (2017a). Retrieved October 31, 2017, from www.tradingeconomics.com/syria/population-ages-0-14-percent-of-total-wb-data.html

Trading Economics. (2017b). Retrieved October 31, 2017, from www.tradingeconomics.com/syria/population.

Trading Economics. (2017c). Retrieved October 31, 2017, from www.tradingeconomics.com/syria/population-ages-6-12-total-wb-data.html

UNICEF. (2017a). UNICEF. Retrieved October 31, 2017, from https://www.unicef.org/media/media_92700.html

UNICEF. (2017b). Syria Crisis, Education Fact Sheet, Five years Of Crisis and Conflict, Middle East and North Africa out of School Children Initiative.

Wikipedia. (2017). Retrieved November 3, 2017, from https://en.wikipedia.org/wiki/Azaz

Stereo Görüntü Yöneltmesinde Duyarlılık Analizi

(Precision Analysis of The Stereo Image Orientation)

Ali Coşkun KİRACI[1], Gönül TOZ[2]
[1]Harita Genel Komutanlığı, Fotogrametri Dairesi, Ankara,
[2]İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği, İstanbul
alicoskun.kiraci@hgk.msb.gov.tr, gtoz@itu.edu.tr

ÖZ

GPS/IMU (Global Positioning System/Inertial Measurement Unit) sistemi, uçuş sırasında gerçekleştirilen ölçümler ile dış yöneltme elemanlarını doğrudan sağlayabilmektedir. Ancak özellikle doğrudan yöneltme yapılacaksa konum doğruluğunun bilinmesi önem tanışmaktadır. Fotogrametrik projelerde konum duyarlılığı genelde ampirik olarak YKN (Yer Kontrol Noktası) kullanılarak belirlenmektedir. Ancak YKN inşaası maliyetlidir ve her proje için yeterli sayıda bulunması her zaman mümkün olmamaktadır. Bu durumda konum duyarlılığını hata yayılma yasası ile hesaplamak mümkündür. Bu çalışmada fotogrametrik matematik modeli incelenmiş, izdüşüm denklemlerine hata yayılma yasası uygulanarak konum duyarlılığı hesaplanmıştır. Bunun yanında her bir yöneltme parametresinin konum duyarlılığına etkisi incelenmiş ve yorumlanmıştır. Bu kapsamda 10 cm YÖA (Yer Örnekleme Aralığı)'na sahip stereo görüntüler üzerinde hesapsal bir uygulama ile YKN olmadan konum hassasiyeti belirlenmiş ve dengeleme sonuçlarından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak yapılan duyarlılık analizinin kullanılabilirliği test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *GPS/IMU entegrasyonu, hata yayılma yasası, konum duyarlılığı*

ABSTRACT

GPS/IMU system can provide orientation parameters directly by measurements performed during the flight. However especially if direct georeferencing is performed, knowledge of the positional accuracy would be important. Positional sensitivity is determined generally by using GCP (Ground Control Point) in photogrammetric projects. But GCP construction is cost and it is not possible to find in enough number anytime. Thus situated it is possible to compute positional sensitivity by error propagation. In this study, photogrammetric mathematical model is viewed, positional sensitivity is computed by implementing error propagation on collinearity equations. In this context positional sensitivity is determined on 10 cm GSD (Ground Sample Distance) stereo images by computational practice without GCP and tested the validity of performed sensitivity analysis by comparing wtih the results obtained by adjustment. Effect of each orientation parameter to positional sensitivity is examined and interpreted by implementing error propagation.

Keywords: *GPS/IMU integration, error propagation, positional accuracy*

1. GİRİŞ

IMU ve GPS'in birlikte kullanılmasıyla oluşturulan GPS/IMU sistemi ile uçuş sırasında gerçekleştirilen ölçümler sonucunda dış yöneltme elemanlarını doğrudan sağlayabilmektedir. Böylece fotoğrafların yöneltilmesi için gerekli olan dış yöneltme parametreleri, hava triangulasyonuna ihtiyaç duyulmaksızın uçuş sonrasında yapılan GPS/IMU entegrasyonu sonucunda elde edilebilmektedir.

Yöneltme parametrelerinin elde edilmiş olması, hesapsal olarak hava traingulasyonu ve dolayısıyla Yer Kontrol Noktası (YKN) ihtiyacını ortadan kaldırmış olarak görünse de doğrudan coğrafi konumlandırma ile elde edilen geometrik doğruluk göz önünde bulundurularak hangi projelerde kullanılabileceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bununla birlikte GPS/IMU destekli hava triangulasyonunda dış yöneltme parametrelerinin başlangıç değerleri olarak kullanılması blok dengeleme doğruluğunu arttırmakta ve bağlama noktalarının otomatik belirlenmesinde hız ve hassasiyet sağlamaktadır. GPS ve IMU'nun kendi hata kaynakları ve ölçüm duyarlılıkları bilinmektedir. GPS ve IMU'in GPS/IMU entegrasyonu ile elde edilen yöneltme doğruluğu GPS ve IMU doğruluğu ile ilişkilidir. Bu yüzden GPS ve IMU hatası ve GPS/IMU entegrasyonu sonucunda alınan yöneltme parametreleri ile belirlenen konum doğruluğu bilinmelidir (Kiracı vd., 2016).

Fotogrametrik uygulamalarda oldukça sık kullanılan GPS/IMU sistemi maliyeti ve hızı dolayısıyla oldukça avantaj sağlamakla birlikte elde edilecek konum doğruluğu tecrübelere dayanarak belirlenebilmekte ya da koordiatları bilinen YKN noktalarına yapılan ölçümlerle deneysel olarak belirlenmektedir. "Kiracı vd.,2016" çalışmasında 45 cm YÖA görüntüler ve doğrudan yöneltme paramatreleri kullanılmıştır. Bu çalışmada 10 cm YÖA stereo görüntüler üzerinde dengelenmiş yöneltme parametreleri kullanılarak hesapsal bir uygulama ile YKN olmadan konum duyarlılığı belirlenmiştir. Bu kapsamda ışın demetleri ile dengeleme sonucunda elde edilen yöneltme parametreleri ve duyarlılıkları kullanılarak stereo görüntü çiftinde konum

duyarlılıkları hesaplanmış ve bu hesaplanan değerler, dengeleme sonucunda elde edilen YKN konum hataları ile karşılaştırılmıştır. Yöneltme parametrelerinin duyarlılıkları 0 ile belirli değer arasında arttırılarak, konum duyarlılığına etkisi incelenmiş ve yorumlanmıştır.

2. GPS/IMU HATA KAYNAKLARI

Dış yöneltme parametreleri günümüzde GPS/IMU ile belirlenerek doğrudan veya ışın demetleri ile blok dengeleme için başlangıç değerleri olarak kullanılmaktadır. GPS/IMU ölçümleri hem GPS hem de IMU' dan gelen hataları içermektedir. GPS hataları; Anten Faz Kayıklığı, Atmosferik Gecikme, Sinyal Yansılamaları, Uydu Geometrisi olarak sıralanabilir.

"Uydu saat hataları ve uydu yörünge hataları", "alıcı saat hataları" ve "başlangıç faz belirsizlikleri" kullanılan fark teknikleri ile en aza indirilmektedir.

Alıcı hataları teknolojik gelişme ile birlikte azalmıştır. Devreye sokulan yeni uydularla geometri yani uydu dağılımı da yeterli olmaktadır. Ölçmelerde aynı antenlerin kullanılmasıyla anten faz kayıklıkları da ortadan kalkar. Çift frekansta ölçü alarak iyonosferik gecikmeyi de ortadan kaldırabiliriz. Sinyal yansımaları ve troposferik gecikme hataları en önemli hata kaynaklarıdır ve uydu eğim açısı küçüldükçe artarlar. Sinyal yansıması etkisini azaltmak için, bu amaçla hazırlanmış antenler kullanılması ve dikkatli yer seçimi gerekir. Troposferik gecikme ise meteorolojik verilere ya da matematiksel yöntemlere dayalı olarak modellenmeye çalışılmaktadır (Grewal vd., 2007).

IMU hataları; *Başlangıç (Initilization) Hataları; Hizalama (alignment) Hataları; Sensör Dengeleme Hataları; Gravite Modeli Hataları;* olarak sıralanabilir. (Kiracı vd., 2016)

3. STEREO GÖRÜNTÜ YÖNELTMESİNDE HATA YAYILMASI

Stereo görüntü yöneltmesinin matematiksel modeli (1) -(11) eşitlikleri ile ifade edilir. (Derenyi, 1996)

c odak uzaklığı (mm),

x_0, y_0 asal nokta koordinatları,

X_L, Y_L, Z_L İzdüşüm merkezi koordinatları (arazi koordinat sisteminde),

ω, φ, κ Görüntü Koordinat sistemi ve Yersel Koordinat sistemi arasındaki dönüklük,

M (3 x 3) dönüklük matrisi,

$$M = M_\varkappa * M_\varphi * M_\omega \tag{1}$$

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \tag{2}$$

Resim koordinatlarından arazi koordinatlarına dönüşüm için;

$$r = dx * m_{11} + dy * m_{21} - c * m_{31} \tag{3}$$

$$s = dx * m_{12} + dy * m_{22} - c * m_{32} \tag{4}$$

$$q = dx * m_{13} + dy * m_{23} - c * m_{33} \tag{5}$$

Sol görüntü;

$$X = X_{01} + (Z - Z_{01})\frac{r_1}{q_1} \tag{6}$$

$$Y = Y_{01} + (Z - Z_{01})\frac{s_1}{q_1} \tag{7}$$

Sağ görüntü;

$$X = X_{02} + (Z - Z_{02})\frac{r_2}{q_2} \tag{8}$$

$$Y = Y_{02} + (Z - Z_{02})\frac{s_2}{q_2} \tag{9}$$

X'leri eşitlersek;

$$X_{01} + (Z - Z_{01})\frac{r_1}{q_1} = X_{02} + (Z - Z_{02})\frac{r_2}{q_2} \tag{10}$$

$$Z = \begin{pmatrix} X_{02}.q_1.q_2 - X_{01}.q_1.q_2 \\ +Z_{01}.r_1.q_2 - Z_{02}.r_2.q_1 \end{pmatrix} \Big/ (r_1.q_2 - r_2.q_1) \tag{11}$$

(12) numaralı eşitlikte X fonksiyonun φ_1 (sol resme ait φ açısı) parametresine göre birinci dereceden türevi gösterilmiştir. Örnekte olduğu gibi X, Y ve Z fonksiyonlarının birinci dereceden türevleri alınmalıdır.

$$\frac{\partial X}{\partial \varphi_1} = \frac{\Delta Z}{q^2}[(-dx.cos\kappa.sin\varphi + dy.sin\varphi - c.cos\phi).q + (dx.cos\kappa.cos\varphi.cos\omega - dy.sin\kappa.cos\varphi.cos\omega - c.sin\varphi.cos\omega).r] \tag{12}$$

Yukarıda verilen eşitlikler yardımı ile hesaplanan kovaryans (C_f) matrisinin (eşitlik (13)) köşegenlerinin karekökü (eşitlik (14)) bize konum bileşenlerinin duyarlılığını verecektir (Koch, 1987).

$$C_f = A\, C_l\, A^T \quad (13)$$

$$m_x = \sqrt[2]{diag(C_f)} \quad (14)$$

Eşitlik (13)'ün hesaplanabilmesi için fonksiyonlar vektörü katsayılar matrisi (A) ve ölçülerin varyans kovaryans matrisi (C_l)'nin oluşturulması gerekmektedir. Buna göre A matrisi;

Sağ görüntü için;

$$K_1 = \left[\frac{\partial X}{\partial \omega_1}\frac{\partial X}{\partial \varphi_1}\frac{\partial X}{\partial \kappa_1}\frac{\partial X}{\partial X_{01}}\frac{\partial X}{\partial Y_{01}}\frac{\partial X}{\partial Z_{01}}\frac{\partial X}{\partial x_1}\frac{\partial X}{\partial y_1}\frac{\partial X}{\partial x_{01}}\frac{\partial X}{\partial y_{01}}\frac{\partial X}{\partial c}\right] \quad (15)$$

$$M_1 = \left[\frac{\partial Y}{\partial \omega_1}\frac{\partial Y}{\partial \varphi_1}\frac{\partial Y}{\partial \kappa_1}\frac{\partial Y}{\partial X_{01}}\frac{\partial Y}{\partial Y_{01}}\frac{\partial Y}{\partial Z_{01}}\frac{\partial Y}{\partial x_1}\frac{\partial Y}{\partial y_1}\frac{\partial Y}{\partial x_{01}}\frac{\partial Y}{\partial y_{01}}\frac{\partial Y}{\partial c}\right] \quad (16)$$

$$N_1 = \left[\frac{\partial Z}{\partial \omega_1}\frac{\partial Z}{\partial \varphi_1}\frac{\partial Z}{\partial \kappa_1}\frac{\partial Z}{\partial X_{01}}\frac{\partial Z}{\partial Y_{01}}\frac{\partial Z}{\partial Z_{01}}\frac{\partial Z}{\partial x_1}\frac{\partial Z}{\partial y_1}\frac{\partial Z}{\partial x_{01}}\frac{\partial Z}{\partial y_{01}}\frac{\partial Z}{\partial c}\right] \quad (17)$$

Sol görüntü için;

$$K_2 = \left[\frac{\partial X}{\partial \omega_2}\frac{\partial X}{\partial \varphi_2}\frac{\partial X}{\partial \kappa_2}\frac{\partial X}{\partial X_{02}}\frac{\partial X}{\partial Y_{02}}\frac{\partial X}{\partial Z_{02}}\frac{\partial X}{\partial x_2}\frac{\partial X}{\partial y_2}\frac{\partial X}{\partial x_{02}}\frac{\partial X}{\partial y_{02}}\frac{\partial X}{\partial c}\right] \quad (18)$$

$$M_2 = \left[\frac{\partial Y}{\partial \omega_2}\frac{\partial Y}{\partial \varphi_2}\frac{\partial Y}{\partial \kappa_2}\frac{\partial Y}{\partial X_{02}}\frac{\partial Y}{\partial Y_{02}}\frac{\partial Y}{\partial Z_{02}}\frac{\partial Y}{\partial x_2}\frac{\partial Y}{\partial y_2}\frac{\partial Y}{\partial x_{02}}\frac{\partial Y}{\partial y_{02}}\frac{\partial Y}{\partial c}\right] \quad (19)$$

$$N_2 = \left[\frac{\partial Z}{\partial \omega_2}\frac{\partial Z}{\partial \varphi_2}\frac{\partial Z}{\partial \kappa_2}\frac{\partial Z}{\partial X_{02}}\frac{\partial Z}{\partial Y_{02}}\frac{\partial Z}{\partial Z_{02}}\frac{\partial Z}{\partial x_2}\frac{\partial Z}{\partial y_2}\frac{\partial Z}{\partial x_{02}}\frac{\partial Z}{\partial y_{02}}\frac{\partial Z}{\partial c}\right] \quad (20)$$

$$A = \begin{bmatrix} K_1 & K_2 \\ M_1 & M_2 \\ N_1 & N_2 \end{bmatrix} \quad (21)$$

