HARİTA DERGİSİ
Temmuz 2014
Yıl : 80 Sayı : 152

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

Sahibi
Harita Genel Komutanlığı Adına
Tuğgeneral Metin KEŞAP

Sorumlu Müdür
Harita Yük.Tek. Ok.K.lığı Adına
Dr. Mühendis Albay Mustafa KURT

Editör
Mühendis Albay Abdulvahit TORUN
Öğretim ve Araştırma Sekreteri

Yönetim Kurulu
Dr.Müh.Alb.Onur LENK
Dr.Müh.Alb.Osman ALP
Dr.Müh.Alb.Mustafa KURT (Bşk.)
Müh.Alb.Abdulvahit TORUN
Dr.Müh.Bnb.Altan YILMAZ

Yönetim Yeri Adresi
Harita Genel Komutanlığı
Harita Yüksek Teknik Okulu
Harita Dergisi Yönetim Kurulu
Başkanlığı
06100 Cebeci / ANKARA

Tel : (312) 5952120
Faks: (312) 3201495
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. Türk Silahlı Kuvvetlerinin resmi görüşünü ifade etmez.

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

İ Ç İ N D E K İ L E R

Ağırlıklı Toplam En Küçük Kareler Çözümü: Üç Farklı Algoritma ve 2-Boyutlu Afin Dönüşümüne Uygulanması
(Weighted Total Least-Squares Solution: Three Different Algorithms and Application to 2-Dimensional Affine Transformation)

Cüneyt AYDIN
Merve UYGUR
S. Özgür UYGUR 1 - 11

Arazi Örtüsü ve Kullanımının Haritalanmasında WorldView-2 Uydu Görüntüsü ve Yardımcı Verilerin Kullanımı
(The Use of Worldview-2 Imagery and Auxiliary Data for Land Cover and Land Use Mapping)

İsmail ÇÖLKESEN
Tahsin YOMRALIOĞLU 12 - 24

Çoklu Gösterim Veritabanlarında Güncelleme: Model Genelleştirmesi ve Obje Eşleştirme Aşaması
(Updating in Multiple Representation Databases: Model Generalization and Object Matching Stage)

Osman Nuri ÇOBANKAYA
Necla ULUĞTEKİN 25 - 39

İnternet Tabanlı (Online) GNSS Veri Değerlendirme Servisleri
(Internet Based GNSS Processing Services)

Berkay BAHADUR
Aydın ÜSTÜN 40 - 50

Bilim Kurulu

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

Bu Sayıda Hakem Olarak Görev Alan Bilim Kurulu Üyeleri

Prof.Dr.Cevat İNAL (SÜ)
Prof.Dr.Hakan Şenol KUTOĞLU (BEÜ)
Prof.Dr.Filiz SUNAR (İTÜ)
Prof.Dr.Taşkın KAVZOĞLU (GYTE)
Prof.Dr.Öztuğ BİLDİRİCİ (SÜ)
Doç.Dr.Fevzi KARSLI (KTÜ)
Doç.Dr.Melih BAŞARANER (YTÜ)
Doç.Dr.Semih ERGİNTAV (TUBİTAK)
Doç.Dr.Bahadır AKTUĞ (BÜ)
Doç.Dr.Müh.Alb.Onur LENK (HGK)
Dr.Coşkun DEMİR (HGK-HYTO)
Dr.Müh.Yb.Yavuz Selim ŞENGÜN (HGK)

Harita Dergisinin kapak tasarımı Hrt.Tekns.Kd.Bşçvş.Selim ŞENDİL tarafından yapılmıştır.

Pirî Reis, Kitab-ı Bahriye, Kızıl Adalar ve İstanbul [1]

[1]Kemal Özdemir, Osmanlı Haritaları, s.76-77

Pirî Reis, Kitab-ı Bahriye[1,2], Kızıl Adalar ve İstanbul [1]

Pirî Reis eşsiz bir kartograf ve deniz bilimleri üstadı olmasının yanı sıra Osmanlı deniz tarihinde izler bırakmış bir amiral ve Mısır kaptanıdır. Dünya haritaları ve denizcilik kitabıyla tanınmıştır. Doğum tarihi kesin olarak bilinmiyor. 1465-1470 arasında Gelibolu'da doğdu. 1554'de Kahire'de öldü. Asıl adı Muhiddin Pirî'dir. Piri Reis'in babası Karamanlı Hacı Mehmet, amcası ünlü Osmanlı denizcisi Kemal Reistir.

Venedik üzerine sefer hazırlığına girişen II. Beyazıt Akdeniz'de bulunan denizcileri Osmanlı Donanması'na katılmaya çağırması üzerine 1494'te amcası ile birlikte donanmanın resmi hizmetine girdiler. Piri reis, Osmanlı donanmasında, gemi komutanı olarak, 1495-1510 yıllarında, Akdeniz'de yapılan birçok deniz seferlerinde görev almıştır. Piri Reis, 1511'de amcasının bir deniz kazasında ölümünden sonra Gelibolu'ya yerleşti. Barbaros Kardeşlerin idaresi altındaki donanmada halaoğlu Muhittin Reis ile Akdeniz'de bazı seferlere çıktıysa da daha çok Gelibolu'da kalıp haritaları ve kitabı üzerinde çalıştı. Bu haritalardan ve kendi gözlemlerinden yararlanarak 1513 tarihli ilk dünya haritasını çizdi.1516-1517 yıllarında tekrar donanmada görev aldı. 1533'de Tümamiral olmuş, 1546'dan sonra Umman denizi, Kızıl deniz ve Basra Körfezi'nde Osmanlı Donanmasının Mısır Kaptanı olarak görev yapmıştır.

Kitab-ı Bahriye, Osmanlı amirali Piri Reis'in hazırladığı Akdeniz kıyılarına ait ayrıntılı bir harita-kılavuzdur. Kitap, denizcilere Akdeniz kıyıları, adaları, geçitleri, boğazları, körfezleri fırtına halinde nereye sığınılacağı, limanlara nasıl yaklaşılacağı hakkında bilgiler, ayrıca limanlar arasında gitmek için kesin rotalar verir.

Kitab-ı Bahriye'nin iki sürümü vardır. Birincisi 1521 tarihlidir ve denizcilerin kullanımı için yapılmıştır. İkincisi 1526'da Kanuni Sultan Süleyman için hazırlanmış daha ayrıntılı ve süslü bir eserdir. Birinci sürümde 135-140 ikinci sürümde 223 harita mevcuttur.

Kitab-ı Bahriye'nin kopyaları Avrupa'nın çeşitli kütüphanelerinde, İstanbul'da Topkapı Sarayı'nda, Nurosmaniye, Süleymaniye ve Köprülüzade Fazıl Ahmed Paşa Kütüphanelerinde bulunur.

Katip Çelebi "Tuhfetü'l Kibar fi Esfarül Bihar " adlı eserinde (1656) Kitab-ı Bahriye'yi "Bu Piri Reis Bahriye adlı kitap yazıp Akdeniz'i anlatmıştır. İslamların bu konuda başka kitapları olmadığından denizde gezenler ona başvururlar." ifadesiyle anlatmaktadır.

[1]Kemal Özdemir, Osmanlı Haritaları, s.66, 67

[2]http://tr.wikipedia.org

Ağırlıklı Toplam En Küçük Kareler Çözümü: Üç Farklı Algoritma ve 2-Boyutlu Afin Dönüşümüne Uygulanması

(Weighted Total Least-Squares Solution: Three Different Algorithms and Application to 2-Dimensional Affine Transformation)

Cüneyt AYDIN, Merve UYGUR, S. Özgür UYGUR
Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul
caydin@yildiz.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, klasik dengeleme modelindeki katsayılar matrisinin de rasgele hatalı terimlerden oluşması durumunda kullanılan "Errors-in-Variables (EIV)" modeli ve bunun ağırlıklı toplam en küçük kareler (WTLS) çözümü incelenmektedir. WTLS çözümü için jeodezi literatüründe geçen üç yöntem ve bunlara ilişkin iteratif algoritmalar irdelenmektedir. Ele alınan bir 2-boyutlu Afin dönüşüm probleminde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Sayısal uygulama sonuçlarına göre her üç algoritmanın özdeş hız ve doğrulukta çalıştığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Afin Dönüşüm, EIV Modeli, Toplam En Küçük Kareler, Ağırlıklı Toplam En Küçük Kareler, Algoritma*

ABSTRACT

In this study, "Errors-in-Variables (EIV model)" considered when the design matrix of classical adjustment model includes the terms with random errors and its Weighted Total Least-Squares (WTLS) solution are investigated. Three WTLS solution methods given in the geodetic literature and their iterative-algorithms are examined. They are compared in a 2D Affine coordinate transformation example. According to the numerical results of the example, it is observed that the three algorithms have equivalent accuracy and convergence rate.

Key Words: *Affine Transformation, EIV Model, Total Least-Squares, Weighted Total Least-Squares, Algorithm*

1. GİRİŞ

Klasik dengeleme modeli, fonksiyonel model ve stokastik modelden oluşur. Dengeleyici polinom, benzerlik dönüşümü, Afin dönüşümü ve üç boyutlu kartezyen dik koordinat dönüşümü gibi problemlerde fonksiyonel modeli oluşturan katsayılar matrisi rasgele hatalı terimlerden oluşabilir. Bu nedenle söz konusu problemler için oluşturulan fonksiyonel modelde yalnızca ölçüler değil katsayılar da rasgele hatalarla yüklü olabilir. Bu durumda kestirim işlemi alışıldık dengeleme yöntemleriyle gerçekleştirilemez. Bu amaçla, dengelemede "genel en küçük kareler yöntemi" adı verilen bir iteratif çözüm önerilir (Ghilani ve Wolf, 2006). Ancak, Neitzel ve Petrovic (2008) ve Neitzel (2010)'da da belirtildiği üzere, jeodezide çok yaygın olmayan bu genel en küçük kareler yöntemi eksik bir doğrusallaştırma işlemine dayanır. Doğru çözüm için söz konusu problem, "katsayıların da rasgele hatalı olduğu dengeleme modeli (Errors-in-Variables/EIV model)" altında düşünülmeli ve çözüm "toplam en küçük kareler (Total Least-Squares/TLS)" adı verilen yöntem ile gerçekleştirilmelidir (Golub ve van Loan, 1980).

TLS çözümü, modelde geçen tüm hataların karelerinin toplamının, modelin fonksiyonel kısmı için öngörülmüş denkliği koruyacak şekilde minimum yapılmasına dayanır (Carroll ve Ruppert, 1996; van Huffel, 2004; Gillard, 2010). TLS'nin temelleri 1800'lü yılların sonlarında Adcock ve Kummel'in yaptığı çalışmalara dayanır (Paris, 2004; Gillard, 2010). Adcock, "A problem in least squares" adlı çalışmasında, ele almış olduğu regresyon (dengeleyici doğru) probleminde x ve y koordinatlarının her ikisinin de hatalı olması durumunda en uygun çözümün ölçü noktalarının dengeleyici doğruya dik uzaklıklarının karelerinin toplamının minimum yapılması ile elde edileceğini ifade etmiştir (Paris 2004; Gillard, 2010). Buradan elde edilen ve ortogonal regresyon adı verilen yöntem aslında TLS'nin regresyon analizindeki çözümüyle özdeş sonuçlar üretmektedir.

TLS çözümünde ölçülere ve katsayılar matrisine ilişkin kofaktör matrisi göz önüne alınmaz. Bu nedenle, TLS'nin jeodezik problemlerde uygulanabilmesi için Schaffrin ve Wieser (2008) "ağırlıklı TLS (Weighted TLS /WTLS)" adı verilen bir çözümü önermektedir. Bu çözümde modelde geçen hataların-TLS'den farklı olarak-ağırlıklı karelerinin toplamının minimum yapılması hedeflenir. Söz konusu çalışmadan sonra EIV model jeodezide yoğun bir ilgiye yol açmıştır: Neitzel ve Petrovic (2008) ve Neitzel (2010), yukarıda sözü edilen genel en küçük kareler yönteminin de dayandığı bir doğrusal olmayan Gauss-Helmert modelin uygun biçimde

çözüldüğünde elde edilen sonuçların WTLS çözümüyle özdeş olduğunu belirtmiş, Schaffrin ve Snow (2010), Lu (2012), Snow (2012) ve Fang (2011; 2013) bu çözüme ilişkin daha detaylı bilgileri vermiştir. Schaffrin ve Felus (2008), koordinat dönüşümünde çok değişkenli (multivariate) TLS yöntemini önermiş, Schaffrin ve Uzun (2012), WTLS çözümünde Baarda'nın güvenilirlik teorisini incelemiş, yine Snow (2012), EIV modelin stokastik kısmında geçen ağırlık katsayıları matrislerinin tekil olmaları durumunda WTLS çözümünün nasıl gerçekleştirileceğini irdelemiştir. Yanı sıra, Shen vd. (2011) ve Xu vd. (2012), WTLS çözümünün stokastik özelliklerini ve bias kavramını inceleyerek varyans kestiriminde "bias-düzeltmesi" konusuna değinmişlerdir.