C_l ölçüler varyans kovaryans matrisi ölçülerin önceden bilinen duyarlılıklarından (σ) oluşmaktadır. Stereo görüntü yöneltmesi için uygulanacak olursa;

$$C_{l1} = diag\left[\sigma_{\omega_1}^2\ \sigma_{\varphi_1}^2\ \sigma_{\kappa_1}^2\ \sigma_{X_{01}}^2\ \sigma_{Y_{01}}^2\ \sigma_{Z_{01}}^2\ \sigma_{x_1}^2\ \sigma_{y_1}^2\ \sigma_{x_{01}}^2\ \sigma_{y_{01}}^2\ \sigma_c^2\right] \quad (22)$$

$$C_{l2} = diag\left[\sigma_{\omega_2}^2\ \sigma_{\varphi_2}^2\ \sigma_{\kappa_2}^2\ \sigma_{X_{02}}^2\ \sigma_{Y_{02}}^2\ \sigma_{Z_{02}}^2\ \sigma_{x_2}^2\ \sigma_{y_2}^2\ \sigma_{x_{02}}^2\ \sigma_{y_{02}}^2\ \sigma_c^2\right] \quad (23)$$

Fonksiyonlardaki parametreler birbirinden bağımsız oldukları kabul edildiğinden C_l matrisinin köşegenleri dışındaki elemanlar sıfır olmaktadır. Böylece C_l ölçüler varyans kovaryans matrisi (4.28) eşitliği ile ifade edilebilir.

$$C_l = \begin{bmatrix} C_{l1} & 0 \\ 0 & C_{l2} \end{bmatrix} \quad (24)$$

C_l ve A matrisi oluşturulduğuna göre (14) eşitliği ile X, Y ve Z konum bileşenlerine ait duyarlılıklar (m_x) hesaplanabilir. Bu çalışmada bu metodoloji ile X, Y ve Z konum bileşenlerine ait duyarlılıklar hesaplanmıştır. Bunun yanında her bir parametrenin duyarlılıkları 0 ve belirlenen bir değer aralığında arttırılarak, her bir parametrenin konum bileşenlerinin duyarlılıklarına etkisi grafiklere çizdirilerek analiz edilmiştir.

Yukarıda açıklanan matematiksel model doğrultusunda MATLAB yazılımı ile örnek bir projede bir stereo model üzerinde her bir ölçünün konum duyarlılığına etkisi incelenmiş ve beklenen yatay ve düşey konum duyarlılığı hesaplanmıştır.

4. UYGULAMA ve DEĞERLENDİRME

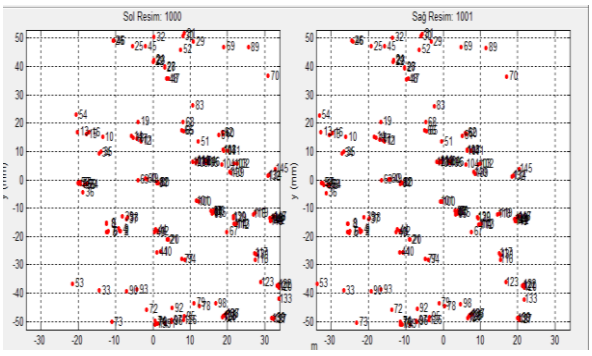
Uygulamada Ultracam Eagle Sayısal Hava Kamerası ile yer örnekleme aralığı 10 cm olarak gerçekleştirilmiş bir projeden elde edilen değerler kullanılmıştır (f= 80 mm, pixel çözünürlüğü 4,6 Mikron). GPS/IMU entegrasyonu sonucunda elde edilen GPS/IMU değerleri ve duyarlılıkları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Dış Yöneltme Parametreleri ve Duyarlılıkları.

Fotoğ.	**X0 (m)**	**Y0 (m)**	**Z0 (m)**
Sol	518978.36	4337762.65	1750.412
Sağ	518818.61	4337557.33	1751.091
Fotoğ.	**ω (º)**	**φ (º)**	**κ (º)**
Sol	1.28849	-0.27803	-127.6469
Sağ	2.4934	-0.24216	-128.0309
Fotoğ.	**σX₀ (m)**	**σY₀ (m)**	**σZ₀ (m)**
Sol	0,01	0,01	0,01
Sağ	0,01	0,01	0,01
Fotoğ.	**σω (º)**	**σφ (º)**	**σκ (º)**
Sol	0,0001	0,0001	0,0001
Sağ	0,0001	0,0001	0,0001

Bunun yanında Asal Nokta koordinatları (x_0, y_0) duyarlılığı 0.1 Mikron, nokta ölçüm duyarlılığı 1 Mikron ve odak uzaklığı (f) ise sıfır olarak kabul edilerek duyarlılık hesabına dahil edilmiştir.

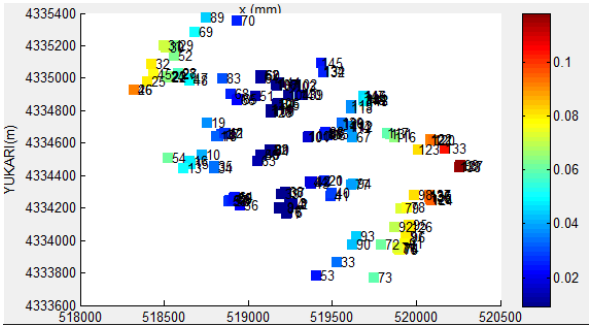
Toplam 80 adet noktanın her iki görüntüde de koordinatları ölçülmüştür. Şekil 1'de stereo model alanında yapılan bağlama noktaları ölçümlerinin dağılımı görülmektedir.



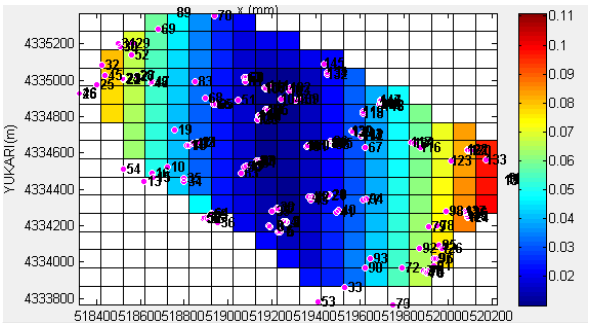
Şekil 1. Stereo model alanında resim koordinatlarının dağılımı.

Projeye ait model için gerçekleştirilen uygulama sonucunda yatay konum duyarlılığı σxy=0,062 m, düşey konum duyarlılığı ise σz=0,096 m olarak belirlenmiştir.

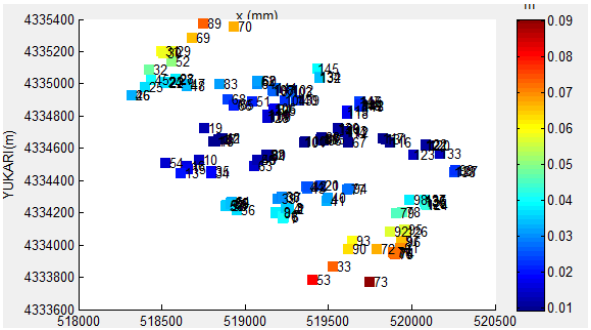
Şekil 2 - 4'de ölçülen her bir noktaya ait X, Y ve Z bileşenlerine ait konum duyarlılığı ve bu noktalardan enterpolasyon ile oluşturulmuş renk yüzeyleri ile model üzerinde konum duyarlılığı dağılımları grafik olarak gösterilmiştir.



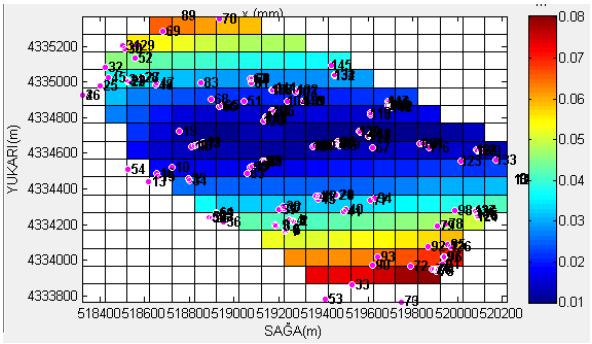
Şekil 2a. X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



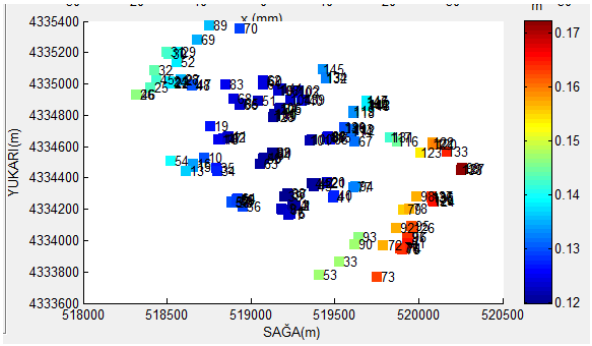
Şekil 2b. X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği



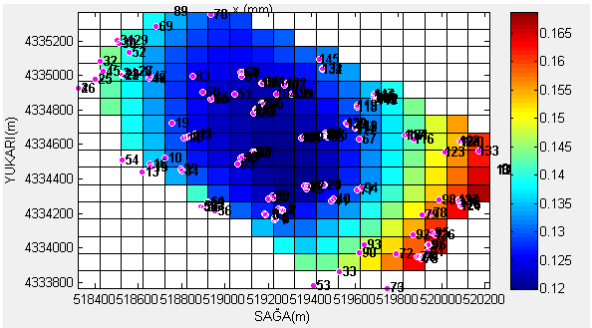
Şekil 3a. Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



Şekil 3b. Y koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



Şekil 4a. Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.

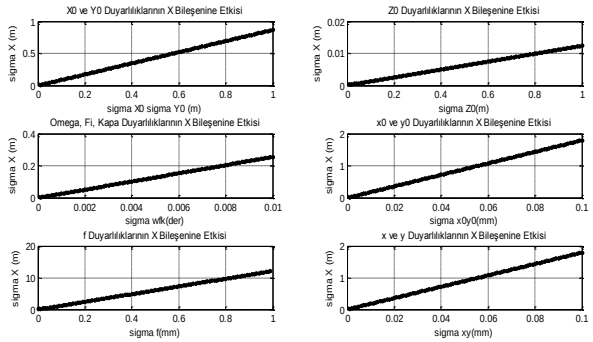


Şekil 4b. Z koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği

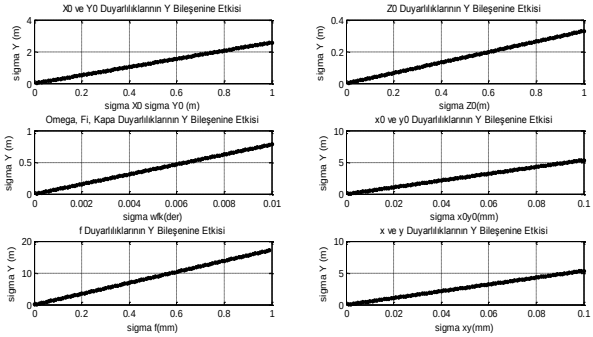
Şekil 4'de sunulan grafikler incelendiğinde konum duyarlılıkları; X konum bileşeni için 0.02 - 0.1 m arasında, Y kosnum bileşeni 0.01 – 0.08 m arasında, Z konum bileşeni ise 0.12 – 0.17 m arasında olduğu görülmektedir.

Her bir parametrenin ayrı ayrı izdüşüm denklemlerinde konum duyarlılığına etkisi incelenmiştir. Burada hangi parametrenin duyarlılığı incelenecekse onun duyarlılığı sıfıra yakın bir değerden belirli aralıklarla arttırılırken diğer parametreler hatasız ve sabit olarak kabul edilerek grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 5'de

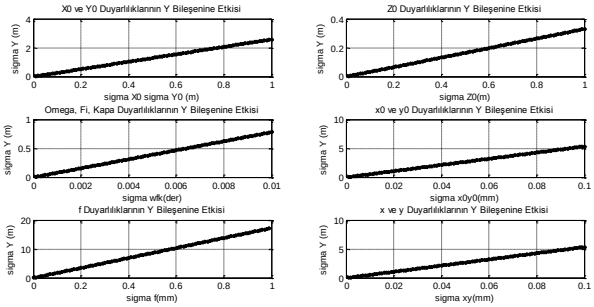
sunulan grafikler her bir parametrenin X, Y ve Z bileşenine etkisini göstermektedir.



Şekil 5a. Yöneltme Parametrelerinin X Bileşenine Etkisi



Şekil 5b. Yöneltme Parametrelerinin Y Bileşenine Etkisi



Şekil 5c. Yöneltme Parametrelerinin Z Bileşenine Etkisi

Şekil 5'de sunulan grafikler incelendiğinde X ve Y konum bileşenleri yöneltme parametrelerinden birbirine yakın ve aynı oranda etkilendiği görülmektedir. Buna göre X_0 ve Y_0 parametresinin X ve Y konum bileşenlerini bire bir oranda etkilemekte ve lineer bir artış göstermektedir. Z0 bileşeninin ise X ve Y konum duyarlılığına etkisinin yok denecek az olduğu görülmektedir. Dönüklük parametrelerinin duyarlılığı ise 0º – 0.01º aralığında 0.3 m ye varan konum hatasına neden olmaktadır ve lineer artış göstermektedir. Asal nokta kayıklığı ve nokta ölçüm duyarlılığının da yatay konum duyarlılığını oldukça fazla etkilediği görülmektedir.

Yöneltme parametrelerinin Z konum bileşenine etkisi incelendiğinde; X_0, Y_0'ın 0 - 1 m aralığındaki duyarlılığı 1 m'ye kadar, 0º – 0.01º aralığında dönüklük duyarlığının Z konum duyarlılığını 2-3 m'ye kadar etkilediği görülmektedir. Z_0 parametresi Z konum bileşenini bileşenini yaklaşık bire bir oranda etkilemektedir. Asal nokta kayıklığı ve nokta ölçüm duyarlılığının da Z konum duyarlılığını oldukça fazla etkilemektedir. Buradaki tüm bileşenler için duyarlılık, Z konum bileşenini lineer artış göstererek arttırmaktadır.