Literatürde geçen WTLS çözüm yöntemleri, Schaffrin ve Wieser (2008)'de verilen hedef fonksiyonuna dayanır. Bu yöntemler, problemin yapısı gereği, iteratif çözümlerdir ve söz konusu hedef fonksiyonunun farklı biçimlerde ele alınmasıyla elde edilmişlerdir. Fang (2011) ve Snow (2012) söz konusu yöntemleri jeodezi problemlerinde detaylı olarak incelemiştir. Snow (2012) doktora çalışması incelendiğinde ilk yöntemin, Schaffrin vd. (2012)'de "genelleştirilmiş normal denklemler" olarak adlandırılan yapıya dayandığı görülür. Mahboub (2012) tarafından verilen yöntem de aslında bu yöntemin farklı bir şekilde oluşturulmuş halidir. Yine Snow (2012)'de ifade edilen ikinci yöntem, Amiri-Simkooei ve Jazaeri (2012) tarafından önerilen WTLS yöntemi ile özdeştir. Amiri-Simkooei ve Jazaeri (2012) bu yöntemi standart en küçük kareler yöntemiyle özdeşleştirmektedir. Bununla birlikte, Shen vd. (2011), Schaffrin ve Wieser (2008) tarafından verilen hedef fonksiyonunu bir Gauss-Newton iteratif algoritması içerisinde farklı bir şekilde ele almış ve kendi yöntemlerini geliştirmişlerdir. Ancak bu yöntemin eşitlikleri incelendiğinde aslında Snow (2012) ve Amiri-Simkooei ve Jazaeri (2012) tarafından verilen yöntemle aynı olduğu görülür. Yanı sıra, Tong vd. (2011), yine Schaffrin ve Wieser (2008)'in çalışmasından yola çıkarak, geliştirilmiş-WTLS çözümü adını verdikleri bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemin eşitlikleri incelendiğinde diğer WTLS çözüm yöntemlerinden farklı olduğu görülmektedir. Bu nedenle söz konusu yöntem bu çalışmada ayrı bir yöntem olarak irdelenecektir.
Çalışmanın ikinci bölümünde dengeleme modeli ve en küçük kareler çözümüne kısaca değinilmekte, üçüncü bölümde WTLS çözümü ve ele alınan üç algoritma incelenmektedir. Dördüncü bölümde WTLS'nin Afin dönüşümü problemine uyarlanması açıklanmakta, son bölümde ise bir Afin dönüşümü uygulaması ele alınmaktadır.

2. EN KÜÇÜK KARELER ÇÖZÜMÜ

$\mathbf{y}$, (n×1) ölçüler vektörü; $\mathbf{A}$, (n×u) katsayılar matrisi (rank$\mathbf{A}$=u); $\boldsymbol{\beta}$, (u×1) bilinmeyenler vektörü; σ^2, (bilinmeyen) varyans bileşeni; $\mathbf{Q}_y$ ve $\mathbf{C}_y$ (n×n) ölçülerin kofaktör matrisi ve kovaryans matrisi olmak üzere, ölçüler vektörünün beklenen değeri (E($\mathbf{y}$)) ve kovaryans matrisi ile yazılan aşağıdaki modele Gauss-Markoff modeli denir (Koch, 1999):

$$E(\mathbf{y})=\mathbf{A}\boldsymbol{\beta} \quad , \quad \mathbf{C}_y=\sigma^2\mathbf{Q}_y \tag{1}$$

Ölçülerin normal dağılmış rasgele hatalarla yüklü olduğu varsayılsın. Bu hatalar $\mathbf{e}_y$ rasgele hata vektörü ile gösterilsin;

$$\mathbf{e}_y \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{C}_y=\sigma^2\mathbf{Q}_y) \tag{2}$$

Böylece model (1) aşağıdaki biçimde ifade edilir:

$$\mathbf{y}-\mathbf{e}_y=\mathbf{A}\boldsymbol{\beta} \quad , \quad \mathbf{C}_y=\sigma^2\mathbf{Q}_y \tag{3}$$

(3) modeli dengeleme modeli olarak adlandırılır.

(1) veya (3) modelinin çözülebilmesi yani bilinmeyenler vektörü $\boldsymbol{\beta}$'nın kestirimi için beklenen değere sadık en uygun kestirim, maksimum likelihood ve en küçük kareler yöntemleri uygulanabilir. Uygulamadaki kolaylıkları nedeniyle, dengeleme hesabında en küçük kareler yöntemi tercih edilir. En küçük kareler yöntemi,

$$\Omega=\mathbf{e}_y^T\mathbf{Q}_y^{-1}\mathbf{e}_y \tag{4}$$

karesel biçimini minimum yapan $\boldsymbol{\beta}$ vektörünün bulunmasına dayanır. Bu amaçla,

$$\frac{\partial\Omega}{\partial\boldsymbol{\beta}}=\frac{\partial(\mathbf{e}_y^T\mathbf{Q}_y^{-1}\mathbf{e}_y)}{\partial\boldsymbol{\beta}}=\mathbf{0} \tag{5}$$

eşitliği düşünülür. Dengeleme hesabından bilindiği üzere, buradan normal denklemler çıkar;

$$(\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_y^{-1}\mathbf{A})\hat{\boldsymbol{\beta}}-\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_y^{-1}\mathbf{y}=\mathbf{0} \tag{6}$$

Normal denklemlerin çözümünden, bilinmeyenler vektörünün kestirim değeri $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ aşağıdaki biçimde elde edilir:

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}=(\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_y^{-1}\mathbf{A})^{-1}\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_y^{-1}\mathbf{y} \tag{7}$$

Böylece, ölçü hatalarının kestirim değeri

$$\hat{\mathbf{e}}_y = \mathbf{A}\hat{\boldsymbol{\beta}} - \mathbf{y}, \quad (8)$$

bilinmeyen varyans bileşeni σ^2'nin yansız kestiricisi

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\hat{\mathbf{e}}_y^T \mathbf{Q}_y^{-1} \hat{\mathbf{e}}_y}{n-u} \quad (9)$$

ve bilinmeyenlerin kovaryans matrisi

$$\mathbf{C}_{\hat{\beta}} = \hat{\sigma}^2 (\mathbf{A}^T \mathbf{Q}_y^{-1} \mathbf{A})^{-1} \quad (10)$$

bulunur.

3. AĞIRLIKLI TOPLAM EN KÜÇÜK KARELER ÇÖZÜMÜ

a. Genel Bakış

Dengeleyici polinom, benzerlik dönüşümü ve Afin dönüşümü gibi uygulamaların (3) modeli biçiminde yazılan dengeleme modelindeki **A** katsayılar matrisi de rasgele hatalı değerlerden (rasgele değişkenlerden) oluşabilir. Örneğin, $(x_1; y_1),\ldots,(x_n; y_n)$ nokta çiftleri kullanılarak dengeleme hesabı ve regresyon analizinde oldukça iyi bilinen "y=a+bx" biçimindeki bir dengeleyici doğrunun belirlenmesi problemini ele alalım. Dengeleme modeli

$$\underbrace{\begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}}_{\mathbf{y}} - \underbrace{\begin{pmatrix} e_{y_1} \\ \vdots \\ e_{y_n} \end{pmatrix}}_{\mathbf{e}_y} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & x_1 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_n \end{pmatrix}}_{\mathbf{A}} \underbrace{\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}}_{\boldsymbol{\beta}}, \quad \mathbf{C}_y = \sigma^2 \mathbf{Q}_y \quad (11)$$

biçiminde oluşturulur. Bu modelde yalnızca y'lerin rasgele hatalı olduğu düşünülmektedir. Ancak, gerçekte x'ler de ölçülmüş ve dolayısıyla rasgele hatalı değerler olabilir. y'lerdekinden bağımsız olduğu varsayılan bu hataları $e_{x1},\ldots,e_{xn}$ şeklinde gösterelim ve bir n×1 boyutlu $\mathbf{e}_x$ vektörü altında toplayalım;

$$\mathbf{e}_x \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{C}_x = \sigma^2 \mathbf{Q}_x) \quad (12)$$

Bu durumda (11) dengeleme modeline ilişkin **A** katsayılar matrisi yerine, x'lerin hatalarını da göz önüne alan

$$\begin{pmatrix} 1 & x_1 - e_{x_1} \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_n - e_{x_n} \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & x_1 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_n \end{pmatrix}}_{\mathbf{A}} - \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & e_{x_1} \\ \vdots & \vdots \\ 0 & e_{x_n} \end{pmatrix}}_{\mathbf{E}_A} = \mathbf{A} - \mathbf{E}_A \quad (13)$$

yapısı düşünülmelidir. Burada $\mathbf{E}_A$, n×u boyutlu hata matrisi olarak adlandırılır. (12) ve (13) eşitlikleri (11) modelinde göz önüne alınırsa,

$$\underbrace{\begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}}_{\mathbf{y}} - \underbrace{\begin{pmatrix} e_{y_1} \\ \vdots \\ e_{y_n} \end{pmatrix}}_{\mathbf{e}_y} = \left(\underbrace{\begin{pmatrix} 1 & x_1 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_n \end{pmatrix}}_{\mathbf{A}} - \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & e_{x_1} \\ \vdots & \vdots \\ 0 & e_{x_n} \end{pmatrix}}_{\mathbf{E}_A} \right) \underbrace{\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}}_{\boldsymbol{\beta}},$$

$$\mathbf{C}_y = \sigma^2 \mathbf{Q}_y \ , \ \mathbf{C}_x = \sigma^2 \mathbf{Q}_x \text{ ve } \mathbf{C}_{yx} = \mathbf{0} \quad (14)$$

çıkar.

Yukarıda x'lerin kofaktör matrisi $\mathbf{Q}_x$ ve kovaryans matrisi $\mathbf{C}_x$ düşünülmüştür. Problemin daha uygun çözülebilmesi için **A** katsayılar matrisinin vektör biçimini ifade eden nu×1 boyutlu vec(**A**)'nın (Ek-A) nu×nu boyutlu $\mathbf{Q}_A$ kofaktör matrisini ve $\mathbf{C}_A = \sigma^2 \mathbf{Q}_A$ kovaryans matrisini ele alalım. Bu amaçla $\mathbf{E}_A$ hata matrisinin vektör biçimini aşağıdaki gibi yazalım:

$$\mathbf{e}_A = \text{vec}(\mathbf{E}_A) = \text{vec}\left(\begin{pmatrix} 0 & e_{x_1} \\ \vdots & \vdots \\ 0 & e_{x_n} \end{pmatrix}\right) = \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ e_{x_1} \\ \vdots \\ e_{x_n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{0}_n \mathbf{e}_x \\ \mathbf{I}_n \mathbf{e}_x \end{pmatrix} = \ldots$$

$$\ldots \begin{pmatrix} \mathbf{0}_n \\ \mathbf{I}_n \end{pmatrix} \mathbf{e}_x = \mathbf{J}\mathbf{e}_x \quad (15)$$

Burada, $\mathbf{0}_n$, n×n boyutlu sıfır matrisi; $\mathbf{I}_n$, n×n boyutlu birim matristir. (15) eşitliğine kofaktör yayılma kuralı uygulanarak

$$\mathbf{Q}_A = \mathbf{J}\mathbf{Q}_x\mathbf{J}^T \quad (16)$$

bulunur. Böylece, (14) modeli

$$\mathbf{y} - \mathbf{e}_y = (\mathbf{A} - \mathbf{E}_A)\boldsymbol{\beta} \quad , \quad \mathbf{C} = \sigma^2 \begin{pmatrix} \mathbf{Q}_y & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{Q}_A \end{pmatrix} \quad (17)$$

biçiminde yazılır. Katsayıların da rasgele hatalı olduğu bu dengeleme modeli, istatistikte EIV (Errors-in-Variables) model olarak adlandırılır.