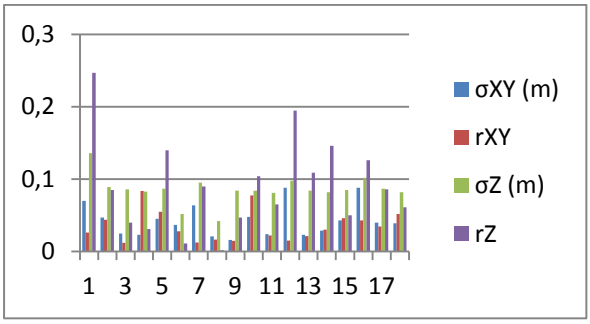
Şekil 5'de grafikler incelendiğinde, yöneltme parametrelerinin konum bileşenlerine etkisinin lineer olduğu görülmektedir. Yöneltme parametrelerinin konum bileşenleri duyarlılıkları ile lineer ilişkisi regresyon doğrusu ile ifade edildiğinde Tablo 2'de sunulan katsayılar elde edilmiştir ($y = a_0 + a_1 * x$). Yapılan hesaplamada a_0=0 olarak bulunduğu için tabloda yer almamaktadır.

Tablo 2. Regresyon katsayıları

Katsayılar (a_1)	σ_X (m)	σ_Y(m)	σ_Z(m)
$a_{\sigma_{X_0,Y_0}}$ (m)	0.868	0.868	0.868
$a_{\sigma_{Z_0}}$(m)	0.012	0.012	0.012
$a_{\sigma_{\omega,\varphi,\kappa}}$ (m/deg)	25.601	25.601	25.601
$a_{\sigma_{x_0,y_0}}$ (m/mikron)	17.98	17.98	17.98
a_{σ_f} (m/mm)	12.146	12.146	12.146
$a_{\sigma_{x,y}}$ (m/mm)	17.98	17.98	17.98

Tablo 2'de belirlenen katsayılar bu çalışmada kullanılan stereo çiftine ait yöneltme parametrelerine aittir. Yöneltme parametreleri değiştiğinde katsayılar da değişiklik gösterecektir.

Söz konusu proje içinde 20 adet YKN dengeleme sonucunda hesaplanan düzeltmeler (r) ile YKN görüntü noktalarına ait hata hesapları (σ) karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3. ve Şekil 6.'da sunulmuştur. (σ hata yayılması ile hesaplanan değer, r ise dengeleme sonucunda elde edilen değeri temsil etmektedir.)



Şekil 6. Hesapsal Yöntem ve Dengeleme Sonuçlarının Karşılaştırması

Tablo 3. Hesapsal Yöntem ve Dengeleme Sonuçlarının Karşılaştırması

YKN Nu	10cm YÖA			
	σXY (m)	rXY	σZ (m)	rZ
1	0.07	0.026	0.136	0.247
2	0.047	0.044	0.089	0.085
3	0.025	0.012	0.086	0.040
4	0.023	0.084	0.083	0.031
5	0.045	0.055	0.087	0.140
7	0.037	0.028	0.052	0.011
8	0.064	0.013	0.095	0.090
9	0.021	0.017	0.042	0.002
10	0.016	0.015	0.084	0.047
11	0.048	0.078	0.084	0.104
13	0.024	0.022	0.081	0.065
14	0.088	0.015	0.098	0.195
15	0.023	0.022	0.084	0.109
16	0.029	0.030	0.082	0.146
17	0.043	0.046	0.085	0.050
18	0.088	0.043	0.102	0.126
19	0.04	0.035	0.087	0.086
20	0.039	0.052	0.082	0.061

Şekil 6 ve Tablo 3 incelendiğinde, hesapla bulunan duyarlılıkların dengeleme sonucunda elde edilen değerlerle yakın olduğu ve gerçek durumu yansıttığı görülmektedir.

5. SONUÇ

GPS/IMU verilerini fotogrametrik çalışmalarda kullanmak, maliyet ve hız açısından oldukça ekonomiktir. GPS ve IMU ölçümlerinin içerdiği hatalar özellikle doğrudan kullanılacaksa yöneltme sonrasında elde edilecek konum doğruluğunu da etkilemektedir. Bununla birlikte GPS/IMU'nun doğrudan kullanıldığı durumlarda elde edilen konum doğruluğunun YKN olmadığı için test edilememesi halen bir problem olarak bulunmaktadır. Ancak konum duyarlılığı, hata yayılma yasası çerçevesinde ele alınarak belirlenebilmektedir. "Kiracı vd., 2016" çalışmasında doğrudan yöneltme parametreleri test edilmiş ve sonuçlar 4 adet YKN noktasında karşılaştırılmış ve belirlenen değerlerin gerçeğe yakın olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada söz konusu duyarlılık hesabı dengelenmiş parametreler kullanılarak, hesapsal olarak konum duyarlılığı incelenmiş ve 10 cm YÖA görüntü çiftlerinde yatay ve düşey konum bileşenleri hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen testte dengelenmiş yöneltme parametreleri kullanılmış ve 20 adet YKN'da yine dengeleme sonucunda elde edilen konum hataları ile karşılaştırılmıştır. Burada yapılan çalışma ve bulunan sonuçlar belirtilen yöneltme parametre değerleri ve duyarlılıklar için geçerlidir. Bulunan sonuçlar aynı duyarlılıkların geçerli olacağı projeler için genellenebilecek olsa da yöneltme parametrelerinin kendisi de bu hesapta yer aldığından her proje için ayrı hesap yapılması gerekmektedir. Bunun yanında bulunan sonuçlar hesapsal olarak beklenen konum duyarlılığını temsil etmekte ve bilinmeyen hata kaynaklarını içermemektedir. Bu çalışmada, tüm parametrelerin birbirinden bağımsız olduğu kabul edilmiştir. Parametreler arasındaki korelasyonun ayrı bir çalışmada incelenmesinin, hata modeline dahil edilebilecek parametrelerin (yazılım/donanım, yazılımın ölçme duyarlılığı, monitör çözünürlüğü ve frekansı, vb.) araştırılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir. "Kiracı vd., 2016" ve bu calışma ile elde edilen değerlerin, hata yayılması ile yapılan duyarlılık analizinin gerçeği yansıttığı, hem doğrudan yöneltme hem de dengelenmiş yöneltme parametreleri için kullanılabilir olduğu değerlendirilmektedir.

K A Y N A K L A R

American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (2004), **Manual of Photogrammetry Fifth Edition**.

Burman, H., (2002), **Image Orientation By GPS And IMU**, Department Of Geodesy And Photogrammetry, The Royal IMUtitute Of Technology, Stockholm, Sweden, Commission III, Working Group 1 (2002)

Chiang, K., Duong, T. T., Liao, J., (2011), **The Performance Analysis of a Real-Time Integrated IMU/GPS Vehicle Navigation System with Abnormal GPS Measurement Elimination**.

Derenyi, E. E., (1996), **Photogrammetry: The Concepts**.

Ellum, C., El-Sheimy, N., (2005), **The Common Adjustment of GPS and Photogrammetric Measurements,** From Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week 2005 and GSDI-8.

Ellum, C., (2012), **Integration Of Raw Gps Measurements Into A Bundle Adjustment**, Mobile Multi-sensor Systems Research Group, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Calgary, AB, Canada.

Fournier, H., Ms.Thesis July (2009), **Automated Processing of GPS/MEMS-IMU Data for Position, Velocity and Attitude Determination**

Grewal, M. S., Weill, L. R., Andrews, A. P., (2007), **Global Positioning Systems, Inertial Navigation and Integration,** 2nd Edition, Wiley

Honkavaara, E., (2004), **In-Flıght Camera Calıbratıon For Dırect Georeferencıng**, Finnish Geodetic IMUtitute, Department of Remote Sensing and Photogrammetry, Finland.

Kim, Y. S., Lee, Dong Min Hong, Soon, H., Chung, C., Sik, L., Kang, W., (2008), **Coastline Change Analysis Using RTK-GPS And Aerial Photo, The International Archives of the Photogrammetry**, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B8.

Kiracı, A. C., Toz, F. G., (2016), **Theoretical Analysis Of Positional Uncertainty In Direct Georeferencing,** 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic

Koch, K. R., (1987), **Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models,** Berlin: Springer.

Kruck, E., (2001), **Benefit Of Rigorous Modeling Of GPS İn Combined AT/GPS/IMU−Bundle Block Adjustment**, OEEPE Workshop "Integrated Sensor Orientation".

Kutoğlu, H., Görmüş, S., **Dengeleme Ders Notları**, http://jeodezi.beun.edu.tr/gormus/files/2013/02/dengeleme_hesab%C4%B1_1_ders_notlar%C4%B1.pdf (08.10.2015)

Lee, I. S., Ge, L., (2006), **The performance of RTK-GPS for surveying under challenging environmental Conditions**, Earth Planets Space, 58, 515–522

Legat, K., Skaloud, J., Schaer, P., (2013), **Real-Time Processing Of GPS/IMU Data For On-The-Fly Quality Control İn Airborne Mobile Mapping.**

Legat, K., Skaloud, J., Schaer, P., (2006), **Real-time processing of GPS/IMU data for on-the-fly quality control in airborne mobile mapping** ENC-GNSS, Manchester.

Legat, K., Skaloud, J., (2006), **Reliability of Direct Georeferencing –A Case Study On Practical Problems And Solutions**, Report to EuroSDR Commission 1.

Legat, K., Skaloud, J., Schaer, P., (2013), **Real-Time Processing Of GPS/IMU Data For On-The-Fly Quality Control İn Airborne Mobile Mapping**.

Mostafa, M. R., Canada (2005), **Precise Airborne GPS Positioning Alternatives for the Aerial Mapping Practice**.

Schaer, P., Skaloud, J., Tomé, P., (2008), **"Towards In-Flıght Qualıty Assessment Of Aırborne Laser Scannıng"** XXI ISPRS Congress, Beijing, China, July 3-11.

Passini, R., Jewell, D., Jacobsen, K., (2002), **An Accuracy Study On A Large Aırborne Gps Aero Trıangulatıon Block**, ASPRS Annual Convention Washington.

Stebler, Y., (2008), **GPS/IMU Integrity in Airborne Mapping**, , Swiss Federal IMUtitute of Technology, Lausanne Geodetic Engineering Laboratory.

Talaya, J., (2000), International Archives Of Photogrammetry And Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B2., **Robust Gps Kinematic Positioning For Direct Georeferencing**.

Tsai, V. J. D., (2006) **"On Gps And Gps-Rtk Assısted Aerotrıangulatıon"** ,ASPRS 2006 Annual Conference, Reno, Nevada.

Wolf, P. R., Dewit, B. A., (2000), **Elements of Photogrammetry with Applications in GIS**.

Yakın Resim Fotogrametrisinde Cep Telefonu Kameralarının Kullanımının Araştırılması

(Investigation of The Use of Mobile Phones Cameras In Close Range Photogrammetry)

Ferruh YILMAZTÜRK[1], Ali Ersin GÜRBAK[2]
[1]Harita Mühendisliği Bölümü, Aksaray Üniversitesi, Aksaray
[2]DSİ 12. Bölge Müdürlüğü, Kayseri
fyilmazturk@gmail.com, aliersing@hotmail.com

ÖZ

Bu çalışmada, cep telefonu kamera görüntülerinin yakın resim fotogrametri uygulamalarında kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla iki farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. İlk uygulamada, üç farklı model cep telefonu kamerasının (Htc Sensation XE, Apple iphone 5, Samsung Galaxy S4) ve bir adet kompakt resim çekme makinasının (Canon ixus 960 IS) self kalibrasyon demet dengelemesi yöntemi kullanılarak üç boyutlu (3B) bir test alanı üzerinde kalibrasyonları gerçekleştirilmiştir. Metrik performanslarını değerlendirmek için geometrik doğruluk testleri uygulanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İkinci uygulamada ise, geometrik doğruluk testlerinde en iyi sonucu veren Galaxy S4 cep telefonu kamerası görüntüleri kullanılarak silindir şekilli tarihi bir kümbetin fotogrametrik yöntemle 3B modellemesi gerçekleştirilmiştir. Denetleme noktaları kullanılarak yine 3B model üzerinde doğruluk testleri uygulanmıştır. Her iki uygulamanın sonuçları değerlendirildiğinde cep telefonu kameralarının birçok fotogrametrik uygulamada kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Cep telefonu kameraları, Kamera kalibrasyonu, Doğruluk, Prezisyon.*

ABSTRACT

In this study, it is aimed to investigate the usability of mobile phone camera images in close range photogrammetry applications. Two different applications have been implemented for this purpose. In the first application, three different mobile phone cameras (Htc Sensation XE, Apple iPhone 5, Samsung Galaxy S4) and one digital compact cameras (Canon IXUS 960) were calibrated over a calibration reference object with signalized points of known 3D coordinates, using a self-calibrating bundle adjustment. Geometric accuracy tests were applied to evaluate the metric performances and the results obtained were compared. As a result of the evaluation process, the accuracy

In the second application, the 3D modelling of a historical cylindrical cupola with a height of 8 m and a diameter of 5 m was performed with photogrammetric method using the Galaxy S4 mobile phone camera images, which gives the best result in geometric accuracy tests. Accuracy tests were again applied on the 3D model using the check points. When the results of both applications are evaluated, it has been seen that mobile phone cameras can be used in many photogrammetric applications.

Keywords: *Mobile Phone Cameras, Camera Calibration, aacuracy, precision.*

1. GİRİŞ

Fotogrametrik işlemler sayısal görüntüleme sistemleri ve değerlendirmedeki gelişmelerle birlikte temelden değişmiştir. Uygun hedef işareti içeren cisim noktaları ve sayısal on-line görüntü kaydıyla karmaşık fotogrametrik görevler çok kısa sürelerde gerçekleştirilebilmektedir. İşaretli noktaların tam otomatik analizi, yöneltme ve ölçme işlemleri için manuel işlemlerle yer değiştirmiştir. Yüksek derecede otomasyon, bu konuda uzman olmayan kişilerin de veri işleme ve fotogrametrik kayıt işlemlerini yapabilmesine olanak sağlar.

Sayısal sistemler, otomasyon ve kısa veri işleme süreleri sağladığından, özellikle endüstriyel ölçme ve robotik çalışmalar gibi karmaşık gerçek zamanlı fotogrametrik uygulamalar için gereklidir.

Yüksek çözünürlüklü CCD (Charge Coupled Device-Yüklenme İliştirilimiş Araç)/CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor-Bütünleyici Metal Oksit Yarı İletken) kameraların ve dizüstü bilgisayarların yardımı ile mobil, düşük maliyetli, yüksek performanslı sayısal sistemleri gerçekleştirme potansiyeli gün geçtikçe artmaktadır. Farklı yazılım ve donanım bileşenleri arasında mobil cep telefonları farklı sebeplerle görüntü verisi elde etmek için oldukça ilginç bir seçenek olmaktadır. Bu sebepler, hafif ve taşınabilir olmaları, ucuz olmaları ve ayrıca dijital kameralarla donatılmış olmalarıdır.(Akça, 2009).