"y=a+bx" biçimindeki dengeleyici doğru probleminde hem y hem de x değişkenlerinin hatalı olması durumu ilk kez Adcock tarafından 1800'lü yılların sonunda ele alınmıştır. Adcock, söz konusu problemi, ölçü noktalarının dengeleyici doğruya dik uzaklıklarının karelerinin toplamının minimum yapılması olarak tanımlamıştır (Paris, 2004; Gillard, 2010). İstatistikte hem y hem de x'lerin hatalı ancak eşit ağırlıklı olduğu dengeleyici doğru problemine bu nedenle ortogonal regresyon veya EIV regresyonu denilmektedir (Carroll ve Ruppert, 1996; van Huffel, 2004). (17) modelinde $\mathbf{Q}_y$ ve $\mathbf{Q}_A$ birim matris olarak ele alınırsa,

$$\mathbf{y}-\mathbf{e}_y=(\mathbf{A}-\mathbf{E}_A)\boldsymbol{\beta} \quad , \quad \mathbf{C}=\sigma^2\begin{pmatrix}\mathbf{I} & \mathbf{0}\\ \mathbf{0} & \mathbf{I}\end{pmatrix} \qquad (18)$$

modeli elde edilir. Bu modelin ortogonal regresyon çözümü ile a sıfır eki ve b eğimi şöyle bulunur (van Huffel 2004);

$$\hat{b}=\frac{s_{yy}-s_{xx}\pm\sqrt{(s_{yy}-s_{xx})^2+4s_{xy}^2}}{2s_{xy}}\,,\ \hat{a}=\bar{y}-\hat{b}\bar{x} \qquad (19)$$

burada, s_{xx} ve s_{yy}, deneysel varyanslar ve s_{xy}, deneysel kovaryanstır;

$$s_{xx}=\frac{1}{n}\sum(x-\bar{x})^2\ ,\ s_{yy}=\frac{1}{n}\sum(y-\bar{y})^2\ ,$$

$$s_{xy}=\frac{1}{n}\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})\,,\ (\bar{x}=\frac{1}{n}\sum x\ ;\ \bar{y}=\frac{1}{n}\sum y)$$

Günümüzde (18) modelinin çözümü, "toplam en küçük kareler (Total Least-Squares/TLS)" çözümü olarak adlandırılır. TLS problemi aşağıdaki biçimde tanımlanır (van Huffel, 2004):

$$\mathbf{e}_y^T\mathbf{e}_y+\mathbf{e}_A^T\mathbf{e}_A\rightarrow\min.\ ,$$

$$\{\ \mathbf{y}-\mathbf{e}_y=(\mathbf{A}-\mathbf{E}_A)\boldsymbol{\beta}\ \text{koşulu altında} \qquad (20)$$

(20) probleminin çözümü için aşağıdaki Lagrange fonksiyonu düşünülür:

$$\mathbf{e}_y^T\mathbf{e}_y+\mathbf{e}_A^T\mathbf{e}_A+2\boldsymbol{\lambda}^T(\mathbf{y}-\mathbf{e}_y-(\mathbf{A}-\mathbf{E}_A)\boldsymbol{\beta}) \qquad (21)$$

Burada $\boldsymbol{\lambda}$, $n\times1$ boyutlu Lagrange çarpanları bilinmeyenleri vektörüdür. (21) Lagrange fonksiyonunun çözümü ile TLS çözümüne ulaşılır. Bu TLS çözümü, problem dengeleyici doğru problemi ise, (19) ile verilen ortogonal regresyon çözümüne denk olur.

b. WTLS Çözümü

Schaffrin ve Wieser (2008), ölçü ağırlıklarının farklı olduğu (17) EIV modelinin çözümü için "ağırlıklı TLS (Weighted TLS /WTLS)" çözümünü vermektedir. WTLS problemi şöyle tanımlanmaktadır;

$$\mathbf{e}_y^T\mathbf{Q}_y^{-1}\mathbf{e}_y+\mathbf{e}_A^T\mathbf{Q}_A^{-1}\mathbf{e}_A\rightarrow\min.,$$

$$\{\ \mathbf{y}-\mathbf{e}_y=(\mathbf{A}-\mathbf{E}_A)\boldsymbol{\beta}\ \text{koşulu altında} \qquad (22)$$

Bu optimizasyon probleminin çözümü için (20)'de verilen Lagrange fonksiyonuna benzer aşağıdaki hedef fonksiyonu düşünülür;

$$\phi=\mathbf{e}_y^T\mathbf{Q}_y^{-1}\mathbf{e}_y+\mathbf{e}_A^T\mathbf{Q}_A^{-1}\mathbf{e}_A+\ldots$$

$$\ldots2\boldsymbol{\lambda}^T(\mathbf{y}-\mathbf{e}_y-(\mathbf{A}-\mathbf{E}_A)\boldsymbol{\beta}) \qquad (23)$$

(23) eşitliğinde $\mathbf{E}_A\boldsymbol{\beta}$ çarpımı bir vektördür. Bir vektöre vec operatörün uygulanması ile sonuç değişmeyeceği için ve Koch (1999; s. 41)'de verilen

$$\text{vec}(\mathbf{MNL})=(\mathbf{L}^T\otimes\mathbf{M})\text{vec}(\mathbf{N}) \qquad (24)$$

özelliği nedeniyle $\mathbf{E}_A\boldsymbol{\beta}$ çarpımı aşağıdaki biçimde ifade edilebilir;

$$\mathbf{E}_A\boldsymbol{\beta}=\mathbf{I}_n\mathbf{E}_A\boldsymbol{\beta}=\text{vec}(\mathbf{I}_n\mathbf{E}_A\boldsymbol{\beta})=(\boldsymbol{\beta}^T\otimes\mathbf{I}_n)\text{vec}(\mathbf{E}_A)=\ldots$$

$$\ldots(\boldsymbol{\beta}^T\otimes\mathbf{I}_n)\mathbf{e}_A \qquad (25)$$

Burada, $\otimes$, Kronecker çarpımıdır (Ek-B). (25) eşitliği (23)'de düşünülürse,

$$\phi=\mathbf{e}_y^T\mathbf{Q}_y^{-1}\mathbf{e}_y+\mathbf{e}_A^T\mathbf{Q}_A^{-1}\mathbf{e}_A+\ldots$$

$$\ldots2\boldsymbol{\lambda}^T(\mathbf{y}-\mathbf{e}_y-\mathbf{A}\boldsymbol{\beta}-(\boldsymbol{\beta}^T\otimes\mathbf{I}_n)\mathbf{e}_A) \qquad (26)$$

elde edilir. WTLS problemi için jeodezide geliştirilen yöntemler (26) hedef fonksiyonunun farklı biçimlerdeki çözümleriyle elde edilmiştir. Bunlardan üçü aşağıda ele alınmaktadır.

c. WTLS Çözüm Algoritması-1

(26) fonksiyonunun $\mathbf{e}_y$, $\mathbf{e}_A$, $\boldsymbol{\beta}$ ve $\boldsymbol{\lambda}$'ya göre kısmi türevleri alınır, bulunan sonuçların devrikleri

sıfıra eşitlenerek 2'ye bölünürse çözüm için gerekli Euler kondisyon denklemleri bulunur (Schaffrin and Wieser, 2008; Snow, 2012; Fang, 2011):

$$\frac{\partial \phi}{\partial \mathbf{e}_y^T} = \mathbf{Q}_y^{-1}\hat{\mathbf{e}}_y - \hat{\boldsymbol{\lambda}} = \mathbf{0} \quad (27a)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \mathbf{e}_A^T} = \mathbf{Q}_A^{-1}\hat{\mathbf{e}}_A + (\hat{\boldsymbol{\beta}} \otimes \mathbf{I}_n)\hat{\boldsymbol{\lambda}} = \mathbf{0} \quad (27b)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \boldsymbol{\beta}^T} = -\mathbf{A}^T\hat{\boldsymbol{\lambda}} + \hat{\mathbf{E}}_A^T\hat{\boldsymbol{\lambda}} = \mathbf{0} \quad (27c)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \boldsymbol{\lambda}^T} = \mathbf{y} - \hat{\mathbf{e}}_y - \mathbf{A}\hat{\boldsymbol{\beta}} + (\hat{\boldsymbol{\beta}}^T \otimes \mathbf{I}_n)\hat{\mathbf{e}}_A = \mathbf{0} \quad (27d)$$

(27a) ve (27b)'den $\hat{\mathbf{e}}_y$ ve $\hat{\mathbf{e}}_A$ hata vektör kestirimleri elde edilir;

$$\hat{\mathbf{e}}_y = \mathbf{Q}_y\hat{\boldsymbol{\lambda}} \quad (28)$$

$$\hat{\mathbf{e}}_A = -\mathbf{Q}_A(\hat{\boldsymbol{\beta}} \otimes \mathbf{I}_n)\hat{\boldsymbol{\lambda}} \quad (29)$$

(28) ve (29) eşitlikleri (27d)'de yerine yazılır ve düzenlenirse,

$$\mathbf{y} - \mathbf{A}\hat{\boldsymbol{\beta}} = \mathbf{Q}_y\hat{\boldsymbol{\lambda}} + (\hat{\boldsymbol{\beta}}^T \otimes \mathbf{I}_n)\mathbf{Q}_A(\hat{\boldsymbol{\beta}} \otimes \mathbf{I}_n)\hat{\boldsymbol{\lambda}} \quad (30)$$

çıkar. Burada,

$$\mathbf{Q}_1 = \mathbf{Q}_y + (\hat{\boldsymbol{\beta}}^T \otimes \mathbf{I}_n)\mathbf{Q}_A(\hat{\boldsymbol{\beta}} \otimes \mathbf{I}_n) \quad (31)$$

denirse, (30) eşitliğinden

$$\hat{\boldsymbol{\lambda}} = \mathbf{Q}_1^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{A}\hat{\boldsymbol{\beta}}) \quad (32)$$

bulunur. Diğer yandan, (27c) eşitliğinde geçen $\hat{\mathbf{E}}_A^T\hat{\boldsymbol{\lambda}}$ çarpımı u×1 boyutlu bir vektördür: (25) eşitliğine benzer biçimde,

$$\hat{\mathbf{E}}_A^T\hat{\boldsymbol{\lambda}} = \mathrm{vec}(\mathbf{I}_u\hat{\mathbf{E}}_A^T\hat{\boldsymbol{\lambda}}) = \mathrm{vec}(\hat{\boldsymbol{\lambda}}^T\hat{\mathbf{E}}_A\mathbf{I}_u) = (\mathbf{I}_u \otimes \hat{\boldsymbol{\lambda}}^T)\hat{\mathbf{e}}_A \quad (33)$$

yazılır ve (27c) eşitliğinde düşünülürse,

$$\mathbf{A}^T\hat{\boldsymbol{\lambda}} = (\mathbf{I}_u \otimes \hat{\boldsymbol{\lambda}}^T)\hat{\mathbf{e}}_A \quad (34)$$

elde edilir. Bu eşitlikte $\hat{\mathbf{e}}_A$'nın (29)'daki eşiti göz önüne alınırsa,

$$\mathbf{A}^T\hat{\boldsymbol{\lambda}} = -(\mathbf{I}_u \otimes \hat{\boldsymbol{\lambda}}^T)\mathbf{Q}_A(\hat{\boldsymbol{\beta}} \otimes \mathbf{I}_n)\hat{\boldsymbol{\lambda}} \quad (35)$$

bulunur. Burada, "$(\mathbf{I}_u \otimes \hat{\boldsymbol{\lambda}}^T)$" terimi dışındaki $\hat{\boldsymbol{\lambda}}$'lar yerine (32) eşitliği yazılıp,

$$\mathbf{R}_1 = (\mathbf{I}_u \otimes \hat{\boldsymbol{\lambda}}^T)\mathbf{Q}_A(\hat{\boldsymbol{\beta}} \otimes \mathbf{Q}_1^{-1}) \quad (36)$$

denirse,

$$\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_1^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{A}\hat{\boldsymbol{\beta}}) = -\mathbf{R}_1(\mathbf{y} - \mathbf{A}\hat{\boldsymbol{\beta}}) \quad (37)$$

elde edilir. Bu eşitlik yeniden düzenlenirse, sonuç olarak,

$$(\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_1^{-1}\mathbf{A} + \mathbf{R}_1\mathbf{A})\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_1^{-1} + \mathbf{R}_1)\mathbf{y} \quad (38)$$

genelleştirilmiş normal denklemler bulunur (Schaffrin vd., 2012).