Çoğu cep telefonu kamerası kompakt dijital kameralara göre daha basittir. Sabit odaklı mercekleri ve daha küçük boyutlardaki elektronik algılayıcıları zayıf ışık koşullarında cep telefonu kamaralarının performanslarını sınırlar. Çoğu cep telefonu kamerasında genellikle köşegen uzunlukları 1/2.5", 1/1.8", 1/1.6" ve 2/3" olan elektronik algılayıcılar kullanılmaktadır. 2012 yılında üretilen Nokia 808 PureView model cep telefonu kamerası, 41 MP çözünürlük ve 1/1.2" (10.67x8.00 mm) algılayıcı boyutuyla kompakt kameraları geçmiştir. Söz konusu model, cep

telefon kameraları arasında en yüksek çözünürlük ve en büyük algılayıcı boyutuna sahip cep telefonu kamera modeli olarak bilinmektedir.

Artık günümüz cep telefonu kameraları, CCD ve CMOS algılayıcılara göre daha pahalı olan ve CMOS algılayıcıya göre daha az güç tüketen Arkadan Aydınlatmalı CMOS algılayıcıları (BackSide Illumination CMOS sensor) kullanmaktadır. Bu teknolojide, algılayıcının arkasından özel bir aydınlatma yapılmakta ve her bir pikselin ışık toplama kapasitesi yüzde 200 dolayında arttırılmaktadır (URL-1).

Akıllı telefonların kameraları, çok sayıda araştırma projesinde ve ticari uygulamada giriş cihazı olarak kullanılmıştır. Ticari açıdan başarılı bir örnek, fiziksel nesnelere bağlı QR (Quick Response kodu - Matriks barkod türü) Kodlarının kullanılmasıdır. QR Kodları, telefonuyla kamerasıyla algılanabilir ve ilgili dijital içeriğe (genellikle bir URL'ye) uygun bir bağlantı sağlar. Başka bir yaklaşım, nesneleri tanımak için kamera görüntüleri kullanmaktır. İçerik tabanlı görüntü analizi, reklam posterleri gibi fiziksel nesneleri tanımak için kullanılır. (URL-2).

Fotogrametrik alanda ise cep telefonu kameralarının kullanıldığı az sayıda çalışma vardır. L. F. DeChant (2012) tarafından yapılan çalışmada iphone 4 cep telefonu kamerası ile alınan görüntüler kullanılarak bir otomobilin fotogrametrik yöntemle 3 boyutlu modeli üretilmiştir. A. Agapiou ve A. Georgopoulos (2006), Nokia 5140 ve Sony Ericsson K700i cep telefonu kamera görüntülerini kullanarak karşılaştırılmalı biçimde tarihi bir yapının yine fotogrametrik yöntemle 3 boyutlu modellemesini gerçekleştirmişlerdir. A. Gruen ve D. Akça (2007, 2008, 2009) tarafından yapılan çalışmalarda Sony Ericsson K750i ve Nokia N93 cep telefonu kameralarının geometrik ve radyometrik özellikleri test edilmiştir. Kim vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada fotogrametrik tabanlı İHA sistemlerinde cep telefonu kameralarının kullanma imkânları araştırılmıştır. Bu çalışmada Samsung Galaxs s ve iki adet Galaxy s2 kullanılmıştır. Azhar vd., (2013) tarafından yapılan çalışmada sony ericson cep telefonu kamerasının geometrik ve radyometrik testleri araştırılmıştır.

Yüksek çözünürlüklü cep telefonu kameralarının geometrik doğruluk testleri ve üç boyutlu cisim geometrisini yeniden oluşturma yetenekleri üzerine üretim özelliklerinin etkisi literatürde tam olarak çalışılmamıştır. Yapılan çalışmayla modern cep telefonu kameralarının fotogrametrik uygulamalarda kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 3B koordinatları hassas bir şekilde belirlenen bir kalibrasyon objesi kullanılarak 3 farklı cep telefonu kamerasının ve bir kompakt kameranın geometrik doğruluk testleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. İkinci uygulamada ise geometrik doğruluk anlamında en iyi sonucu veren cep telefonu kamerası kullanılarak tarihi bir yapının fotogrametrik yöntemle 3B modellemesi gerçekleştirilmiş ve ayrıca bu model üzerinde yine geometrik doğruluk testleri uygulanmıştır.

Makalenin bundan sonraki bölümlerinde, cep telefonu kameralarının ve kompakt kameranın doğruluk testlerinin nasıl gerçekleştirildiği anlatılacak, sonra Galaxy S4 cep telefonu kamerası ile elde edilen görüntüler kullanılarak fotogrametrik yöntemle gerçekleştirilen 3B modelleme verilecek ve son olarak çalışmanın sonuçları özetlenecektir.

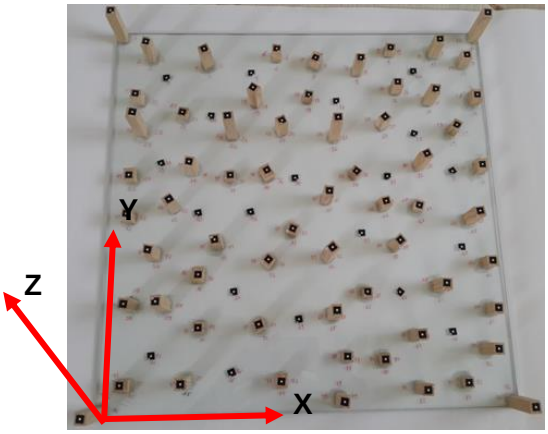
2. GEOMETRİK DOĞRULUK TESTLERİ

a. Kameraların Teknik Özellikleri

Günümüzde cep telefonu piyasasında birçok değişik marka ve modele sahip telefon kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır. Çalışmanın yapıldığı dönemde cep telefonu piyasasında yaygın olarak kullanılan üç adet farklı model cep telefonu kamerası ve bir adet sayısal kompakt kamera araştırma için tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan cep telefonu kameralarının teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

b. Kullanılan Test Alanı

Söz konusu cep telefonu kameralarının ve kompakt kameranın doğruluk potansiyellerinin belirlenmesi amacıyla ilk olarak kalibrasyon test alanı oluşturulmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Test alanı.

Tablo 1. Araştırmada kullanılan kameralara ait teknik özellikler.

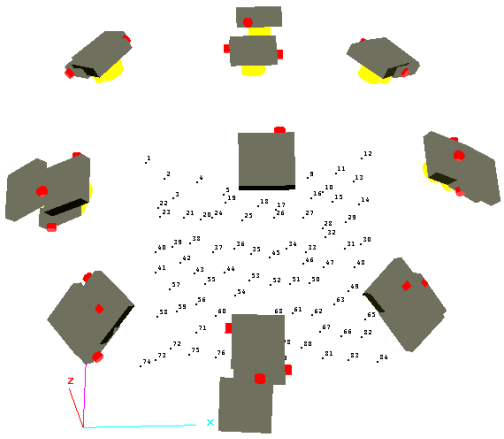
	Htc Sensation Xe	Apple Iphone 5	Samsung Galaxy S4	Canon İxus 960 Is
Algılayıcı Tipi	CMOS	BSI-CMOS	BSI-CMOS	CCD
Algılayıcı Boyutu	4.54 mm x 3.42 mm	4.54 mm x 3.42 mm	4.69 mm x 3.52 mm	7.44 mm x 5.58 mm
Piksel Boyutu	1.40 µm	1.40 µm	1.14 µm	1.85 µm
Görüntü Formatı	3264x24488 8 Megapiksel	3264x2448 8 Megapiksel	4128x3096 13 Megapiksel	4000x3000 12 Megapiksel
Odak Uzaklığı	4 mm	4 mm	4 mm	8-28 mm

Test alanı için, 60*60 cm boyutlarda ve 4 milimetrelik kalınlığa sahip şeffaf bir cam levha kullanılmıştır. Bu levha üzerine farklı yüksekliklerde 80 adet nokta tesis edilmiştir. Hedef işareti olarak 3 milimetrelik çaplara sahip siyah zemin ortasında beyaz benek şeklinde hedef işaretleri kullanılmıştır. Sabit test alanı noktalarının ölçümü genellikle jeodezik yöntemlerle geçekleştirilirken daha küçük boyutlardaki mobil test alanı noktaları fotogrametrik yöntemle de belirlenebilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada referans noktalarının 3 boyutlu koordinatları, fotogrametrik yöntemle belirlenmiştir. Bu amaçla 10 cm aralıklı ve kesişme noktaları yine siyah zemin ortasında beyaz beneklerden oluşan ve koordinatları bilinen 70x70 cm boyutlarında kâğıt malzeme üzerinde bir grid ağ kullanılmıştır.

Grid ağ şeffaf cam plaka altına yerleştirilerek 14.1 MP çözünürlüğe sahip Canon powershot SX210IS kamerayla farklı konumlardan 25 resim çekilmiştir. Değerlendirme sonunda cisim nokta koordinatlarının ortalama prezisyon değerleri, X doğrultusunda 0.022 mm, Y doğrultusunda 0.022 mm ve Z doğrultusunda da 0.030 mm olarak hesaplanmıştır.

c. Kameraların Karşılaştırılması

Karşılaştırma amacıyla yaklaşık aynı konumlardan test alanının toplam 25 adet resmi her bir kamera ile çekilmiştir. Resim çekim mesafesi yaklaşık 70 cm metre civarındadır. İç yöneltme, dış yöneltme parametreleri ile cisim nokta koordinatları arasındaki korelasyonları önlemek için resimler, 8 farklı konumdan optik eksen etrafında sola ve sağa 90° döndürülerek çekilmiştir. Şekil 2'de Galaxy S4 cep telefonu kamerasına ait resim çekim konumları gösterilmiştir.



Şekil 2. Resim çekim konumları.

Fotogrametrik değerlendirmede endüstriyel fotogrametrik bir yazılım olan Australis 6.06 kullanılmıştır. Yazılım, çok yönlü ve en doğru fotogrametrik konum belirleme ve kalibrasyon yöntemi olan self kalibrasyon demet dengelemesi yöntemini kullanmaktadır. Yöntemin matematiksel modeli doğrusallık koşuluna dayanır. Yazılımda ek parametreler olarak Brown (1971) tarafından önerilen iç yöneltme (xp, yp, c) ve mercek distorsiyonu katsayıları (k1, k2, k3, p1 ve p2) kullanılır. Sayısal fotogrametride kullanım için bu set afin dönüşümün iki ek parametresiyle (resim koordinat eksenlerinin dik olmaması, b1 ve x ekseni doğrultusundaki ölçek faktörü, b2) genişletilmiştir.

Dengeleme sonuçlarının istatistikî değerlendirmesinde farklı ölçütler kullanılmaktadır. Bu ölçütlerden ilki, prezisyon değerleridir. Prezisyon, en küçük kareler dengelemesi ile kestirilen parametrelerin istatistikî değişkenliğini tanımlar. Hesaplanan bilinmeyenlerin standart sapmaları normal denklem matrisinin inversi ve varyans faktöründen aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$\hat{\sigma}_{X_l} = \hat{\sigma}_0\sqrt{X_l X_l}$$
$$\hat{\sigma}_{Y_l} = \hat{\sigma}_0\sqrt{Y_l Y_l} \quad (1)$$
$$\hat{\sigma}_{Z_l} = \hat{\sigma}_0\sqrt{Z_l Z_l}$$

Cisim nokta koordinatlarının ortalama prezisyon değerleri ise

$$\hat{\sigma}_X = \sqrt{\frac{\sum \hat{\sigma}_{X_i}^2}{n_x}}$$
$$\hat{\sigma}_Y = \sqrt{\frac{\sum \hat{\sigma}_{Y_i}^2}{n_Y}} \quad (2)$$
$$\hat{\sigma}_Z = \sqrt{\frac{\sum \hat{\sigma}_{Z_i}^2}{n_Z}}$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Burada; n_X, n_Y ve n_Z, cisim nokta koordinatlarının sayısını göstermektedir (Beyer, 1992).

Bir diğer ölçüt doğruluk ise kestirilen parametrelerin gerçek değerlere ne kadar yakın olduğunu belirler ve ampirik bir ölçüt hassas referans değerlerle karşılaştırılarak,

$$\mu_x = \sqrt{\frac{\sum(X_i^r - X_i)^2}{n_{rX}}}$$
$$\mu_y = \sqrt{\frac{\sum(Y_i^r - Y_i)^2}{n_{rY}}} \quad (3)$$
$$\mu_z = \sqrt{\frac{\sum(Z_i^r - Z_i)^2}{n_{rZ}}}$$

eşitlikleri ile elde edilir. Burada X^r, Y^r ve Z^r denetleme noktalarının referans koordinatlarını, n_{rX}, n_{rY}, n_{rZ}'lerde denetleme nokta koordinatlarının sayısını ifade eder (Beyer, 1992).

Bu karşılaştırma, kolinearite eşitlikleri ile hesaplanan cisim koordinatları ve referans koordinatlarından hesaplanan resim koordinatları kullanılarak resim uzayında da uygulanır;

$$\mu_x = \sqrt{\frac{\sum(x_i^r - x_i)^2}{n_{rX}}}, \quad \mu_y = \sqrt{\frac{\sum(y_i^r - y_i)^2}{n_{rY}}} \quad (4)$$

Burada; x_i, y_i dengelenmiş resim koordinatlarını,

x_i^r, y_i^r; referans koordinatlardan hesaplanan resim koordinatlarını gösterir.

Rölatif doğruluk, deneysel doğruluk değerlerinin (μ_X, μ_Y, μ_Z) karşılık gelen doğrultudaki cisim boyutuna bölünmesiyle elde edilir. Resim koordinat düzeltmelerinin karesel ortalama hatası değeri ve soncul varyans faktörü geniş ölçüde kullanılan prezisyon göstergeleridir. Rölatif doğruluk ve resim uzayındaki deneysel doğruluk ölçütleri (μ_x, μ_y) ise genel doğruluk ölçütleridir. Çünkü bu ölçütler çok büyük oranda resim ölçeği ve cismin boyutlarından bağımsızdır. Cisim uzayındaki prezisyon ve doğruluk değerleri cisim noktalarının dağılımından ve resimlerin dizilişinden etkilenebilirler (Beyer, 1992).