(38) normal denklemleri doğrudan çözülemez. Bilinmeyenlerin hesabı için iteratif bir çözüm yöntemi düşünülür: Öncelikle $\boldsymbol{\beta}$ için uygun bir yaklaşık değer seçilir. Bunun için (3) yapısındaki dengeleme modeli ilgili problem için oluşturulur ve en küçük kareler yönteminden bulunan bilinmeyenler vektörü yaklaşık değer olarak alınır. İlk iterasyonda bu yaklaşık değer kullanılarak (38) biçimindeki normal denklemlere ulaşılır ve bunun çözümünden de $\boldsymbol{\beta}$'nın kestirim değeri elde edilir. Bu kestirim değeri bir sonraki iterasyonda yeni yaklaşık değer olarak atanır ve ilk iterasyondaki işlemler tekrarlanır. İterasyon işlemi kestirim değeri değişmeyene kadar sürdürülür. Böylece WTLS çözümü elde edilir. Söz konusu iteratif çözüme ilişkin algoritma Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. WTLS Çözüm Algoritması-1

Adım 1:

$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_y^{-1}\mathbf{A})^{-1}\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_y^{-1}\mathbf{y}$ kestirimini bul. Bunu yaklaşık değer olarak ata; $\boldsymbol{\beta}_0 = \hat{\boldsymbol{\beta}}$.

i=1, 2,… için tekrarla:

Adım 2:

Aşağıdakileri hesapla;

$$\mathbf{Q}_{1i} = \mathbf{Q}_y + (\boldsymbol{\beta}_{i-1}^T \otimes \mathbf{I}_n)\mathbf{Q}_A(\boldsymbol{\beta}_{i-1} \otimes \mathbf{I}_n)$$

$$\hat{\boldsymbol{\lambda}}_i = \mathbf{Q}_{1i}^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{A}\boldsymbol{\beta}_{i-1})$$

$$\mathbf{R}_{1,i} = (\mathbf{I}_u \otimes \hat{\boldsymbol{\lambda}}_i^T)\mathbf{Q}_A(\boldsymbol{\beta}_{i-1} \otimes \mathbf{Q}_1^{-1})$$

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_i = (\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_{1i}^{-1}\mathbf{A} + \mathbf{R}_{1i}\mathbf{A})^{-1}(\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_{1i}^{-1} + \mathbf{R}_{1,i})\mathbf{y}$$

Adım 3:

$\tau_i = \max(|\hat{\boldsymbol{\beta}}_i - \boldsymbol{\beta}_{i-1}|)$ değerini önceden belirlenmiş küçük bir ε hata sınır değeri ile karşılaştır:

1) $\tau_i>\varepsilon$ ise, $\boldsymbol{\beta}_i = \hat{\boldsymbol{\beta}}_i$ ile yeni iterasyona geç.
2) $\tau_i\leq\varepsilon$ ise, iterasyonu durdur.

ç. WTLS Çözüm Algoritması-2

(32) eşitliğinden

$$\mathbf{Q}_1\hat{\boldsymbol{\lambda}} = \mathbf{y} - \mathbf{A}\hat{\boldsymbol{\beta}} \tag{39}$$

çıkar. Snow (2012)'de gösterildiği gibi, bu eşitliğin her iki yanına $-\hat{\mathbf{E}}_A\boldsymbol{\beta}$ eklenir ve yeniden düzenlenirse,

$$\mathbf{Q}_1\hat{\boldsymbol{\lambda}} + (\mathbf{A} - \hat{\mathbf{E}}_A)\hat{\boldsymbol{\beta}} = \mathbf{y} - \hat{\mathbf{E}}_A\hat{\boldsymbol{\beta}} \tag{40}$$

bulunur. (40) eşitliği ve (27c)'den elde edilen $(\mathbf{A} - \hat{\mathbf{E}}_A)^T\hat{\boldsymbol{\lambda}} = \mathbf{0}$ eşitliği birlikte düşünülerek aşağıdaki normal denklem sistemine ulaşılır:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{Q}_1 & \mathbf{A} - \hat{\mathbf{E}}_A \\ (\mathbf{A} - \hat{\mathbf{E}}_A)^T & \mathbf{0} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \hat{\boldsymbol{\lambda}} \\ \hat{\boldsymbol{\beta}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{y} - \hat{\mathbf{E}}_A\hat{\boldsymbol{\beta}} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} \tag{41}$$

Bu denklemlerde $\hat{\boldsymbol{\lambda}}$ bilinmeyeni elimine edilirse,

$$(\mathbf{A} - \hat{\mathbf{E}}_A)^T\mathbf{Q}_1^{-1}(\mathbf{A} - \hat{\mathbf{E}}_A)\hat{\boldsymbol{\beta}} = \ldots$$

$$\ldots(\mathbf{A} - \hat{\mathbf{E}}_A)^T\mathbf{Q}_1^{-1}(\mathbf{y} - \hat{\mathbf{E}}_A\hat{\boldsymbol{\beta}}) \tag{42}$$

bulunur. (38) normal denklemlerinde olduğu gibi bu denklemlerin de her iki tarafı bilinmeyenleri içerdiğinden iteratif çözüm gerekir. Çözüm algoritması Tablo 2'de verilmektedir. Burada farklı olarak çözüm için hem $\boldsymbol{\beta}$ hem de $\mathbf{E}_A$ için yaklaşık değere ihtiyaç vardır: $\boldsymbol{\beta}$ için ilk yaklaşık değer bir önceki çözümde olduğu gibi en küçük kareler çözümünden alınır, diğeri için de sıfır matrisi öngörülür.

d. WTLS Çözüm Algoritması-3

Diğer yandan, Tong vd. (2011), problemin çözümünde (35) eşitliğinin yalnız solundaki $\hat{\boldsymbol{\lambda}}$ için (32) ile verilen $\hat{\boldsymbol{\lambda}} = \mathbf{Q}_1^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{A}\hat{\boldsymbol{\beta}})$ eşitliğini düşünür:

$$\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_1^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{A}\hat{\boldsymbol{\beta}}) = \ldots$$
$$\ldots - \underbrace{(\mathbf{I}_u \otimes \hat{\boldsymbol{\lambda}}^T)\mathbf{Q}_A(\hat{\boldsymbol{\beta}} \otimes \mathbf{I}_n)}_{\mathbf{R}_1\mathbf{Q}_1}\hat{\boldsymbol{\lambda}} = -\mathbf{R}_1\mathbf{Q}_1\hat{\boldsymbol{\lambda}} \tag{43}$$

Buradan aşağıdaki normal denklemler elde edilir:

$$(\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_1^{-1}\mathbf{A})\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_1^{-1}\mathbf{y} + \mathbf{R}_1\mathbf{Q}_1\hat{\boldsymbol{\lambda}}) \tag{44}$$

Bu denklemler, (38) eşitliği ile verilen genelleştirilmiş normal denklemlerden farklıdır. Dolayısıyla farklı bir çözüm yöntemi olarak karşımıza çıkar. İteratif çözüm işlemleri Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 2. WTLS Çözüm Algoritması-2

Adım 1:
1) $\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_y^{-1}\mathbf{A})^{-1}\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_y^{-1}\mathbf{y}$ kestirimini bul. Bunu yaklaşık değer olarak ata; $\boldsymbol{\beta}_0=\hat{\boldsymbol{\beta}}$.
2) Hata matrisinin ilk yaklaşık değeri için sıfır matrisi öngör; $\mathbf{E}_{A,0}=\mathbf{0}$.

i=1, 2,… için tekrarla:

Adım 2:
Aşağıdakileri hesapla;

$\mathbf{Q}_{1,i} = \mathbf{Q}_y + (\boldsymbol{\beta}_{i-1}^T \otimes \mathbf{I}_n)\mathbf{Q}_A(\boldsymbol{\beta}_{i-1} \otimes \mathbf{I}_n)$

$\tilde{\mathbf{A}}_i = (\mathbf{A} - \mathbf{E}_{A,i-1})$, $\tilde{\mathbf{y}}_i = \mathbf{y} - \mathbf{E}_{A,i-1}\boldsymbol{\beta}_{i-1}$

$\hat{\boldsymbol{\beta}}_i = (\tilde{\mathbf{A}}_i^T\mathbf{Q}_1^{-1}\tilde{\mathbf{A}}_i)^{-1}\tilde{\mathbf{A}}_i^T\mathbf{Q}_1^{-1}\tilde{\mathbf{y}}_i$

$\hat{\boldsymbol{\lambda}}_i = \mathbf{Q}_{1i}^{-1}(\tilde{\mathbf{y}}_i - \tilde{\mathbf{A}}_i\hat{\boldsymbol{\beta}}_i)$, $\hat{\mathbf{e}}_{A,i} = -\mathbf{Q}_A(\hat{\boldsymbol{\beta}}_i \otimes \mathbf{I}_n)\hat{\boldsymbol{\lambda}}_i$

$\hat{\mathbf{E}}_{A,i} = \text{inv ec}\hat{\mathbf{e}}_{A,i}$ (Ek-A)

Adım 3:
$\tau_i=\max(|\hat{\boldsymbol{\beta}}_i - \boldsymbol{\beta}_{i-1}|)$ değerini önceden belirlenmiş küçük bir ε hata sınır değeri ile karşılaştır:
1) $\tau_i>\varepsilon$ ise, $\boldsymbol{\beta}_i = \hat{\boldsymbol{\beta}}_i$ ve $\mathbf{E}_{A,i} = \hat{\mathbf{E}}_{A,i}$ ile yeni iterasyona geç.
2) $\tau_i\leq\varepsilon$ ise, iterasyonu durdur.

Tablo 3. WTLS Çözüm Algoritması-3

Adım 1:
$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_y^{-1}\mathbf{A})^{-1}\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_y^{-1}\mathbf{y}$ kestirimini bul. Bunu yaklaşık değer olarak ata; $\boldsymbol{\beta}_0=\hat{\boldsymbol{\beta}}$.

i=1, 2,… için tekrarla:

Adım 2:
Aşağıdakileri hesapla;

$\mathbf{Q}_{1,i} = \mathbf{Q}_y + (\boldsymbol{\beta}_{i-1}^T \otimes \mathbf{I}_n)\mathbf{Q}_A(\boldsymbol{\beta}_{i-1} \otimes \mathbf{I}_n)$

$\hat{\boldsymbol{\lambda}}_i = \mathbf{Q}_{1,i}^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{A}\boldsymbol{\beta}_{i-1})$, $\mathbf{R}_{1,i}=(\mathbf{I}_u \otimes \hat{\boldsymbol{\lambda}}_i^T)\,\mathbf{Q}_A(\boldsymbol{\beta}_{i-1} \otimes \mathbf{Q}_1^{-1})$

$\hat{\boldsymbol{\beta}}_i = (\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_{1i}^{-1}\mathbf{A})^{-1}(\mathbf{A}^T\mathbf{Q}_{1i}^{-1}\mathbf{y} + \mathbf{R}_{1i}\mathbf{Q}_{1i}\hat{\boldsymbol{\lambda}}_i)$

Adım 3:
$\tau_i=\max(|\hat{\boldsymbol{\beta}}_i - \boldsymbol{\beta}_{i-1}|)$ değerini önceden belirlenmiş küçük bir ε hata sınır değeri ile karşılaştır:

1) $\tau_i > \varepsilon$ ise, $\boldsymbol{\beta}_i = \hat{\boldsymbol{\beta}}_i$ ile yeni iterasyona geç.

2) $\tau_i \leq \varepsilon$ ise, iterasyonu durdur.

e. WTLS Çözümü Sonrasında Varyans Bileşen Kestirimi

İteratif işlem sonucunda m. iterasyonda bilinmeyenler vektörünün WTLS çözümü elde edilmiş olsun:

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = \hat{\boldsymbol{\beta}}_m \tag{45}$$

Bu çözüm kullanılarak, (28), (29), (31) ve (32) eşitliklerinden hata vektörleri kestirilir:

$$\hat{\mathbf{e}}_y = \mathbf{Q}_y \mathbf{Q}_1^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{A}\hat{\boldsymbol{\beta}}) \tag{46}$$

$$\hat{\mathbf{e}}_A = -\mathbf{Q}_A(\hat{\boldsymbol{\beta}} \otimes \mathbf{I}_n)\mathbf{Q}_1^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{A}\hat{\boldsymbol{\beta}}) \tag{47}$$

Schaffrin ve Wieser (2008)'e göre bilinmeyen varyans bileşeni kestirimi

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\hat{\mathbf{e}}_y^T \mathbf{Q}_y^{-1} \hat{\mathbf{e}}_y + \hat{\mathbf{e}}_A^T \mathbf{Q}_A^{-1} \hat{\mathbf{e}}_A}{n - u} \tag{48}$$

dir. Ancak bu kestirici yansız değildir. Shen vd. (2011) ve Xu vd. (2012) söz konusu problemi, ilgili varyans bileşen kestirimine "bias-düzeltmesi" getirerek çözmektedirler. Ancak bu çalışmalarda söz konusu bias-düzeltmesi oldukça küçüktür ve birçok çalışmada (48) ile verilen bileşen, kestirimlerin standart sapmalarının tespiti için kullanılmaktadır (Snow, 2012; Amiri-Simkooei ve Jazaeri, 2012).