Demet dengelemesinde, 3 boyutlu koordinatları bilinen toplam 80 test alanı noktasından 10'u kontrol noktası olarak kullanılmış ve geriye kalan noktaların (denetleme noktalarının) 3 boyutlu koordinatları hesaplatılmıştır. Ayrıca kullanılan ek parametrelerin doğruluk üzerindeki etkilerini görebilmek için sırasıyla ek parametreler kullanılmadan, 4 parametreli ve 6 parametreli çözümler gerçekleştirilmiştir. 4 ek parametrenin kullanıldığı çözümde, asal noktanın konumu, asal uzaklık ve diferansiyel ölçek (x_p, y_p, c *ve* b_2) kullanılırken 6 parametreli çözümde bu parametrelere ek olarak resim koordinat eksenlerinin dik olmaması ve radyal distorsiyonunun ilk katsayısı da (x_p, y_p, c b_1, b_2 *ve* k_1) kullanılmıştır.

Her bir kamera için self kalibrasyon demet dengelemesinin sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. 4 ek parametrenin kullanıldığı çözümlerde resim uzayındaki doğrulukta ek parametrelerin kullanılmadığı çözüme göre ortalama 5 kat iyileşmeler olmuştur. 6 ek parametrenin kullanıldığı çözümlerde resim uzayındaki doğrulukta 4 parametreli çözüme göre ortalama 2 kat, ek parametrelerin kullanılmadığı çözüme göre ortalama 9 kat iyileşmeler olduğu görülmüştür.10 parametreli çözüm 6 parametreli çözümle karşılaştırıldığında resim uzayındaki doğrulukta ortalama 1.6 kat artış olmuştur.

10 parametreli çözümde resim koordinat düzeltmelerinin karesel ortalama hata değerleri için yapılan değerlendirmede en iyi sonuç Galaxy S4 cep telefonu kamerası için 0.27 µm olarak elde edilirken en kaba sonuç Htc Sensation telefon kamerası için 1.05 µm olarak hesaplanmıştır. Rölatif doğruluk değerlendirmesinde yatayda en iyi sonuç, 1:25000 oranında yine Galaxy s4 cep telefonu kamerasından elde edilmiştir. Yatayda en kaba değer, Htc Sensation cep telefonu kamerası için 1:6000 oranında hesaplanmıştır. Düşey boyuttaki rölatif değerlendirmede en iyi değer

Galaxy S4 telefon kamerası için %0.004 olarak elde edilirken en kaba değer Htc Sensation telefon kamerası için %0.19 olarak hesaplanmıştır. Teorik prezisyon değerlerinin değerlendirilmesinde yine en iyi değerler Galaxy S4 cep telefonu kamerası için elde edilmiştir. Değerlendirme sonuçlarından ampirik ve teorik ölçütler arasında farklar olduğu görülmektedir. Bu farklara bütün sistematik etkilerin modellenememesi veya doğruluğu kısıtlayan başka faktörlerin sebep olduğu düşünülmektedir.

Tablo 2. Dengeleme Sonuçları.

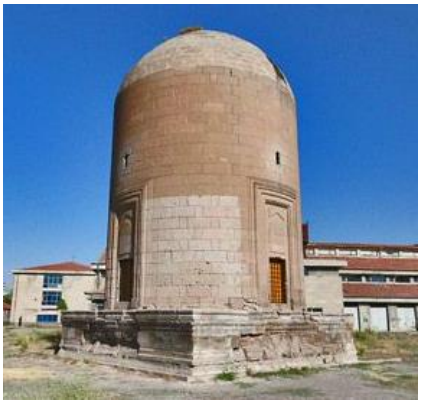
Kamera	ykns	eps	dns	f	sigma0 µm piksel	$\hat{\sigma}_X$ ykn mm dn mm	$\hat{\sigma}_Y$ ykn mm dn mm	$\hat{\sigma}_Z$ ykn mm dn mm	μ_X ykn mm dn mm	μ_Y ykn mm dn mm	μ_Z ykn mm dn mm
Apple Iphone 5	10	0	70	2902	4.76	0.166	0.166	0.224	0.211	0.158	0.437
					3.42	**0.232**	**0.231**	**0.373**	**0.541**	**0.542**	**1.198**
	10	4	70	2871	1.69	0.060	0.060	0.081	0.163	0.138	0.179
					1.21	**0.082**	**0.082**	**0.130**	**0.489**	**0.483**	**0.333**
	10	6	70	2762	0.59	0.021	0.021	0.029	0.062	0.063	0.079
					0.42	**0.031**	**0.031**	**0.049**	**0.084**	**0.058**	**0.089**
	10	10	70	2874	0.53	0.019	0.019	0.026	0.011	0.028	0.030
					0.38	**0.027**	**0.027**	**0.042**	**0.055**	**0.038**	**0.079**
Htc Sensation	10	0	70	3166	12.03	0.417	0.418	0.577	0.340	0.318	0.696
					8.59	**0.585**	**0.582**	**1.000**	**1.249**	**1.262**	**2.601**
	10	4	70	3198	1.93	0.065	0.066	0.091	0.056	0.068	0.065
					1.38	**0.091**	**0.091**	**0.152**	**0.306**	**0.276**	**0.193**
	10	6	70	3166	1.71	0.059	0.059	0.081	0.109	0.117	0.084
					1.22	**0.083**	**0.083**	**0.138**	**0.179**	**0.193**	**0.203**
	10	10	70	2932	1.05	0.037	0.037	0.050	0.040	0.045	0.047
					0.75	**0.054**	**0.054**	**0.088**	**0.107**	**0.107**	**0.135**
Samsung Galaxy S4	10	0	70	3380	6.43	0.229	0.230	0.301	0.213	0.174	0.441
					5.64	**0.315**	**0.318**	**0.436**	**0.512**	**0.837**	**1.242**
	10	4	70	3472	1.43	0.048	0.048	0.064	0.092	0.090	0.109
					1.25	**0.067**	**0.068**	**0.092**	**0.290**	**0.285**	**0.266**
	10	6	70	3081	0.57	0.021	0.022	0.029	0.021	0.024	0.057
					0.50	**0.029**	**0.029**	**0.041**	**0.083**	**0.076**	**0.117**
	10	10	70	3212	0.27	0.009	0.009	0.012	0.012	0.015	0.018
					0.24	**0.013**	**0.013**	**0.018**	**0.026**	**0.022**	**0.031**
CANON Ixus 960 IS	10		70	3196	0.74	0.021	0.021	0.029	0.018	0.037	0.024
					0.40	**0.023**	**0.023**	**0.032**	**0.066**	**0.053**	**0.048**

ykns :Yer kontrol noktası sayısı
eps :Ek parametre sayısı
dns :Denetleme noktası sayısı
f :Serbestlik derecesi
sigma0 :Resim koordinat düzeltmelerinin karesel ortalama hata değeri
$\hat{\sigma}_X, \hat{\sigma}_Y, \hat{\sigma}_Z$:ykn/dn koordinatlarının ortalama teorik prezisyon değerleri
μ_X, μ_Y, μ_Z :ykn/dn koordinatlarının ampirik doğruluk değerleri

3. 3B MODELLEME

İkinci uygulamada ise, 3B test alanı kullanılarak gerçekleştirilen geometrik doğruluk testlerinde en iyi sonucu veren cep telefonu modeli Galaxy S4 cep telefonu kamerası görüntüleri kullanılarak 8 m yüksekliğinde, 5 m çapında silindir şekilli tarihi bir yapının 3 boyutlu modellemesi gerçekleştirilmiştir.

Gabriel (1954) tarafından 14. yüzyılın ortalarında inşa edildiği ifade edilen tarihi yapı Sırçalı Kümbet olarak bilinmektedir ve günümüzde Kayseri İli Melikgazi İlçesi Talas yolu üzerinde yer alan Kayseri Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi'nin bahçesinde yer almaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Sırçalı Kümbet

a. Jeodezik İşlemler

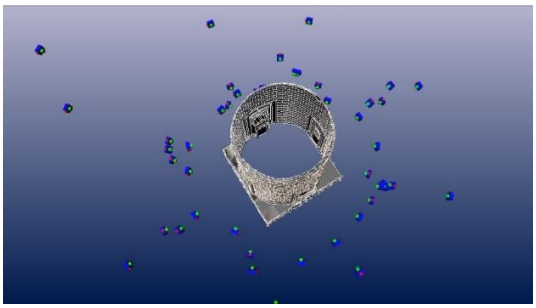
Arazi çalışmasının başında kümbeti çevreleyen, ülke koordinat sistemine dayalı bir poligon ağı şebekesi tesis edilmiştir. 5 adet yer kontrol noktası tesisi yapılmış ve bu noktalar TUSAGA-Aktif sistemi ile koordinatlandırılmıştır. Daha sonra kümbetin üzerine siyah araka plan üzerinde beyaz benek biçiminde toplam 106 adet hedef işareti yapıştırılmıştır (Şekil 4).

Şekil 4. Yapı Üzerindeki Hedef İşaretleri.

Lazerli okuma özelliğine sahip olan Leica TS02 Power 7 total station aleti (Ölçme hassasiyeti: 1,5 mm+2 ppm) ile 5 yer kontrol noktasından bu hedef işaretlerine ve ayrıca kümbetin üst kısımlarında yer alan ve çekilen resimler üzerinde de rahatça görülebilecek belirgin detay noktalarına koordinat okumaları yapılmıştır. Bu şekilde kümbet üzerinde toplamda 130 kontrol noktası belirlenmiştir.

b. Resim Çekimi

Çalışma kapsamında, konverget çekim modunda kümbetin toplam 73 adet resmi çekilmiş ve bunlardan 54 tanesi projede kullanılmıştır. Şekil 5, kümbet ve resim çekim konumlarını göstermektedir. Resim çekim mesafesi yaklaşık 5-20 m aralığındadır. Ortalama çekim mesafesi ise yaklaşık 9 m'dir.



Şekil 5. Resim çekim konumları.

c. Fotogrametrik Değerlendirme

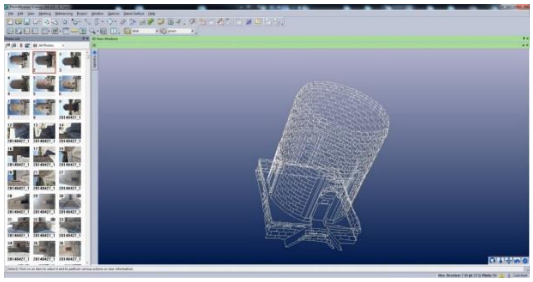
Fotogrametrik değerlendirme, Photomodeler Scaner 2017 yazılımı deneme sürümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulamada 25 kontrol noktası kullanılmış geriye kalan 105 nokta ise fotogrametrik değerlendirmenin doğruluğunu test etmek amacıyla denetleme noktası olarak kabul edilmiştir.

Tüm projede toplam 2816 farklı detay noktası kullanılmış ve her bir resim üzerinde ortalama 144 nokta işaretlenmiştir. Bütün detay noktaları işaretlendikten sonra demet dengelemesine geçilmiş ve dengeleme sonucunda toplam son hata değeri 0.549, resim koordinat ölçmelerine ait tüm düzeltmelerin karesel ortalama hata değeri 0.644 piksel ve en büyük düzeltme değeri 5.03 piksel olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler yazılımın yardım menüsünde bahsedilen sınır değerler içerisindedir.

Fotogrametrik değerlendirmenin doğruluğunu test etmek amacıyla denetleme noktalarının dengeleme sonucunda hesaplanan koordinatlarıyla bilinen koordinat değerleri eşitlik 3

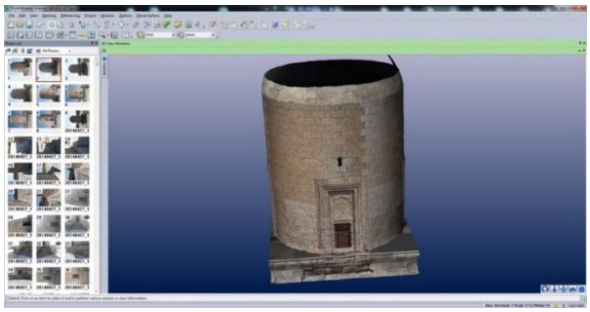
kullanılarak karşılaştırılmış ve X ekseni yönünde 9 mm, y ekseni yönünde 6 ve z ekseni yönünde 4 mm doğruluk değerleri elde edilmiştir.

Değerlendirme sonrası elde edilen üç boyutlu tel kafes modeli Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Tel kafes model.

3 boyutlu modellemenin son işlem aşaması ise doku kaplamadır. Bu amaçla önce kümbet yüzeyine ait toplam 1157 yüzey parçası oluşturulmuş ve resimlerdeki doku (texture) yapısı modele taşınmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Doku kaplaması.

4. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada cep telefonu kamera görüntülerinin fotogrametrik uygulamalarda kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla iki aşamalı bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada 3 cep telefonu kamerası ve bir sayısal kompakt kameranın doğruluk yönünden karşılaştırmaları yapılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda en iyi değerler Galaxy S4 cep telefonu kamerası için elde edilmiştir. Resim uzayındaki doğruluk değeri söz konusu kamera için yaklaşık 1/4 piksel oranında hesaplanmıştır. Diğer kameralar için bu oran 1/1.5-1/3 piksel aralığındadır. Cisim uzayındaki rölatif doğruluk (karesel ortalama hatanın en büyük cisim boyutuna bölümü) değeri Galaxy S4 cep telefonu kamerası için 1:26.000 oranında hesaplanırken Htc Sensation dışındaki diğer iki kamera için 1:12.000 oranında belirlenmiştir. Htc Sensation için bu değer 1:6.000 oranında hesaplanmıştır.

İkinci işlem aşamasında ise kullanılan cep telefonu kameralarından en iyi ampirik doğruluğu veren Galaxy S4 cep telefonu kamerası ile alınan görüntüler kullanılarak Kayseri'de bulunan tarihi Sırçalı Kümbet'in fotogrametrik yöntemle üç boyutlu modellemesi gerçekleştirilmiş ve denetleme noktaları kullanılarak yatayda yaklaşık 7 mm ve düşeyde 4 mm doğruluk değerleri elde edilmiştir. Bir diğer ölçüt olan resim koordinat düzeltmelerinin karesel ortalama hata değeri ise yaklaşık 1/2 piksel oranında hesaplanmıştır.

Uygun hedef işareti içeren cisim noktaları, kalibrasyon ve veri işleme yazılımı performansıyla bu cihazların yaklaşık cisim uzunluğunun 1:26.000 oranında doğruluk gerektiren fotogrametrik uygulamalarda kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca üretilen üç boyutlu model, doğruluk, maliyet ve esneklik yönünden ilginç bir seçenek sunan cep telefonu kameralarının düşük bütçeli dokümantasyon projelerinde kullanılabileceğini göstermiştir. Teknojideki gelişmelere paralel olarak cep telefonu kameraları kalite ve performansının dâhili görüntü işleme işlevleriyle birlikte daha da gelişeceği ve en azından küçük projeler için fotogrametrik veri elde etme ve işleme aracı olarak tek başına kullanılabileceği düşünülmektedir.