Sonuçta, düzeltilmiş katsayılar matrisi

$$\tilde{\mathbf{A}} = \mathbf{A} - \hat{\mathbf{E}}_A \tag{49}$$

olmak üzere, bilinmeyenlerin ağırlık katsayıları matrisi

$$\mathbf{Q}_{\hat{\beta}} = (\tilde{\mathbf{A}}^T \mathbf{Q}_1^{-1} \tilde{\mathbf{A}})^{-1} \tag{50}$$

ve kovaryans matrisi

$$\mathbf{C}_{\hat{\beta}} = \hat{\sigma}^2 (\tilde{\mathbf{A}}^T \mathbf{Q}_1^{-1} \tilde{\mathbf{A}})^{-1} \tag{51}$$

elde edilir (Amiri-Simkooei ve Jazaeri, 2012).

4. AFİN DÖNÜŞÜMDE WTLS ÇÖZÜMÜ

XY (hedef) dik koordinat sistemi ile xy (başlangıç) dik koordinat sistemi arasında Afin dönüşümü eşitlikleri aşağıdaki gibi tanımlansın:

$$X = t_x + k_1 x - k_2 y \quad \text{ve} \quad Y = t_y + k_3 y + k_4 x \tag{52}$$

Burada, t, ilgili koordinat eksenindeki ötelemeyi; k'lı terimler ise diğer Afin dönüşümü parametrelerini göstermektedir.

Her iki sistemde p>3 adet eşlenik nokta koordinatları ve bunların kovaryans matrisleri

$\mathbf{y} = [X_1\ Y_1\ \ldots X_p\ Y_p]^T$, $\mathbf{C}_y = \sigma^2 \mathbf{Q}_y$

$\mathbf{x} = [x_1\ y_1\ \ldots x_p\ y_p]^T$, $\mathbf{C}_x = \sigma^2 \mathbf{Q}_x$

ile ifade edilirse, (17) EIV modelinin fonksiyonel kısmı

$$\underbrace{\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ \vdots \\ X_p \\ Y_p \end{pmatrix}}_{\mathbf{y}} - \underbrace{\begin{pmatrix} e_{X_1} \\ e_{Y_1} \\ \vdots \\ e_{X_p} \\ e_{Y_p} \end{pmatrix}}_{\mathbf{e}_x} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & x_1 & -y_1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & x_1 & y_1 \\ \vdots & & & & & \\ 1 & 0 & x_p & -y_p & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & x_p & y_p \end{pmatrix}}_{\mathbf{A}} - \ldots$$

$$\ldots \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & 0 & e_{x_1} & -e_{y_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & e_{x_1} & e_{y_1} \\ \vdots & & & & & \\ 0 & 0 & e_{x_p} & -e_{y_p} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & e_{x_p} & e_{y_p} \end{pmatrix}}_{\mathbf{E}_A} \underbrace{\begin{pmatrix} t_x \\ t_y \\ k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ k_4 \end{pmatrix}}_{\boldsymbol{\beta}} \tag{53}$$

ve stokastik kısmı

$$\mathbf{C} = \sigma^2 \begin{pmatrix} \mathbf{Q}_y & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{Q}_A \end{pmatrix} = \sigma^2 \begin{pmatrix} \mathbf{Q}_y & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{J}\mathbf{Q}_x\mathbf{J}^T \end{pmatrix} \tag{54}$$

biçiminde oluşturulur. nu×n=8p×2p boyutlu **J** matrisi, $\mathbf{e}_x$ hata vektörünü $\mathbf{e}_A = \text{vec}(\mathbf{E}_A)$ hata vektörüne dönüştürür:

$$\mathbf{e}_A = \text{vec}\begin{pmatrix} 0 & 0 & e_{x_1} & -e_{y_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & e_{x_1} & e_{y_1} \\ \vdots & & & & & \\ 0 & 0 & e_{x_p} & -e_{y_p} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & e_{x_p} & e_{y_p} \end{pmatrix} = \ldots$$

$$\cdots \begin{pmatrix} \mathbf{0}_n \mathbf{e}_x \\ \mathbf{0}_n \mathbf{e}_x \\ \mathbf{D}_1 \mathbf{e}_x \\ \mathbf{D}_2 \mathbf{e}_x \\ \mathbf{D}_3 \mathbf{e}_x \\ \mathbf{D}_4 \mathbf{e}_x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{0}_n \\ \mathbf{0}_n \\ \mathbf{D}_1 \\ \mathbf{D}_2 \\ \mathbf{D}_3 \\ \mathbf{D}_4 \end{pmatrix} \mathbf{e}_x = \mathbf{J}\mathbf{e}_x \qquad (55)$$

Burada, $\mathbf{D}_j$, k_j bilinmeyen dönüşüm parametresine ilişkin $n \times n = 2p \times 2p$ boyutlu bir permütasyon matrisidir:

$$\mathbf{D}_j = \mathbf{I}_p \otimes \mathbf{K}_j \quad (j=1,2,3,4) \qquad (56)$$

2×2 boyutlu $\mathbf{K}$ matrisleri ise aşağıdaki biçimde oluşturulur:

$$\mathbf{K}_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \ \mathbf{K}_2 = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{K}_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \ \mathbf{K}_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \qquad (57)$$

Böylece (53) ve (54) eşitliklerine göre EIV modeli oluşturulur ve bir önceki bölümde verilen WTLS çözüm algoritmalarından biri kullanılarak bilinmeyenler ve her iki koordinat sistemindeki koordinat hataları kestirilir.

5. SAYISAL UYGULAMA

Sayısal uygulama için koordinatları Demirel (2009)'da verilen 6 noktalı bir Afin dönüşümü problemi düşünülmüştür. Koordinatlar ve bunların probleme sonradan eklenen ağırlıkları Tablo 4'de verilmektedir.

Tablo 4. Hedef ve başlangıç sistemi koordinatları ve ağırlıkları

HEDEF SİSTEM				
i	X_i (m)	Y_i (m)	P_{Xi} (m^{-2})	P_{Yi} (m^{-2})
1	4527754,612	434244,302	1,0	2,0
2	4529097,150	432427,995	5,0	2,0
3	4537389,003	434023,394	10,0	1,0
4	4533316,751	429750,773	5,0	2,0
5	4534306,216	426390,182	4,0	0,5
6	4530615,243	427898,173	4,0	10,5
BAŞLANGIÇ SİSTEMİ				
i	x_i (m)	y_i (m)	P_{xi} (m^{-2})	P_{yi} (m^{-2})
1	-12681,216	-11115,112	30,0	10,0
2	-10849,480	-9793,890	4,0	20,0
3	-12348,250	-1484,610	50,0	1,6
4	-8123,500	-5605,860	50,0	2,4
5	-4751,710	-4655,920	1,3	3,2
6	-6302,628	-8328,789	1,4	36,0

Öncelikle yalnız hedef sistemi (XY) koordinatları hatalıymış gibi ele alınarak dengeleme hesabında bilinen yoldan ötelemeler ve diğer dönüşüm parametreleri hesaplanmıştır. Tablo 5'de "En Küçük Kareler" sütununda gösterilen bu kestirim değerleri WTLS algoritmaları için gereken ilk yaklaşık değerler olarak alınmıştır. Daha sonra bir önceki bölümde verilen açıklamalara uygun olarak ilgili EIV model oluşturulmuştur. Bu modelde iki sistemin koordinat kofaktör matrisleri $\mathbf{Q}_y$ ve $\mathbf{Q}_x$ (58), koordinatların Tablo 4'de verilen ağırlıklarından

$$\mathbf{Q}_y = \mathbf{P}_y^{-1} \ , \ \mathbf{P}_y = \mathrm{diag}(P_{X1} \ P_{Y1} \ldots P_{X6} \ P_{Y6})$$
$$\mathbf{Q}_x = \mathbf{P}_x^{-1} \ , \ \mathbf{P}_x = \mathrm{diag}(P_{x1} \ P_{y1} \ldots P_{x6} \ P_{y6}) \qquad (58)$$

şeklinde bulunmuştur. WTLS algoritmalarında iterasyonların yakınsamalarının kontrolü için hata sınır değeri ε, 10^{-12} alınmıştır. Her üç algoritma da 3. iterasyonda saniyelik bir hesap zamanında sonuca yakınsamış ve üçünden de aynı sonuçlar elde edilmiştir. Parametre kestirim değerleri Tablo 5'de, her iki koordinat sisteminin hata kestirimleri ise Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 5. En küçük kareler ve WTLS ile elde edilen parametre kestirim değerleri

Parametre	Kestirim Değeri	
	En Küçük Kareler	WTLS
t_x (m)	4539017,4190	4539017,4352
t_y (m)	421692,5469	421692,6166
k_1	0,011647225402	0,011651721608
k_2	-1,000003341129	-0,999998393604
k_3	-0,999994105682	-0,999985855098
k_4	0,011640379341	0,011637345558

En küçük kareler ve WTLS çözümleri sonucunda elde edilen ötelemeler arasında 1,6 ve 7 cm gibi farklar gözlenmektedir. Diğer yandan,

$$\lambda_x = \sqrt{k_1^2 + k_3^2}, \ \lambda_y = \sqrt{k_2^2 + k_4^2} \ ) \qquad (59)$$

şeklindeki ölçek çarpanlarını (59) düşündüğümüzde her iki çözüm arasında yaklaşık 5-8 ppm'lik bir ölçek değişimi olduğu görülmektedir. Böylesi bir fark iki sistem koordinatları arasında her 1 km'de cm mertebesinde belirsizliğe neden olur.

Yanı sıra, her iki çözümden elde edilen varyans bileşen kestirimleri şöyledir;

En küçük kareler; $\hat{\sigma}^2$ =0.035266586611,
WTLS ; $\hat{\sigma}^2$ =0.012475937055

(10) ve (51) eşitliklerine göre elde edilen parametre standart sapma değerleri Tablo 7'de verilmektedir. Buradan WTLS çözümünün daha küçük standart sapmalı sonuçlar üretmiş olduğu görülmektedir.

Tablo 6. WTLS sonucunda nokta koordinatlarının hata kestirim değerleri

	HEDEF SİSTEM	
i	$\hat{e}_{x_i}$ (m)	$\hat{e}_{Y_i}$ (m)
1	0,026335508456	-0,000806861723
2	0,003436019968	0,017848736300
3	0,007442742336	-0,021129326562
4	-0,058543186243	0,009588529509
5	0,026284431411	0,076344315872
6	0,017408793482	-0,006695584717
	BAŞLANGIÇ SİSTEMİ	
i	$\hat{e}_{x_i}$ (m)	$\hat{e}_{y_i}$ (m)
1	-0,000064018488	-0,002631668669
2	0,008874197481	-0,000879774803
3	-0,000439924706	-0,046363384075
4	0,000451748646	0,121871787890
5	0,028420448065	-0,032994306045
6	-0,050795724820	-0,001911580953

Tablo 7. En küçük kareler ve WTLS ile elde edilen parametre standart sapmaları

Parametre	Standart Sapma	
	En Küçük Kareler	WTLS
t_x (m)	0,1549	0,1215
t_y (m)	0,2092	0,1670
k_1	0,000012766348	0,000011320243
k_2	0,000011091706	0,000011032937
k_3	0,000017637742	0,000015787378
k_4	0,000020297539	0,000013057698

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Dengeleme hesabı açısından, EIV model, "katsayıların da rasgele hatalı olduğu dengeleme modeli" olarak tanımlanabilir. İstatistikte daha çok regresyon analizinde karşılaşılan bu model, haritacılık faaliyetlerinde benzerlik (Helmert) ve Afin koordinat dönüşümü gibi problemlerde önemli olmaktadır. Bilindiği üzere eşlenik nokta koordinat sayısının dönüşüm parametrelerinden fazla olması durumunda çözüm en küçük kareler yöntemiyle gerçekleştirilir. Klasik dengeleme hesabı ile uyumlu olması için, burada yalnız bir sisteme ilişkin koordinatların rasgele hatalı olduğu varsayılır. Aslında yalnız bir sistemin koordinatları değil diğer sistemin de koordinatları rasgele hatalı değerlerdir. Bunun sonucu olarak dengeleme modelinde geçen katsayılar matrisi rasgele değişkenlerden oluşur. Bu nedenle, söz konusu problemlerde bilinen dengeleme çözümü yerine mutlaka EIV model ve bunun çözümü yani TLS düşünülmelidir. Dahası, ilgili problemde geçen rasgele değişkenlerin kofaktör bilgileri de elimizde bulunuyorsa ağırlıklı TLS yani WTLS çözümü göz önüne alınmalıdır.