K A Y N A K L A R

Agapiou, A., Georgopoulos A., (2006), **Photogrammetric potential of digital cameras in handheld gadgets for digital close range applications**, The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage.

Akca, D., Gruen, A., (2009), **Comparative geometric and radiometric evaluation of mobile phone and still video cameras**. The Photogrammetric Record, 24 (127), 217 – 245.

Beyer, H. A., (1992), **Accurate calibration of CCD-cameras**. In: Proc. International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Urbana Champaign, Ill., June 1992, IEEE CS Press, Piscataway, N.J.

Brown, D.C., (1971), **Close-range Camera calibration**. PE&RS, Vol. 37(8), pp.855-866.

DeChant, L. F., (2012), **Close-range photogrammetry and mobile phone cameras**, DeChant Consulting Services – DCS Inc, Bellevue, Washington.

Gabriel, A., (1954), **Kayseri Türk Anıtları**, (Çev. Ahmet Akif Tütenk).

Gruen, A., Akca, D.,(2008), **Evaluation of metric performance of mobile phone cameras.** International Calibration and Orientation Workshop EuroCOW 2008, Castelldefels, Spain, January 30 - February 1 (only on CD-ROM).

Gruen, A., Akca, D., (2007), **Calibration and accuracy testing of mobile phone cameras**. 28th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS'07), Kuala Lumpur, Malaysia, November 12-16 (only on CD-ROM).

Kim, S., Lee, H., Ahn, D., Seo, S., Park, C. Choi, (2013), **Feasibility of employing a smartphone as the payload in a photogrammetric UAV system** ISPRS J. Photogram. Remote Sens., 79 (2013), pp. 1-18

Noor, A. Azhar, Anuar Ahmad, vd., (2013), **Comparative geometric and radiometric evaluation of mobile phone, compact and DSLR cameras**, Signal Processing and its Applications (CSPA), IEEE 9th International Colloquium

URL-1
<https://en.wikipedia.org/wiki/Camera_phone> Erişim Tarihi: 10.03.2016.

URL-2
https://en.wikipedia.org/wiki/Camera_phone Erişim Tarihi: 10.03.2016

YAZIM ESASLARI

1. Harita Dergisinde Yayımlanabilecek Yazılar

a. Haritacılık bilim dalları (Jeodezi, fotogrametri, kartografya, astronomi, jeofizik, kamu ölçmeleri ve mühendislik ölçmeleri) ve haritacılık ile ilgili diğer disiplinlerde (yerbilimleri, uzay teknolojileri, temel bilimler vb.) alanlarda olmak üzere, bir araştırma çalışmasını bulgu ve sonuçlarıyla yansıtan orijinal bilimsel makaleler; yeterli sayıda bilimsel makaleyi tarayarak, konuyu bugünkü bilgi düzeyinde özetleyen, değerlendirme yapan, bulguları karşılaştırarak eleştiren bilimsel derleme yazılar; orijinalliği ve bilimsel değeri bakımından çok önemli yabancı dilden çeviri bilimsel makaleler Harita Dergisi'nde yayımlanabilir.

b. Harita Genel Komutanlığı tarafından yılda iki kez (Ocak-Temmuz) yayımlanan hakemli bir dergidir. Yayımlanan yazılardaki fikirler yazarlarına aittir. Harita Genel Komutanlığını ve dergiyi sorumlu kılmaz. Dergideki yazı ve resimlerin her hakkı saklıdır.

c. Harita Dergisinde yayımlanmak üzere gönderilen yazılar, değerlendirme ve seçme işlemine esas olmak üzere, konularında uzman en az üç Bilim Kurulu Üyesi tarafından incelenir. Bilim Kurulunca "yetersiz" bulunan yazılar, dergide yayımlanmaz.

2. Harita Dergisine Yazı Hazırlama Esasları

a. Sayfa büyüklüğü A4 (210x297 mm) standardında olmalı; her sayfanın sağ kenarından 2 cm diğer kenarlarından 3'er cm boşluk bırakılmalıdır. Yazı toplam 15 sayfayı geçmemelidir. Yazı, bilgisayarda Microsoft Word formatında Arial Türkçe fontu bir satır aralığı ile yazılmalıdır.

b. Makale adı, Türkçe ve İngilizce olarak kelimelerin ilk harfleri büyük olacak şekilde 12 punto büyüklüğünde sayfanın üst ortasına gelecek şekilde yazılmalı ve iki satırı geçmemelidir. Makale adı, makale içeriğini en fazla ölçüde yansıtmalı; makale içeriğinde anlatılan konuların büyük çoğunluğu, makale adı ile doğrudan ilgili olmalıdır. Makale adından sonra bir satır boşluk bırakıp ortalayarak yazar adı ve soyadı koyu (bold) ve 10 punto harf büyüklüğünde yazılmalıdır (Soyadı büyük harflerle). Yazar adının altına ortalayarak adres ve elektronik posta adresi 9 punto harf büyüklüğünde yazılır.

c. Yazı; Öz, Anahtar Kelime, Abstract (İngilizce özet), Key Words (İngilizce anahtar kelimeler), Giriş, Bölümler, Sonuç ve Kaynaklar şeklindeki ana bölümlerden oluşur. Bu bölümlerin tamamı sayfada iki sütün olacak şekilde yazılır. Sütunlar arasında 0,5 cm boşluk bırakılır. Her ana bölüm ve alt bölüm başlığı öncesi ve sonrası bir satır boşluk bırakılır.

Öz bölümünde, yapılan çalışma tanıtılarak kullanılan yöntemler ve sonuçlar kısaca belirtilmeli; abstract bölümü, özün doğru ve eksiksiz tercümesini içermelidir. Giriş bölümünde, çalışmanın amacı ve konuyla ilgili diğer çalışmalar anlatılmalıdır. Ara bölümlerde, kullanılan yöntemler ve veriler açıklanmalı; sonuç bölümünde, bulgular başka araştırmacıların bulguları ile karşılaştırılmalı, yazarın yorumu belirtilmeli ve ayrıca bulgulardan çıkan sonuçlar ve varsa öneriler yazılmalıdır. Öz, abstact, anahtar kelimeler ve key words, 9 punto büyüklüğünde italik harflerle yazılmalıdır. Diğer bölümler 10 punto harf büyüklüğünde normal yazılır.

Ana bölüm başlıkları büyük harflerle koyu (bold) olarak ve alt bölümlerin başlıkları kelimelerin ilk harfleri büyük diğerleri küçük ve sadece birinci düzey alt bölümlerin başlıkları koyu (bold) olarak yazılmalıdır. Yazının geri kalan kısmı normal baskıda yazılmalı, italik ya da altı çizgili karakterler kullanılmamalıdır. Öz, Anahtar Kelime, Abstract (ingilizce özet), Key Words (İngilizce anahtar kelimeler) ve kaynaklar ana bölümleri dışındaki ana bölüm başlıkları 1., 2., 3.; alt bölüm başlıkları a., b., c.; (1), (2), (3); (a), (b), (c); (ı), (ıı), (ııı); (aa), (bb), (cc) şeklinde hiyerarşik düzeyde numaralandırılmalı; ardışık düzeylerin numaraları arasındaki dikey fark 0.5 cm olmalıdır. Numaralandırılan bölümlerin başlıkları, numaralarının başlangıç hizasından 0.5 cm içeriden; bir alt satıra devam eden bölüm başlıkları sayfa başından; tüm paragraflar sayfanın 0.5 cm içerisinden başlamalıdır.

Noktalama ve imlâ için Türk Dil Kurumu tarafından en son yayımlanan İmlâ Kılavuzu ve Türkçe sözlüğüne, Haritacılık ile ilgili Yönetmeliklerde kullanılan deyimlere uyulmalıdır. İfadelerde üçüncü şahıs kullanılmalı; her sembol ilk geçtiği yerde tanımlanmalı; her kısaltma ilk geçtiği yerde parantez içinde yazılmalı (örneğin, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)); kelime ikiye bölünmemelidir. Noktalama işaretlerinden sonra bir karakter boşluk bırakılmalı; sayfa numaralama yapılmamalıdır.

ç. Tablo isimleri, tablonun üstüne sol üst köşesinden itibaren yazılmalı (örneğin, Tablo 1. Karesel ortalama hatalar.); şekil isimleri, şeklin altına ortalanarak yazılmalı (örneğin, Şekil 1. CBS tasarımı.); tablo isimlerinden ve şekillerden önce, şekil isimlerinden ve tablolardan sonra bir satır boşluk bırakılmalı; tablolar ve şekiller sayfaya ortalanmalıdır. Tablolar ve şekillerin boyutu tek sütundan büyük olduğu durumlarda, sayfanın tamamına ortalı olarak yazılabilir.

d. Denklemlere verilen numaralar, kendi hizalarına ve sayfa sağ kenarına çakışacak şekilde parantez içinde (1),(2),(3),… şeklinde yazılmalıdır. Metin içerisindeki denklemlerin kendi aralarında ve metin ile aralarında bir satır boşluk bırakılır.

e. Kaynaklardan yapılan alıntılar, metin içinde geçtikleri her yerde, kaynak hakkında ( ) parantez içinde bilgi verilir. Parantez içine yazılacak bilgiler sırası ile kaynağı kaleme alan yazarın soyadı, yazarın ilk adı/adlarının baş harfleri ve kaynağın basım tarihidir (Yılmaz, 1997), birden fazla yazar için (Arpat, vd., 1975). Kaynaklar sıralanırken numaralandırma yapılmaz ve kaynaklar arası bir satır boşluk bulunur. Öz ve abstract bölümlerinde kaynak atıfı yapılmamalıdır.

f. Kaynaklar ana bölümü başlığı birer aralıklı büyük harflerle koyu (bold) ve sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Kaynaklar yazar soyadına göre alfabetik sırada sıralanır. Aynı yazarın birden fazla yayını varsa önce yeni tarihli kaynaktan başlanır. Kaynaklar sayfasında yazarın soyadı ve adı 0,5 cm. asılı olarak sol taraftan başlayarak yazılır. Basım tarihi, yazar isminden hemen sonra gelir, parantez içerisinde ve sadece yıl olarak yazılır. Kitap veya yayının ismi koyu harflerle yazılır. Yabancı yazarların isimleri belirtilirken Latin imlâ kurallarına uyulur. (Örneğin; MİTTAG yerine MITTAG). İnternetten alınan kaynakların gösteriminde web adresinden sonra mutlaka kaynağın bu adresten alındığı tarih yazılır.

g. Makaleler, “MAKALE ÖRNEĞİ”nde sunulan boşluk ve yapılandırmalara uyularak; Şekil, Tablo ve Denklemler tek sütunda olacak ise metin aralarına konularak; iki sütuna yayılan bir bütün halindeki metin bloğundan sonra veya önce sayfanın alt veya üstünde olacak ve okuma akıcılığını bozmayacak şekilde yazılır.

3. Makalelerin Gönderilmesi

Makaleler, “haritadergisi@hgk.msb.gov.tr” adresine e-posta ile gönderilir.

(MAKALE ÖRNEĞİ)

Xxxxxxxx Xxxxxxxxx Xxxxxx (Makale Başlığı-Türkçe)

(Xxxxxx Xxxxxxxxx Xxx) (Makale Başlığı- İngilizce)

(1 satır boşluk)

Xxxx XXXX (Yazar ismi)
Xxxxx Xxxx Xxxx, Xxxxx Xxxxx (Adres)
xxxxxxxx@xxxxxx (e-posta)

(1 satır boşluk)

0.5 cm
0.5 cm
0.5 cm
0.5 cm

ÖZ

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxx xxxxx xxxxx xxxxxxxxxxx; xxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxx.

(1 satır boşluk)

***Anahtar Kelimeler**: xxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx*

(1 satır boşluk)

ABSTRACT

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxx xxxxxxx xx xxxxxxxxxxxxx. Xxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxx xxxx xxxx.

(1 satır boşluk)

***Keywords**: xxxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxx xxxxx.*

(1 satır boşluk)

3 cm

0.5 cm

2 cm

1. GİRİŞ

(1 satır boşluk)

Xxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxx xx xxxx xxxxxx /1/.

(1 satır boşluk)

a. Xxxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxxx xxxx xxxxxx xxxxx xxxx xxxx

(1 nci düzey alt bölüm)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxx

(1) Xxxxxx Xxx Xxxx Xxxxxxxxx Xxxxxxx Xxxx Xxxxx Xxxxx Xxxx.

(2 nci düzey alt bölüm)

(1 satır boşluk)

2. XXXXX XXXXX XXXX (Ana bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

a. Xxxxxxxxxxx Xxxxxx Xxxxx Xxxxxxxx Xxxxxxxx

(1 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxx xxx xxxxxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx.

(1 nci düzey alt bölüm 1 inci paragraf)

(1 satır boşluk)

(1) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx Xxxxxxx Xxxxxx Xxxxxxxx

(2 nci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxx.

(2 nci düzey alt bölüm 1 nci paragraf)

(1 satır boşluk)

(a) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx

(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxx xxxxx xxxxxx xxxxx xxxxxx xxxx xxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxx xxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxxxxxxx.

(1 satır boşluk)

(b) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx

(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxxxxxxx.

(1 satır boşluk)

(I) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx xxxxx xxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx

(4 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxx

(1 satır boşluk)

(aa) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxxxx

(5 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx.

(1 satır boşluk)

b. Xxxxxxxxxx Xxxxxx

(1 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxx xxx xxxxxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx.