Geliştirildiği 2008 yılından bu yana jeodezide yoğun bir ilgi gören WTLS çözümü iteratif bir çözümdür: Modelde geçen tüm hataların ağırlıklı karelerinin toplamını belli bir koşul altında minimum yapan bilinmeyen parametreler belli bir yaklaşık değerden başlanarak iteratif olarak kestirilir. Çalışmada bu amaçla geliştirilmiş üç algoritma irdelenmiştir. Algoritmalar bir Afin dönüşümü uygulamasında denenmiştir. Uygulamadan şu sonuçlar çıkmaktadır: 1) Üç algoritma hem hız hem de doğruluk bakımından özdeştir. Bir programlama dilinde yazılacak bir program ile hızlıca çalıştırılabilir; başka problemlere kolayca uyarlanabilirler. 2) WTLS çözüm sonuçlarını en küçük kareler çözüm sonuçlarıyla karşılaştırdığımızda, dönüşüm parametrelerinin belirlenmesinde her iki sistemdeki koordinat hatalarının dikkate alınması gerektiği görülür.

EK-A: vec ve invec operatörleri

Bir m×n boyutlu **A** matrisi, $\mathbf{A}=[\mathbf{a}_1\ \mathbf{a}_2\ \ldots\mathbf{a}_n]$ şeklinde, m×1 boyutlu **a** vektörlerinden oluşuyorsa, vec operatörü

$$\text{vec}(\mathbf{A})=\begin{pmatrix}\mathbf{a}_1\\ \mathbf{a}_2\\ \vdots\\ \mathbf{a}_n\end{pmatrix} \qquad \text{(A1)}$$

işlemini gerçekleştirir.

invec operatörü ise (A1)'deki mn×1 boyutlu vektörden m×n boyutlu **A** matrisinin elde edilmesini yani vec operatörünün tersini ifade eder.

EK-B: Kronecker (⊗) çarpımı

Bir m×n boyutlu $\mathbf{A}=(a_{ij})$ matrisi ve p×q boyutlu **B** matrisi için aşağıdaki biçimde yapılan çarpıma Kronecker çarpımı denir:

$$\mathbf{A}\otimes\mathbf{B}=\begin{pmatrix} a_{11}\mathbf{B} & \cdots & a_{1n}\mathbf{B} \\ \vdots & & \\ a_{m1}\mathbf{B} & \cdots & a_{mn}\mathbf{B} \end{pmatrix} \quad \text{(B1)}$$

$\mathbf{A}\otimes\mathbf{B}$ matrisi, $mp\times nq$ boyutlu olur.

KAYNAKLAR

Amiri-Simkooei, A. ve Jazaeri, S., (2012), **Weighted total least-squares formulated by standard least squares theory**, Journal of Geodetic Science 2(2): pp.113-124.

Carroll, R.J. ve Ruppert, D., (1996), **The use and misuse of orthogonal regression in linear errors-in-variables models**, The American Statistician, 50(1): pp. 1-6.

Demirel, H., (2009), **Dengeleme Hesabı**, 3. Baskı, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, İstanbul.

Fang, X., (2011), **Weighted total least squares solutions for applications in geodesy**, PhD Dissertation, Geodaesie und Geoinformatik Der Leibniz Universitaet Hannover, Hannover.

Fang, X., (2013), **Weighted total least squares: necessary and sufficient conditions**, **fixed and random parameters**, Journal of Geodesy, 87: pp. 733-749.

Ghilani, C.D. ve Wolf, P.R., (2006), **Adjustment computations: Spatial Data Analysis**, Fourth Edition, John Wiley&Sons Inc., Hoboken, New Jersey.

Gillard, J., (2010), **An overview of linear structural models in errors-in-variables regression**, REVSTAT Statistical Journal, 8(1): pp. 57-80.

Golub, G.H. ve Van Loan, C.F., (1980), **An analysis of the total least squares problem**, SIAM J. Numer. Anal., 17(6): pp. 883-893.

Koch, K.R., (1999), **Parameter estimation and hypothesis testing in linear models**, Second Edition, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.

Lu, Y., (2012), **Performing improved two-step camera calibration with weighted total least-squares**, Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciennces, Vol. XXXIX-B6, XXII ISPRS Congress, Melbourne, Australia, 141-146.

Mahboub, V., (2012), **On weighted total least-squares for geodetic transformation**, Journal of Geodesy, 86(5): pp. 359-367.

Neitzel, F. ve Petrovic, S., (2008), **Total least squares (TLS) im Kontext der Ausgleichung nach kleinsten Quadraten am Beispiel der ausgleichenden Geraden**, Z für Vermessungswesen, 133: pp. 141-148.

Neitzel, F., (2010), **Generalization of total least-squares on example of unweighted and weighted 2D similarity transformation**, Journal of Geodesy, 84(12): pp. 751-762.

Paris, Q., (2004), **Robust estimators of errors-in-variables models-Part I**, Working Paper, No. 04-007, Department of Agricultural and Resource Economics, University of California, Davis.

Schaffrin, B. ve Felus, Y.A., (2008), **On the multivariate total least-squares approach to empirical coordinate transformation. Three algorithms**, Journal of Geodesy, 82: pp. 373-383.

Schaffrin, B. ve Wieser, A., (2008), **On weighted total least-squares adjustment for linear regression**, Journal of Geodesy, 82: pp. 415-421.

Schaffrin, B. ve Snow, K., (2010), **Total least-squares regularization of Tykhonov type and an ancient racetrack in Corinth**, Linear Algebra and its Applications, 432(8): pp. 2061-2076.

Schaffrin, B. ve Uzun, S., (2012), **On the reliability of errors-in-variables models**, Acta Et Commentationes Universitatis Tartuensis De Mathematica, 16(1): pp. 69-81.

Schaffrin, B., Neitzel, F., Uzun, S., Mahboub, V., (2012), **Modifying Cadzow's algorithm to generate the optimal TLS-solution for the structured EIV-model of a similarity transformation**, Journal of Geodetic Science, 2(2): pp. 98-106.

Shen Y., Bofeng, L., Chen Y., (2011), **An iterative solution of weighted total least-squares adjustment**, Journal of Geodesy, 85(4): pp. 229-238.

Snow, K., (2012), **Topics in total least-squares adjustment within the errors-in-variables model: Singular cofactor matrices and prior information**, Report No. 502, Geodetic Science Ohio State University, Columbus, Ohio.

Tong, X., Jin, Y., Li, L., (2011), **An improved weighted total least squares method with applications in linear fitting and coordinate transformation**, Journal of Surveying Engineering, 137(4): pp. 120-128.

Van Huffel, S., (2004), **Total least-squares and errors-in-variables modeling: Bridging the gap between statistics, computational mathematics and engineering**, COMPSTAT 2004 Symposium, Physica-Verlag/Springer: pp. 1-16.

Xu, P., Liu, J., Shi, C., (2012), **Total least squares adjustment in partial errors-in-variables models: algorithm and statistical analysis**, Journal of Geodesy, 86(8): pp. 661-675.

Arazi Örtüsü ve Kullanımının Haritalanmasında WorldView-2 Uydu Görüntüsü ve Yardımcı Verilerin Kullanımı

(The Use of Worldview-2 Imagery and Auxiliary Data for Land Cover and Land Use Mapping)

İsmail ÇÖLKESEN[1], Tahsin YOMRALIOĞLU[2]
[1]Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Gebze, Kocaeli
[2]İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul
icolkesen@gyte.edu.tr

ÖZET

Uzaktan algılama teknolojilerindeki son gelişmeler uydu görüntülerinin analizinde ve yorumlanmasında yeni araştırma olanakları ortaya çıkarmıştır. Yüksek konumsal ve spektral çözünürlüklü sensörler tarafından kaydedilen görüntüler belirli bir alandaki farklı yeryüzü objelerine ilişkin daha detaylı bilgiler sağlamaktadır. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri yardımıyla şehir ağaçları, orman türleri ve su geçirmeyen yüzeyler gibi arazi kullanımı ve arazi örtüsü tiplerinin belirlenmesi son yıllarda uzaktan algılama alanında öne çıkan araştırma konularındandır. Bu çalışmanın temel amacı, çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında yardımcı verilerin etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, 8 spektral banda sahip yüksek çözünürlüklü Worldview-2 (WV2) görüntüsü arazi kullanımı ve arazi örtüsü haritası üretilmesinde kullanılmıştır. Söz konusu spektral bantlara ilave olarak 12 vejetasyon indeksi, ilk iki ana bileşen ve gri düzey eş oluşum matrisinden hesaplanan doku özellikleri yardımcı veri seti olarak uygulamada kullanılmıştır. Yardımcı veri setlerinin sınıflandırma doğruluğuna etkilerinin incelenmesi amacıyla, WV2 ve yardımcı verilerin farklı kombinasyonlarını içeren 8 veri seti destek vektör makineleri (DVM) sınıflandırıcı ile sınıflandırılmıştır. Sonuçlar, DVM sınıflandırıcısı ile hesaplanan en yüksek genel sınıflandırma doğruluğunun (%94,43) WV2'nin 8 spektral bandı ve doku özelliklerini içeren veri seti ile elde edildiğini göstermektedir. Genel olarak ele alındığında, bu çalışma yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında yardımcı veri setlerinin kullanımının etkinliğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Worldview-2, destek vektör makineleri, yardımcı veri, doku özellikleri, vejetasyon indeksleri görüntü sınıflandırma.*

ABSTRACT

Recent developments in remote sensing technology have provided new research opportunities for analyzing and interpreting satellite imagery. Imagery acquired by high spatial and spectral resolution sensors provides more detailed information about the Earth's surface objects in a specified area. In recent years, determination of land use and land cover types including urban trees, forest types and impervious surfaces using very high resolution imagery have been one of the hot topics in remote sensing arena. The main purpose of this study is to explore the effect of auxiliary data in the classification of the very high resolution satellite images. For this purpose, Worldview-2 (WV2) imagery having high spatial resolution with eight spectral bands was utilized to produce the land use and land cover map in this study. In addition to spectral bands, 12 vegetation indices, first two principal components and texture features calculated by using gray-level co-occurrence matrix were also considered as an auxiliary data. 8 data sets consisting of different combinations of WV2 and the auxiliary data were classified using support vector machine classifier (SVM) to investigate the effect of auxiliary data sets on the classification accuracy. Results showed that the SVM classifier produced the highest classification accuracy of 94.43% with the data set including the spectral bands of WV2 imagery and textural features. Overall, this study verifies the effectiveness of using auxiliary data set in the classification of very high resolution satellite imagery.

Key Words: *Worldview-2, support vector machine, auxiliary data, texture features, vegetation indices, image classification.*

1. GİRİŞ

Uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılması ve analizi neticesinde farklı spektral özelliklere sahip doğal ve yapay nesneler tespit edilebilmekte ve mevcut durumlarına ilişkin tematik haritalar üretilebilmektedir. Elde edilen tematik haritalar global ve lokal ölçekli bir çok çalışmada temel altlık olarak değerlendirmeye alınmaktadır. Son yıllarda uzaktan algılama teknolojileri ve uydu sensörlerinin tasarımında yaşanan gelişmeler beraberinde uzaktan algılama alanında yeni araştırma konularının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Özellikle yüksek çözünürlüğe sahip uydu görüntülerinin varlığı ile birlikte yeryüzü nesnelerine ilişkin gerek konumsal gerekse spektral açıdan daha detaylı bilgiler elde edilebilmektedir. Söz konusu görüntüler başta detaylı arazi örtüsü veya kullanımının haritalanması olmak üzere benzer spektral özelliklere sahip doğal ve yapay nesnelerin

birbirinden ayırt edilmesi amacıyla kullanılabilmektedir. Literatürde ekolojik envanter ve sürdürülebilir çevre açısından büyük öneme sahip meşcere tiplerinin ve orman ağaç türlerinin belirlenmesi, orman hastalıklarının tespiti ve biyokütle hesaplamalarında yüksek çözünürlüğe sahip uydu görüntülerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir (Pu, vd., 2012; Fernandes, vd., 2013; Garrity, vd., 2013; Hirata, vd., 2014). Yeni nesil uzaktan algılama teknolojilerinin yoğun olarak kullanıldığı bir diğer çalışma alanı ise yapılaşmış bölgelerdeki benzer spektral özelliklere sahip yapay nesnelerin ayırt edilmesidir. Son yıllarda şehir alanlarının haritalanması, arazi kullanımındaki değişiklerin izlenmesi, su geçirimsiz yüzeylerin belirlenmesi, otomatik bina ve yol çıkarımı ile ilgili uygulamalarda yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin temel veri seti olarak kullanıldığı görülmektedir (Patino, vd., 2013; Xu 2013; Huang, vd., 2014; Zhang, vd., 2014).

Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanıcılara yeryüzü ile ilgili detaylı bilgiler sağlamasına karşın, görüntüdeki yoğun piksel sayısı, komşu pikseller arasındaki spektral benzerlik ve gölge alanlarındaki artış nesnelerin birbirinden ayırt edilmesi ve sınıflandırılması noktasında önemli problemler olarak ortaya çıkmaktadır (Zhou, vd., 2009; Lu, vd., 2011). Nesneler arasındaki spektral ayrımın daha kolay geçekleştirilmesi ve sınıflandırma doğruluğunun arttırılması amacıyla uydu görüntüleri ile birlikte yardımcı verilerin kullanılması söz konusudur. Literatürde uydu görüntülerinin spektral bantları yardımıyla üretilen vejetasyon indeksleri, ana bileşenler ve doku özellikleri en sık kullanılan yardımcı veri setleri arasındadır. Örneğin, Franklin, vd., (2000) yüksek çözünürlüklü görüntülerinin doku özellikleriyle entegrasyonu sonucunda sınıflandırma doğruluğunun önemli derecede arttığını ifade etmişlerdir. Ghosh, vd., (2014) Worldview-2 uydu görüntüsü yardımıyla Bamboo ağaçlarının tespit edilmesinde yardımcı veri olarak gri düzey eş oluşum matrisinden hesaplanan doku özelliklerini ve ilk üç ana bileşeni kullanmıştır. Löw, vd., (2013) tarımsal ürünlere ait tematik harita üretiminde Rapideye uydu görüntüsünün mevcut multispektral bantlarına ilave olarak vejetasyon indeksleri, doku özellikleri, ana bileşenler ve semi-variogramlardan oluşan 71 yardımcı veri setini sınıflandırma işleminde değerlendirmeye almıştır. Shamsoddini, vd., (2013) Worldview-2 uydu görüntüsü üzerinden iğne yapraklı ağaçların haritalanması probleminin çözümünde çeşitli bant oranlamalarını, ana bileşenleri, doku özelliklerini ve 26 farklı vejetasyon indeksini yardımcı veri seti olarak kullanmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin sınıflandırılması probleminde yardımcı verilerin sınıflandırma doğruluğu üzerindeki etkisinin incelenmesidir. Bu amaca yönelik olarak benzer spektral özelliğe sahip doğal ve yapay nesnelerin sınıflandırılması ve tematik harita üretiminde yüksek konumsal (0,5m pankromatik ve 2m multispektral) ve spektral çözünürlüğe (8 spektral bant) sahip tek uydu görüntüsü olan WorldView-2 görüntüsü kullanılmıştır. Sınıflandırma doğruluğunun arttırılması amacıyla 12 farklı vejetasyon indeksi, ilk iki ana bileşen ve gri düzey eş oluşum matrisinden hesaplanan doku özellikleri yardımcı veri seti olarak uygulamada dikkate alınmıştır. Uydu görüntüsü ve yardımcı verilerin farklı kombinasyonlarından oluşturulan veri setlerinin sınıflandırılması ve tematik harita üretiminde son yıllarda birçok uygulamada başarı ile kullanılan destek vektör makineleri sınıflandırıcısından yararlanılmıştır. Yardımcı verilerin sınıflandırma doğruluğuna etkilerinin incelenmesinde sınıflandırma sonucu hesaplanan genel sınıflandırma doğruluklarının yanında kullanıcı ve üretici doğruluklarından da faydalanılmıştır. Hesaplanan genel sınıflandırma doğrulukları arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı Ki-kare (χ^2) dağılımını esas alan McNemar testi kullanılarak analiz edilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİ

Kocaeli ili Gebze ilçe sınırları içerisinde Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü kampüsünü de kapsayan 334 hektarlık bölge çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Çalışma alanı iğne ve geniş yapraklı ağaç türlerinin bir arada bulunduğu bir floraya sahiptir. Şekil incelendiğinde özellikle pilot bölgenin kuzey bölümünde iğne yapraklı çam ağaçlarının yoğunlaştığı görülmektedir. Bölgedeki bitki örtüsü incelendiğinde benzer spektral özelliklere sahip aynı familyadan fıstık çamı (*Pinus Pinea*) ve kızılçam (*Pinus Brutia Ten*.) ağaçlarının varlığı tespit edilmiştir. Çalışma alanının batı kesiminde ise zeytin (*Olea Europaea*) ve fıstık çamı (*Pinus Pinea*) ağaçlarının bulunduğu görülmüştür. Alanın doğu kısmında ise çınar (*Platanus orientalis L.)* ve fıstık çamı (*Pinus Pinea*) ağaçlarının birbirine komşu şekilde konumlandığı görülmektedir. Çalışma alanı doğal olmayan obje türleri veya su geçirmeyen yüzeylerin varlığı açısından ele alındığında kırmızı, beyaz ve gri çatı rengine sahip binalar ve asfalt yolların

bölgenin temel arazi kullanım sınıflarını oluşturduğu tespit edilmiştir. Çalışma bölgesinde yapılan detaylı arazi incelemeleri sonucunda bölgede 12 temel arazi örtüsü/kullanım sınıfı olduğuna karar verilmiştir. Bu sınıflar içerisinde benzer spektral özelliklere sahip geniş yapraklı ağaç türlerinden çınar ve zeytin sınıfları, iğne yapraklı ağaç türlerinden fıstık çamı ve kızılçam sınıfları oluşturulmuştur. Yapılaşmış alanlar veya geçirimsiz yüzey olarak tanımlanan bina sınıfı içerisine kırmızı, beyaz ve gri çatıya sahip olan yapılar dahil edilirken ana ve ara yollar yol sınıfı içerisinde değerlendirmeye alınmıştır.

Şekil 1. Çalışma alanının konumu ve uygulamada kullanılan Worldview-2 görüntüsü.

Yüksek konumsal çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri yardımıyla arazi örtüsü/kullanımını gösteren tematik harita üretiminde karşılaşılan en büyük problemlerden birisi de gölge sorunudur. Gölge alanları içerisinde kalan pikseller koyu veya gri bina çatıları ve su gibi diğer yeryüzü özellikleri ile benzer spektral özellikler sergileyebilmektedir (Aguilar, vd., 2013; Lu, vd., 2010;). Bu spektral benzerlik özellikle piksel tabanlı sınıflandırıcılar kullanılması durumunda gölge alanlardaki piksellerin hatalı sınıflandırılmasına dolayısıyla sınıflandırma doğruluğunda düşüşe neden olmaktadır. Bu nedenle arazi örtüsü/kullanımını temsil eden sınıflar içerisine gölge sınıfının dahil edilmesi söz konusu problemin çözümünde kullanılan bir yaklaşımdır (Shackelford, vd., 2003). Bu çalışmada gölge probleminden kaynaklanabilecek sınıflandırma hatalarının azaltılması amacıyla gölge sınıfı tanımlanmıştır. Bunun yanında çalışma alanı içerisinde temel arazi örtüsü sınıfları olarak kabul edilen toprak, su ve bozkır alanları mevcut olduğundan ilgili sınıflar değerlendirmeye alınmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Belirlenen çalışma alanına ait arazi örtüsü/kullanımını temsil eden tematik harita üretiminde 12 Temmuz 2012 tarihinde kaydedilen Worldview-2 (WV2) uydu görüntüsü kullanılmıştır. 2009 yılında uzaya gönderilen WV2 uydusu 11 bit radyometrik çözünürlüğe sahip olup 8 multispektral bantta görüntüleme yapmaktadır. WV2 sensörleri klasik kırmızı (630-690 nm), yeşil (510-580 nm), mavi (450-510 nm) ve yakın kızılötesi (770-895 nm) bantlarına ilave olarak kıyı (400-450nm), sarı (585-625 nm), kırmızı-kenar (705-745 nm) ve ikinci bir kızıl ötesi (860-1040 nm) bantlara sahiptir. Üretici firma tarafından radyometrik düzeltmesi yapılarak kullanıcıya sunulan WV2 görüntüsünün atmosferik olarak düzeltilmesi ENVI (5.1) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Görüntünün geometrik olarak düzeltmesi ve UTM koordinat sistemine dönüşümünde tüm çalışma alanına homojen olarak dağılan 20 yer kontrol noktası kullanılarak birinci derece Afin dönüşümü yardımıyla yaklaşık 0,5 piksel karesel ortalama ile düzeltme işlemi gerçekleştirilmiştir. WV-2 görüntüsünün sahip olduğu pankromatik görüntü ile multispektral görüntülerin kaynaştırılması işlemi için literatürde yaygın olarak kullanılan Gram-Schmidt algoritması kullanılmıştır. Kaynaştırma sırasında 3x3 boyutlu yumuşatma filtresi uygulanmış ve yeniden örnekleme işleminde Bilineer enterpolasyon algoritması kullanılmıştır.

Çalışma alanı içerisindeki geniş ve iğne yapraklı ağaç türlerine ilişkin spektral özelliklerin belirlenmesi ve bölgedeki ağaç türlerine ilişkin örnekleme alanlarının tespitinde kullanılmak üzere arazide spektral ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla tespit edilen ağaç türleri arasından rastgele belirlenen alt örnekleme bölgelerinin her birinden numuneler toplanmıştır. Söz konusu numuneler 350nm ile 2500nm spektral aralığında algılama özelliğine sahip ASD FieldSpec3 spektroradyometresi yardımıyla uydu görüntü geçişleriyle yaklaşık eş zamanlı olarak 15 tekrarlı yansıtım değeri ölçülmüştür. Arazide toplanan örneklerin ölçümünde güneş ışığına ihtiyaç duymadan ve ilgi duyulan nesneye temas edilerek spektral ölçümlerin gerçekleştirilmesi prensibine dayalı ASD High Intensity Contact

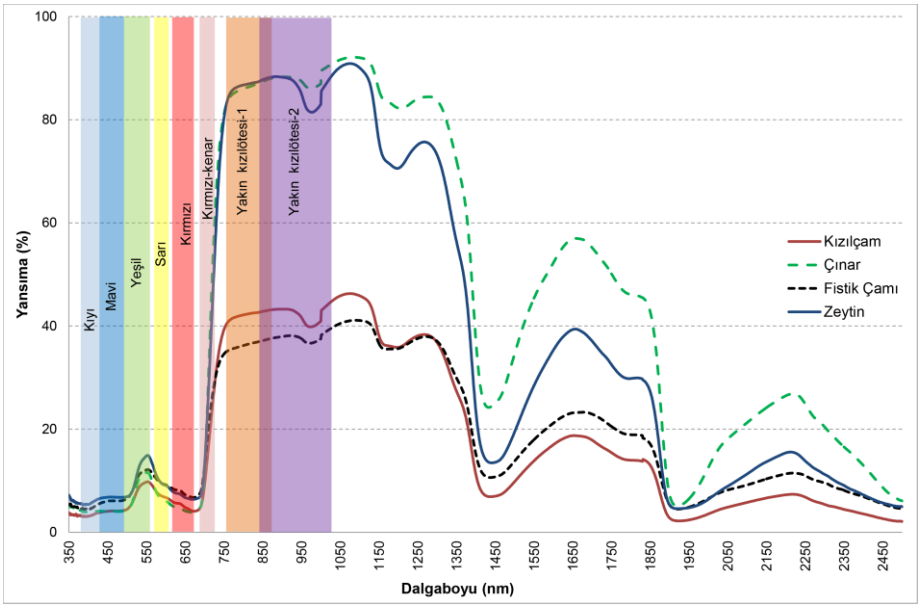
Probe cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın uygulamalarda kullanılmasının en büyük avantajı güneş enerjisine ihtiyaç duymayıp kendi aydınlatma özelliğini kullanarak ilgi duyulan nesneye direkt temas ile kullanılmasıdır. Cihaz sahip olduğu optik tasarımı ile dağınık şekilde gelen yansıma hatalarının minimize edilmesine ve örneklerin laboratuvar ortamında da değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Geniş ve iğne yapraklı ağaç sınıfları için hesaplanan ortalama spektral yansıma eğrileri Şekil 2'de verilmiştir.