(1 nci düzey alt bölüm 1 inci paragraf)

(MAKALE ÖRNEĞİ)

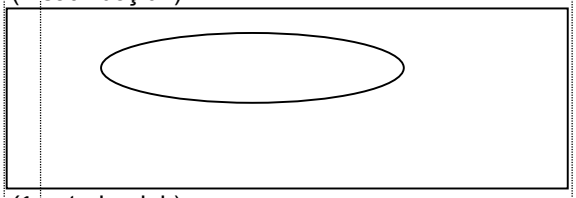
(1) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxxxxxxxx.
(2 nci düzey alt bölüm başlığı)
(1 satır boşluk)
Xxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xXxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx.
(2 nci düzey alt bölüm 1 nci paragraf)
(1 satır boşluk)

(a) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx
(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)
(1 satır boşluk)
Xxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx x xxxxxxxxxxxxxxx.
(1 satır boşluk)
(b) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx
(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)
(1 satır boşluk)
Xxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxx xxxxxxxxxx x xxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxx.
(1 satır boşluk)
(I) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx
(4 üncü düzey alt bölüm başlığı)
(1 satır boşluk)
Xxxx xxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxx xxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxxxxx xxx xxxx.
(1 satır boşluk)

Tablo 1. Xxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxx
(1 satır boşluk)
Xxxxxxx xxxxx xxxx xxxxx xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx xxx xxxxx xxxxx xxxxxx.
(1 satır boşluk)

$$KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i - x_{i(RASAT)}}{n}} \quad (1)$$

(1 satır boşluk)
Xxxxxxx xxxxx xxxx xxxxx xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx xxx xxxxx xxxxx .
(1 satır boşluk)



(1 satır boşluk)
Şekil 1. Xxxxxx xxxx xxxxxxxx xxxxxx
(1 satır boşluk)
Xxxxxxx xxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxx xxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxx xxxx xx xxxxx xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxx xxxx.
(1 satır boşluk)

3. SONUÇ

(1 satır boşluk)
Xxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxx xxx xxxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxx xxxxx.
(1 satır boşluk)

K A Y N A K L A R

(1 satır boşluk)
Soyad, A., Dergi Basım Yılı, Bildiri Adı, Dergi Adı, Cilt:16, Sayı: 116, Sayfa Aralığı.
(1 satır boşluk)
Soyad1, A., Soyad2, B., Kitap Basım Yılı, Kitap Adı, Yayımcı Adı, Yayım Yeri, ISBN: xxxxxxx.
(1 satır boşluk)
URL-1 : http://xxxxxxxxxxxxxxxxxxx.xxx
Erişim Tarihi.

TASNİF DIŞI BASILI HARİTALAR

SIRA. NO.	ÖLÇEK	CİNSİ	BOYUT (cmxcm)	BASKI TARİHİ	ÖZELLİKLERİ	FİYATI (TL)
1	1/250.000	TÜRKİYE KARA (JOG-G) TOPOĞRAFİK	70x55	Muhtelif	PAFTA	20,00
2	1/250.000	TÜRKİYE HAVA (JOG-A) TOPOĞRAFİK	70x55	Muhtelif	PAFTA	20,00
3	1/250.000	TÜRKİYE ALÇAK İRTİFA ÖZEL HAVA (TFC) TOPOĞRAFİK	70x55	Muhtelif	PAFTA	20,00
4	1/500.000	TÜRKİYE KARA (1404 SERİSİ) TOPOĞRAFİK	70x60	Muhtelif	PAFTA	21,00
5	1/500.000	TÜRKİYE ÖZEL HAVA HARİTASI	70x60	Muhtelif	PAFTA	21,00
6	1/1.000.000	TÜRKİYE MÜLKİ İDARE BÖLÜMLERİ	177x91	2016	3 PARÇA	13,00
7	1/1.000.000	TÜRKİYE FİZİKİ	177x91	2016	3 PARÇA	13,00
8	1/1.850.000	TÜRKİYE MÜLKİ İDARE BÖLÜMLERİ	96x52	2016	TEK PARÇA	9,50
9	1/1.850.000	TÜRKİYE FİZİKİ	96x52	2016	TEK PARÇA	9,50
10	1/1.800.000	TÜRKİYE COĞRAFİ BÖLGELER FİZİKİ	97x50	2011	TEK PARÇA	8,50
11	1/1.800.000	TÜRKİYE KARAYOLLARI	96x52	2017	TEK PARÇA	9,50
12	1/3.500.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER SİYASİ	192x132	2010	4 PARÇA	13,50
13	1/3.500.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	192x132	2010	4 PARÇA	13,50
14	1/3.000.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	224x96	2009	4 PARÇA	15,50
15	1/20.000.000	DÜNYA FİZİKİ	204x96	2017	3 PARÇA	19,50
16	1/30.000.000	DÜNYA SİYASİ	137x90	2015	2 PARÇA	17,50
17	1/30.000.000	DÜNYA FİZİKİ	140x75	2015	2 PARÇA	17,50
18	1/42.500.000	DÜNYA SİYASİ	82x49	2011	TEK PARÇA	9,50
19	1/42.500.000	DÜNYA FİZİKİ	82x49	2011	TEK PARÇA	9,50
20	1/9.000.000	AVRUPA SİYASİ	75x56	2013	TEK PARÇA	11,50
21	1/9.000.000	AVRUPA FİZİKİ	75x56	2013	TEK PARÇA	11,50
22	1/12.000.000	AFRİKA-AVRUPA SİYASİ	70x100	2015	TEK PARÇA	13,00
23	1/12.000.000	AFRİKA-AVRUPA FİZİKİ	70x100	2015	TEK PARÇA	13,00
24	1/1.800.000	ORTADOĞU SİYASİ	111x77	2015	2 PARÇA	14,50
25	1/1.800.000	ORTADOĞU FİZİKİ	111x77	2015	2 PARÇA	14,50
26	1/5.000.000	ARAP YARIMADASI SİYASİ	58x72	2017	TEK PARÇA	11,50
27	1/5.000.000	ARAP YARIMADASI FİZİKİ	58x72	2017	TEK PARÇA	11,50
28	1/6.000.000	BAĞIMSIZ TÜRK CUMHURİYETLERİ SİYASİ	134x90	2017	İKİ PARÇA	14,50
29	1/6.000.000	BAĞIMSIZ TÜRK CUMHURİYETLERİ FİZİKİ	134x90	2017	İKİ PARÇA	14,50
30	1/1.500.000	KAFKASLAR SİYASİ	98x68	2016	TEK PARÇA	17,50
31	1/1.500.000	KAFKASLAR FİZİKİ	98x68	2016	TEK PARÇA	17,50
32	1/2.200.000	BALKANLAR SİYASİ	70x85	2015	TEK PARÇA	9,50
33	1/2.200.000	BALKANLAR FİZİKİ	70x85	2015	TEK PARÇA	9,50
34	1/1.000.000	LÜBNAN VE SURİYE SİYASİ	87x60	2013	TEK PARÇA	11,00
35	1/1.000.000	LÜBNAN VE SURİYE FİZİKİ	87x60	2013	TEK PARÇA	11,00
36	1/1.800.000	SURİYE-IRAK SİYASİ	78x58	2015	TEK PARÇA	9,50
37	1/1.800.000	SURİYE-IRAK FİZİKİ	78x58	2015	TEK PARÇA	9,50
38	1/1.500.000	IRAK SİYASİ	70x75	2015	TEK PARÇA	9,50
39	1/1.500.000	IRAK FİZİKİ	70x75	2015	TEK PARÇA	9,50
40	1/2.750.000	İRAN SİYASİ	80x70	2015	TEK PARÇA	9,50
41	1/2.750.000	İRAN FİZİKİ	80x70	2015	TEK PARÇA	9,50
42	1/2.500.000	AFGANİSTAN SİYASİ	68x46	2012	TEK PARÇA	16,00
43	1/2.500.000	AFGANİSTAN FİZİKİ	68x46	2012	TEK PARÇA	16,00

(www.hgk.msb.gov.tr/urunler)

SIRA NO.	ÖLÇEK	CİNSİ	BOYUT (cmxcm)	BASKI TARİHİ	ÖZELLİKLERİ	FİYATI (TL)
44	1/750.000	AZERBAYCAN SİYASİ[1]	80x60	2017	TEK PARÇA	8,50
45	1/750.000	AZERBAYCAN FİZİKİ[1]	80x60	2017	TEK PARÇA	8,50
46	1/300.000	KIBRIS ADASI SİYASİ	80x50	2017	TEK PARÇA	6,50
47	1/300.000	KIBRIS ADASI FİZİKİ	80x50	2017	TEK PARÇA	6,50
48	1/800.000	BOSNA-HERSEK VE KOSOVA SİYASİ	74x54	2012	TEK PARÇA	16,00
49	1/800.000	BOSNA-HERSEK VE KOSOVA FİZİKİ	74x54	2012	TEK PARÇA	16,00
50	1/3.000.000	OSMANLI İMPARATORLUĞU	190x131	1993	4 PARÇA	11,00
51	1/12.000.000	OSMANLI İMPARATORLUĞU	95x65	1993	TEK PARÇA	5,00
52	1/50.000	ÇANAKKALE MUHAREBELERİ	62x93	2016	TEK PARÇA	13,00
53	1/200.000	BİRİNCİ DÜNYA HARBİNDE SARIKAMIŞ HAREKÂTI	92x58	2015	TEK PARÇA	13,00
54	1/120.000	SAKARYA MEYDAN MUHAREBESİ 1.GÜN	70x93	2017	TEK PARÇA	13,00
55	1/120.000	22 GÜN 22 GECE SÜREN SAKARYA MEYDAN MUHAREBESİ	70x93	2017	TEK PARÇA	13,00

[1] Üretimini müteakip satışa sunulacaktır.

TASNİF DIŞI PLASTİK KABARTMA HARİTALAR

SIRA NO.	ÖLÇEK	CİNSİ	BOYUT (cm x cm)	ÜRETİM TARİHİ	ÖZELLİKLERİ	FİYATI (TL)
1	1/250.000	TÜRKİYE KARA (JOG SERİSİ) TOPOĞRAFİK	65x61	Muhtelif	PAFTA	75,50
2	1/1.000.000	TÜRKİYE FİZİKİ	177x94	2014	3 PARÇA	233,50
3	1/1.850.000	TÜRKİYE FİZİKİ	96x52	2016	TEK PARÇA	50,00
4	1/3.500.000	TÜRKİYE FİZİKİ	63x34	2016	TEK PARÇA	17,00
5	1/8.000.000	TÜRKİYE FİZİKİ	24x15	2016	TEK PARÇA	5,50
6	1/1.000.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	357x223	2017	16 PARÇA	1211,00
7	1/3.000.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	224x96	2009	4 PARÇA	303,50
8	1/4.250.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	162x113	2011	4 PARÇA	303,50
9	1/20.000.000	DÜNYA FİZİKİ	204x96	2017	4 PARÇA	303,50
10	1/14.000.000	AFRİKA-AVRUPA FİZİKİ HARİTASI	58x91	2015	TEK PARÇA	71,50
11	1/1.800.000	ORTADOĞU FİZİKİ	116x82	2016	2 PARÇA	151,00
12	1/5.000.000	ARAP YARIMADASI FİZİKİ[1]	58x72	2017	TEK PARÇA	34,50
13	1/7.000.000	BAĞIMSIZ TÜRK CUMHURİYETLERİ FİZİKİ[1]	115x77	2017	İKİ PARÇA	151,00
14	1/2.000.000	KAFKASLAR FİZİKİ	77x54	2010	TEK PARÇA	34,50
15	1/2.700.000	BALKANLAR FİZİKİ	60x70	2015	TEK PARÇA	34,50
16	1/750.000	AZERBAYCAN FİZİKİ[1]	80x60	2017	TEK PARÇA	34,50
17	1/300.000	KIBRIS ADASI FİZİKİ[1]	80x50	2017	TEK PARÇA	34,50
18	1/200.000	BİRİNCİ DÜNYA HARBİNDE SARIKAMIŞ HAREKÂTI	95x61	2015	TEK PARÇA	42,00
19	1/150.000	SAKARYA MEYDAN MUHAREBESİ 1.GÜN	61x89	2017	TEK PARÇA	42,00
20	1/150.000	22 GÜN 22 GECE SÜREN SAKARYA MEYDAN MUHAREBESİ	61x89	2017	TEK PARÇA	42,00
21	1/50.000	ÇANAKKALE MUHAREBELERİ	64x96	2016	TEK PARÇA	42,00
22	1/850.000	ÇANAKKALE KARTPOSTALI	25x16	2015	TEK PARÇA	5,50

[1] Üretimini müteakip satışa sunulacaktır.

HARİTA İNCELEME

ÖLÇEK	CİNSİ	SÜRE	FİYATI (TL/SAAT)
Muhtelif	a. Basılı ve sayısal her tür harita, b. Küre, c. İçerisinde Kent Planı, Harita ve Plan ihtiva eden Broşür, Atlas ve Dokümanlar.	1 Saat	50,00

(1) Açıklamalar:

(a) DVD, CD-ROM, disket vb. gibi sayısal ortamdaki incelemeler için, bu materyaller ile birlikte, incelenecek harita ve harita bilgisi ihtiva eden bölümlerinden, Harita Genel Komutanlığınca talep edilmesi halinde, istek sahibi tarafından üç suret renkli kâğıt çıktı gönderilir.

(b) Yurt içinde üretilecek veya yurt dışından ithal edilecek harita, atlas, küre ve benzeri doküman için, evsafına göre, içinde bulunulan yıl için geçerli olan Harita ve Harita Bilgileri Satış ve Kullanım Bedelleri Fiyat Listesi'nden yararlanarak hesaplanacak inceleme bedeli, ilgili kuruluştan talep edilir.

(c) Harita inceleme, ülke menfaatlerine aykırı olabilecek coğrafi isimler ve ülke sınırlarının kontrolü amacıyla yapılmakta/yaptırılmakta ve farklı uzmanlık alanları gerektirebilmektedir. Haritalarda, Harita Genel Komutanlığının uzmanlık alanı dışında yabancı kökenli isimler ve gösterimlerin kullanılması veya tarihi sınırların gösterilmesi vb. tematik haritalar söz konusu olduğunda, bu haritalar Harita Genel Komutanlığınca ve bedeli karşılığında ilgili kurum/kurumlara incelettirilir ve inceleyen kurum tarafından talep edilen bedel, inceleten kurum kuruluş veya gerçek ve tüzel kişiden talep edilir.

(ç) Basım ve ithal uygunluk onayı istenen her ürün için inceleme bedeli, inceleme memurunun ürünü inceleme için harcadığı saat esas alınarak hesaplanır. İnceleme 1 (bir) saatten az sürmesi halinde asgari 1 (bir) saat olarak alınır.

TASNİF DIŞI TOPOĞRAFİK RASTER HARİTALAR

SIRA NO.	ÖLÇEK	CİNSİ	BİRİMİ	İZDÜŞÜM (PROJEKSİYON)	DATUM	FORMAT	FİYATI (TL)
1	1/250.000	TÜRKİYE KARA (JOG-G)TOPOĞRAFİK	PAFTA	UTM(1) Coğrafi(2)	WGS-84	GEOTIFF	20,00
2	1/250.000	TÜRKİYE HAVA (JOG-A)TOPOĞRAFİK	PAFTA	UTM(1) Coğrafi(2)	WGS-84	GEOTIFF	20,00
3	1/250.000	TÜRKİYE ALÇAK İRTİFA ÖZEL HAVA (TFC) TOPOĞRAFİK	PAFTA	UTM(1) Coğrafi(2)	WGS-84	GEOTIFF	20,00
4	1/500.000	TÜRKİYE KARA (1404 SERİSİ) TOPOĞRAFİK	PAFTA	Lambert(1) Coğrafi(2)	WGS-84	GEOTIFF	21,00
5	1/500.000	TÜRKİYE ÖZEL HAVA HARİTASI	PAFTA	Lambert(1) Coğrafi(2)	WGS-84	GEOTIFF	21,00

(1)Pafta kenar bilgileri (lejant) bulunmaktadır.
(2)Pafta kenar bilgileri (lejant) bulunmamaktadır.

TASNİF DIŞI TEMATİK RASTER HARİTALAR

SIRA NO.	ÖLÇEK	CİNSİ	BİRİMİ	İZDÜŞÜM (PROJEKSİYON)	DATUM	FORMAT	FİYATI (TL)
1	1/1.000.000	TÜRKİYE MÜLKİ İDARE BÖLÜMLERİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,00
2	1/1.000.000	TÜRKİYE FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,00
3	1/1.850.000	TÜRKİYE MÜLKİ İDARE BÖLÜMLERİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
4	1/1.850.000	TÜRKİYE FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
5	1/1.800.000	TÜRKİYE COĞRAFİ BÖLGELER FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	8,50
6	1/1.800.000	TÜRKİYE KARAYOLLARI	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
7	1/3.500.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER SİYASİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,50
8	1/3.500.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,50
9	1/3.000.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	15,50
10	1/20.000.000	DÜNYA FİZİKİ	PAFTA	Plate Carree/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	19,50
11	1/30.000.000	DÜNYA SİYASİ	PAFTA	Robinson	WGS-84	GEOTIFF	17,50
12	1/30.000.000	DÜNYA FİZİKİ	PAFTA	Plate Carree	WGS-84	GEOTIFF	17,50
13	1/42.500.000	DÜNYA SİYASİ	PAFTA	Robinson	-	GEOTIFF	9,50
14	1/42.500.000	DÜNYA FİZİKİ	PAFTA	Robinson	-	GEOTIFF	9,50
15	1/9.000.000	AVRUPA SİYASİ	PAFTA	Azimuthal Equidistant/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	11,50
16	1/9.000.000	AVRUPA FİZİKİ	PAFTA	Azimuthal Equidistant/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	11,50
17	1/12.000.000	AFRİKA-AVRUPA SİYASİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,00
18	1/12.000.000	AFRİKA-AVRUPA FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,00
19	1/1.800.000	ORTADOĞU SİYASİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	14,50
20	1/1.800.000	ORTADOĞU FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	14,50
21	1/5.000.000	ARAP YARIMADASI SİYASİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	11,50
22	1/5.000.000	ARAP YARIMADASI FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	11,50
23	1/6.000.000	BAĞIMSIZ TÜRK CUMHURİYETLERİ SİYASİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	14,50
24	1/6.000.000	BAĞIMSIZ TÜRK CUMHURİYETLERİ FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	14,50
25	1/1.500.000	KAFKASLAR SİYASİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	17,50
26	1/1.500.000	KAFKASLAR FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	17,50
27	1/2.200.000	BALKANLAR SİYASİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
28	1/2.200.000	BALKANLAR FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50

(www.hgk.msb.gov.tr/urunler)

SIRA NO.	ÖLÇEK	CİNSİ	BİRİMİ	İZDÜŞÜM (PROJEKSİYON)	DATUM	FORMAT	FİYATI (TL)
29	1/1.000.000	LÜBNAN VE SURİYE SİYASİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	11,00
30	1/1.000.000	LÜBNAN VE SURİYE FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	11,00
31	1/1.800.000	SURİYE-IRAK SİYASİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
32	1/1.800.000	SURİYE-IRAK FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
33	1/1.500.000	IRAK SİYASİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
34	1/1.500.000	IRAK FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
35	1/2.750.000	İRAN SİYASİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
36	1/2.750.000	İRAN FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	9,50
37	1/2.500.000	AFGANİSTAN SİYASİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	16,00
38	1/2.500.000	AFGANİSTAN FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	16,00
39	1/750.000	AZERBAYCAN SİYASİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	8,50
40	1/750.000	AZERBAYCAN FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	8,50
41	1/300.000	KIBRIS ADASI SİYASİ	PAFTA	UTM / Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	6,50
42	1/300.000	KIBRIS ADASI FİZİKİ	PAFTA	UTM / Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	6,50
43	1/800.000	BOSNA-HERSEK VE KOSOVA SİYASİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	16,00
44	1/800.000	BOSNA-HERSEK VE KOSOVA FİZİKİ	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	16,00
45	1/150.000	TRABZON İLİ SİYASİ	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
46	1/200.000	TRABZON İLİ FİZİKİ	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
47	1/150.000	HATAY İLİ SİYASİ	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
48	1/200.000	HATAY İLİ FİZİKİ	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
49	1/200.000	ELAZIĞ İLİ SİYASİ	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
50	1/250.000	ELAZIĞ İLİ FİZİKİ	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
51	1/450.000	ANKARA İLİ SİYASİ	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
52	1/450.000	ANKARA İLİ FİZİKİ	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
53	1/3.000.000	OSMANLI İMPARATORLUĞU(1)	PAFTA	-	-	TIFF	11,00
54	1/12.000.000	OSMANLI İMPARATORLUĞU(1)	PAFTA	-	-	TIFF	5,00
55	1/120.000	SAKARYA MEYDAN MUHAREBESİ 1.GÜN	PAFTA	UTM / Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,00
56	1/120.000	22 GÜN 22 GECE SÜREN SAKARYA MEYDAN MUHAREBESİ	PAFTA	UTM / Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,00
57	1/200.000	BİRİNCİ DÜNYA HARBİNDE SARIKAMIŞ HAREKÂTI	PAFTA	Lambert/ Coğrafi	WGS-84	GEOTIFF	13,00
58	1/50.000	ÇANAKKALE MUHAREBELERİ(2)	PAFTA	-	-	JPEG	13,00
59	1/850.000	ÇANAKKALE KARTPOSTALI(2)	PAFTA	-	-	JPEG	5,50

(www.hgk.msb.gov.tr/urunler)

SIRA NO.	ÖLÇEK	CİNSİ	BİRİMİ	İZDÜŞÜM (PROJEKSİYON)	DATUM	FORMAT	FİYATI (TL)
60	1/2.200.000	TÜRKİYE MÜLKÎ İDARÎ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
61	1/4.300.000		A3	-	-	JPEG	3,50
62	1/6.250.000		A4	-	-	JPEG	2,50
63	1/2.200.000	TÜRKİYE FİZİKİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
64	1/4.300.000		A3	-	-	JPEG	3,50
65	1/6.250.000		A4	-	-	JPEG	2,50
66	1/42.500.000	DÜNYA SİYASİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
67	1/87.000.000		A3	-	-	JPEG	3,50
68	1/125.000.00		A4	-	-	JPEG	2,50
69	1/50.000.000	DÜNYA FİZİKİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
70	1/110.000.000		A3	-	-	JPEG	3,50
71	1/150.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
72	1/20.000.000	AVRUPA SİYASİ (2),(3)	A3	-	-	JPEG	3,50
73	1/29.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
74	1/20.000.000	AVRUPA FİZİKİ (2),(3)	A3	-	-	JPEG	3,50
75	1/29.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
76	1/14.000.000	AFRİKA-AVRUPA SİYASİ(2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
77	1/30.000.000		A3	-	-	JPEG	3,50
78	1/14.000.000	AFRİKA-AVRUPA FİZİKİ(2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
79	1/30.000.000		A3	-	-	JPEG	3,50
80	1/2.500.000	ORTADOĞU SİYASİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
81	1/5.250.000		A3	-	-	JPEG	3,50
82	1/7.500.000		A4	-	-	JPEG	2,50
83	1/2.500.000	ORTADOĞU FİZİKİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
84	1/5.250.000		A3	-	-	JPEG	3,50
85	1/7.500.000		A4	-	-	JPEG	2,50
86	1/11.000.000	ARAP YARIMADASI SİYASİ(2),(3)	A3	-	-	JPEG	3,50
87	1/16.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
88	1/11.000.000	ARAP YARIMADASI FİZİKİ(2),(3)	A3	-	-	JPEG	3,50
89	1/16.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
90	1/10.000.000	BAĞIMSIZ TÜRK CUMHURİYETLERİ SİYASİ(2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
91	1/20.300.000		A3	-	-	JPEG	3,50
92	1/30.500.000		A4	-	-	JPEG	2,50
93	1/10.000.000	BAĞIMSIZ TÜRK CUMHURİYETLERİ FİZİKİ(2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
94	1/20.300.000		A3	-	-	JPEG	3,50
95	1/30.500.000		A4	-	-	JPEG	2,50
96	1/1.800.000	KAFKASLAR SİYASİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
97	1/4.000.000		A3	-	-	JPEG	3,50
98	1/6.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
99	1/1.800.000	KAFKASLAR FİZİKİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
100	1/4.000.000		A3	-	-	JPEG	3,50
101	1/6.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
102	1/2.600.000	BALKANLAR SİYASİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
103	1/5.500.000		A3	-	-	JPEG	3,50
104	1/7.500.000		A4	-	-	JPEG	2,50
105	1/2.600.000	BALKANLAR FİZİKİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
106	1/5.500.000		A3	-	-	JPEG	3,50
107	1/7.500.000		A4	-	-	JPEG	2,50
108	1/1.100.000	LÜBNAN SURİYE SİYASİ (2),(3)	A1	-	-	JPEG	6,50
109	1/2.300.000		A3	-	-	JPEG	3,50
110	1/3.200.000		A4	-	-	JPEG	2,50

SIRA NO.	ÖLÇEK	CİNSİ	BİRİMİ	İZDÜŞÜM (PROJEKSİYON)	DATUM	FORMAT	FİYATI (TL)
111	1/1.100.000	LÜBNAN SURİYE FİZİKİ [2],[3]	A1	-	-	JPEG	6,50
112	1/2.300.000		A3	-	-	JPEG	3,50
113	1/3.200.000		A4	-	-	JPEG	2,50
114	1/1.800.000	IRAK SİYASİ [2],[3]	A1	-	-	JPEG	6,50
115	1/4.000.000		A3	-	-	JPEG	3,50
116	1/6.250.000		A4	-	-	JPEG	2,50
117	1/1.800.000	IRAK FİZİKİ [2],[3]	A1	-	-	JPEG	6,50
118	1/4.000.000		A3	-	-	JPEG	3,50
119	1/6.250.000		A4	-	-	JPEG	2,50
120	1/4.000.000	SURİYE VE IRAK SİYASİ[2],[3]	A3	-	-	JPEG	3,50
121	1/6.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
122	1/4.000.000	SURİYE VE IRAK FİZİKİ[2],[3]	A3	-	-	JPEG	3,50
123	1/6.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
124	1/3.250.000	İRAN SİYASİ [2],[3]	A1	-	-	JPEG	6,50
125	1/7.250.000		A3	-	-	JPEG	3,50
126	1/11.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
127	1/3.250.000	İRAN FİZİKİ [2],[3]	A1	-	-	JPEG	6,50
128	1/7.250.000		A3	-	-	JPEG	3,50
129	1/11.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
130	1/4.400.000	AFGANİSTAN SİYASİ [2],[3]	A3	-	-	JPEG	3,50
131	1/7.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
132	1/4.400.000	AFGANİSTAN FİZİKİ [2],[3]	A3	-	-	JPEG	3,50
133	1/7.000.000		A4	-	-	JPEG	2,50
134	1/600.000	KIBRIS ADASI SİYASİ [2],[3]	A3	-	-	JPEG	3,50
135	1/900.000		A4	-	-	JPEG	2,50
136	1/600.000	KIBRIS ADASI FİZİKİ [2],[3]	A3	-	-	JPEG	3,50
137	1/900.000		A4	-	-	JPEG	2,50
138	1/1.700.000	BOSNA-HERSEK VE KOSOVA SİYASİ[2],[3]	A3	-	-	JPEG	3,50
139	1/2.500.000		A4	-	-	JPEG	2,50
140	1/1.700.000	BOSNA-HERSEK VE KOSOVA FİZİKİ[2],[3]	A3	-	-	JPEG	3,50
141	1/2.500.000		A4	-	-	JPEG	2,50
142	1/300.000	KATAR SİYASİ[2],[3]	A1	-	-	JPEG	6,50
143	1/220.000	BİRİNCİ DÜNYA HARBİNDE SARIKAMIŞ HAREKÂTI[2],[3]	A1	-	-	JPEG	6,50

[1]Koordinatsızdır.

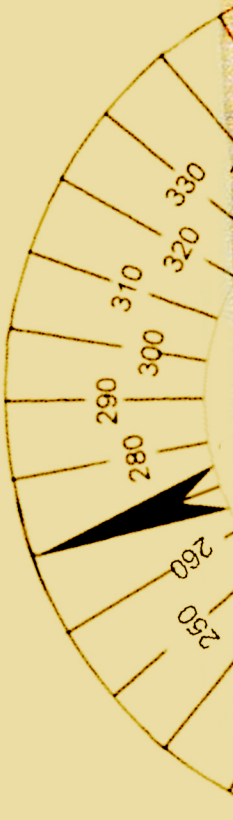
[2]Çeşitli ülkeler ve ticari firmalar tarafından internet sitelerinde ücretsiz kullanıma sunulan haritalarda, kasten veya bilinçsizce yapılan tanımlamalar nedeniyle, millî menfaatlere aykırı hususlarla sıklıkla karşılaşılmaktadır. Bunun önüne geçilebilmesi için Harita Genel Komutanlığınca hazırlanmış olan çeşitli tür ve ölçekte haritalar (bu ürün dâhil), kullanımın yaygınlaştırılması amacıyla, yerli ve yabancı kullanıcıların kolayca erişebilecekleri şekilde sayfamızda ücretsiz olarak sunulmaktadır. Telif hakları Hrt.Gn.K.lığında saklı kalmak kaydıyla; haritaların isteyen her kullanıcı tarafından ticari faaliyetler dışında serbest kullanımı ve dağıtımı yapılabilir. Yukarıda belirtilen bedeller ürünlerin satış fiyatı olmayıp, ticarî kullanım söz konusu olduğunda telif ve iktibas bedelinin belirlenmesine esas olacak bedellerdir.

[3]Bu haritalardan yanında A1 yazanlar A1 kâğıt ebadında, A3 yazanlar A3 kâğıt ebadında, A4 yazılı olanlar A4 kâğıt ebadında çıktı alacak şekilde düzenlenmiştir.

(2) Açıklamalar:

(a) Sayısal coğrafi bilgiler, tabloda belirtilen özelliklerde (projeksiyon sistemi, koordinat sistemi, datum veya formatta) üretilmektedir.

(b) Veriler talep sahibine DVD/CD-ROM üzerine kopyalanarak verilmektedir


330
320
310
300
290
280
260
250