Şekilde WV2'nin multispektral algılama yaptığı dalga boyu aralıkları ilgili spektral bant adıyla gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde kızılötesi bölgede iğne ve geniş yapraklı ağaç türlerinin spektral olarak birbirlerinden kolaylıkla ayırt edilebildikleri ve WV2 uydu görüntüsünün kızılötesi bantlarının bu ayrımda önemli katkı sağladığı görülmektedir. İğne yapraklı ağaç türlerinden fıstık çamı ve kızılçam ağaçları kızılötesi bölgede birbirlerinden farklı yansıtıma sahip iken, geniş yapraklı ağaç türlerinden çınar ve zeytin bu bölgede benzer spektral davranış sergilemektedir. Bu durum geniş yapraklı ağaçların sınıflandırılması sırasında hatalı sınıflandırılmış piksellere neden olabileceği düşülmektedir. Geniş ve iğne yapraklı ağaç türleri için elde edilen spektral yansıma eğrilerinden yararlanılarak WV2 görüntüsü üzerinden örnekleme alanları belirlenmiştir. Diğer sınıflar için örnekleme alanları farklı tarihlerde çekilmiş hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve arazide el GPS aleti ile belirlenen noktalar yardımıyla tespit edilmiştir.

Sınıflandırma sonucu elde edilen performansların değerlendirilmesinde öncelikli olarak genel sınıflandırma doğrulukları kullanılmıştır. Bu değerlendirmelerin yanı sıra bant sayısının artışı ile birlikte elde edilen genel doğruluklar arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlılığı McNemar testi kullanılarak analiz edilmiştir. Ki-kare dağılımını esas alan McNemar testi hesaplamalarda 2x2 boyutlu bir hata matrisi kullanmaktadır (Foody, 2004). Eşitlik (1) yardımıyla hesaplanan istatistik değer ki-kare tablo değerinden (%95 güven aralığında $\chi^2 = 3,84$) büyük olduğunda iki sınıflandırma performansı arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu söylenebilir. Bu sonuç iki sınıflandırma sonucunun birbirinden farklı olduğunun istatistiksel bir göstergesidir. Hesaplanan istatistik değerinin kritik tablo değerinden küçük olduğunda ise iki sınıflandırma sonucunun istatistiksel olarak benzer olduğunu ifade edilebilir.

$$\chi^2 = \frac{\left(n_{ij} - n_{ji}\right)^2}{n_{ij} + n_{ji}} \qquad (1)$$

Eşitlikte n_{ij}, *i.* sınıflandırıcı tarafından hatalı *j.* sınıflandırıcı tarafından doğru sınıflandırılan piksel sayısını gösterirken n_{ji}, *j.* sınıflandırıcı tarafından hatalı *i.* sınıflandırıcı tarafından doğru sınıflandırılan piksel sayısını ifade etmektedir.



Şekil 2. İğne ve geniş yapraklı ağaç türlerine ilişkin spektral yansıma eğrileri.

4. YARDIMCI VERİLERİN OLUŞTURULMASI

Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin analizinde nesneler arasındaki spektral ayrımın arttırılması ve sınıflandırma doğruluğunun iyileştirilmesi amacıyla yardımcı veri setlerinden yararlanılmaktadır. Bu çalışmada Worldview-2 (WV2) uydu görüntüsü ile arazi örtüsü/kullanımına yönelik tematik harita üretiminde yardımcı veri seti olarak çeşitli vejetasyon indeksleri, ana bileşenler analizi sonucu elde edilen özellikler ve gri düzey oluşum matrisi yardımıyla hesaplanan doku özellikleri kullanılmıştır. İlk uzaktan algılama görüntüsünün elde edilmesinden günümüze kadar vejetasyon indeksleri başta arazi örtüsü/kullanımı tespitinde olmak üzere ormancılık, rekolte tahmini ve ürün sağlığı gibi bir çok uygulamada temel veri kaynağı olarak kullanılmaktadır. Günümüze kadar literatürde birçok vejetasyon indeksi tanımlanmış ve uygulamalarda kullanılmıştır (Bannari, vd., 1995). Bu çalışmada WV2 uydu görüntüsünün yeni bantlarını da kullanan 12 farklı vejetasyon indeksi yardımcı veri seti olarak hesaplanmış ve sınıflandırmada kullanılmıştır. Tablo 1'de verilen vejetasyon indekslerinin hesaplanmasında atmosferik olarak düzeltilen ve yansıma değerleri hesaplanan WV2 görüntüsü kullanılmıştır.

Uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılmasında kullanılan bir diğer yardımcı veri seti doku özellikleridir. Düzenli bir frekansta tekrar eden desen ve/veya desen kombinasyonu olarak tanımlanan doku bir görüntüdeki ilgi duyulan objeleri tanımlanmasında kullanılan önemli bir karakteristiktir (Haralick, vd., 1973). Doku özellikleri iki komşu piksel arasındaki uzaklık ve açı ilişkilerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanan gri düzey oluşum matrislerinden hesaplanmaktadır. Doku özellikleri arasında en sık kullanılanları ortalama, varyans, homojenlik, zıtlık, farklılık, entropi, ikinci moment ve korelasyon olarak sıralanabilir. Bu çalışmada söz konusu doku parametrelerinin hesaplanmasında 3x3 pencere boyutu dört farklı açıda (0°, 45°, 90° ve 135°) görüntüye uygulanmış ve WV2 görüntüsünün tüm bantları için 8 doku parametresi ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Tablo 1. Uygulamada kullanılan vejetasyon indeksleri ve açıklamaları.

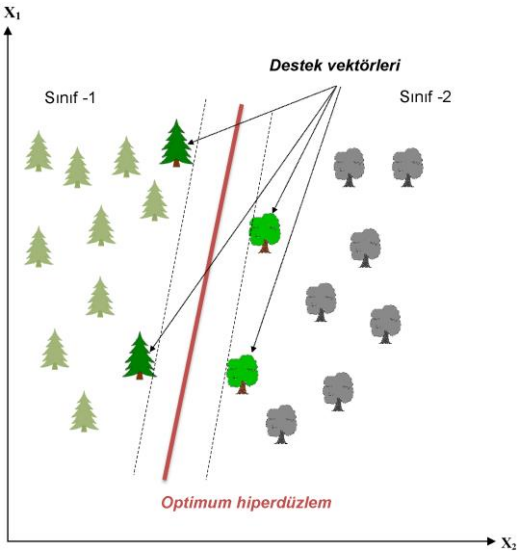
Özellik	Tanımlama/Formül
Normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi- 1	$NDVI-1=\frac{NIR2-Kırmızı}{NIR2+Kırmızı}$
Normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi - 2	$NDVI\text{-}2=\frac{NIR1\text{-}Kırmızı}{NIR1+Kırmızı}$
Normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi - 3	$NDVI-3=\frac{NIR2-Kırmızı\ kenar}{NIR2+Kırmızı\ kenar}$
Normalleştirilmiş toprak indeksi	$NDSI=\frac{Sarı-Yeşil}{Sarı+Yeşil}$
Homojen olmayan özellik farkı	$NHFD=\frac{Kırmızı\ kenar-Kıyı}{Kırmızı\ kenar+Kıyı}$
Geliştirilmiş bitki örtüsü indeksi	$EVI=2.5\times\frac{NIR2-Kırmızı}{NIR2+6\times NIR2-7.5\times Mavi+1}$
Düzenlenmiş toprak etkisi azaltılmış vejetasyon indeksi	$MSAVI=\frac{2\times NIR2+1-\sqrt{(2\times NIR2+1)^2-8\times(NIR2-Kırmızı)}}{2}$
Orman ve bitki indeksi	$FCI=\frac{NIR1-Kırmızı\ kenar}{NIR1+Kırmızı\ kenar}$
Toprak etkisi azaltılmış vejetasyon İndeksi	$SAVI=(1+L)\times\frac{NIR2-Kırmızı}{NIR2+Kırmızı+L}$
Atmosferik koşullara dayanıklı bitki indeksi	$ARVI=\frac{NIR2-2\times Kırmızı+Mavi}{NIR2+2\times Kırmızı-Mavi}$
Optimize edilmiş toprak etkisi azaltılmış vejetasyon indeksi	$OSAVI=\frac{NIR2-Kırmızı}{NIR2+Kırmızı+0.16}$
Ana bileşen ve kızılötesi bant ile normalleştirilmiş indeks	$PCABI=\frac{PCA1+NIR2}{PCA1\text{ - }NIR2}$

Çalışma kapsamında ele alınan son yardımcı veri seti ana bileşenler analizi ile elde edilen özelliklerdir. Ana bileşenler analizinde amaç değişimi ifade edecek yeni bir koordinat sistemi tanımlamaktır. Ham uydu görüntüsünün ana bileşenler analiziyle yapılan dönüşümü sonucunda, elde edilen yeni görüntünün yorumlanabilirliği orijinal görüntüye göre daha yüksektir (Jensen, 2005). Bu nedenle ana bileşenler analizi özellikle görüntüdeki korelasyonlu bantların elemine edilmesi ve veri setinin boyutunun azaltılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ana bileşenler analizi sonucunda WV2 görüntüsüne ait ilk iki bileşenin toplamda %90,59 varyansa sahip olduğu görülmüş ve uygulamada söz konusu bileşenler dikkate alınmıştır.

5. DESTEK VEKTÖR MAKİNELERİ SINIFLANDIRMA YÖNTEMİ

Destek vektör makineleri (DVM) son yıllarda uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılması ve tematik harita üretiminde kullanılan ve sınıflandırma etkinliği birçok çalışmada ortaya konulan istatistiksel olmayan bir sınıflandırma yöntemidir (Huang, vd., 2002; Kavzoğlu, vd., 2010; Mountrakis, vd., 2011). DVM ile sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesinde temel prensip Şekil 3'te de gösterildiği üzere iki sınıfa ait verileri birbirinden en uygun şekilde ayıran optimum bir hiperdüzlem belirlenmesidir (Vapnik, 1995).

Doğrusal yapıya sahip veri setlerinin sınıflandırılmasında lineer fonksiyonları kullanan DVM, doğrusal olmayan veri setleri olması durumunda kernel fonksiyonları olarak bilinen fonksiyonlar kullanılmaktadır. Söz konusu kernel fonksiyonları ile doğrusal olmayan veri seti yüksek boyutlu bir uzaya dönüştürülerek sınıflar arasında doğrusal olarak ayrımların yapılabilmesine olanak sağlamaktadır (Mathur, vd., 2008). Literatürde uzaktan algılanmış görüntüler gibi doğrusal olmayan yapıya sahip veri setlerinin sınıflandırılması amacıyla farklı kernel fonksiyonu tanımlanmıştır. Kernel fonksiyonları içerisinde radyal tabanlı fonksiyon problem çözümündeki etkinliği ve yüksek sınıflandırma doğruluğu üretmesi nedeniyle en çok tercih edilen fonksiyon olma özelliğine sahiptir (Kavzoglu, vd., 2009).



Şekil 3. Destek vektör makinelerinin temel çalışma prensibi.

6. UYGULAMA

Çalışma alanını kapsayan WV2 görüntüsünün sınıflandırılmasında kullanılmak üzere tespit edilen örnekleme alanları içerisinden rastgele örnekleme prensibinden hareketle ayrı ayrı eğitim (9.000 piksel) ve test (5.400 piksel) alanları belirlenmiştir. Uydu görüntüsü ve görüntü üzerinden hesaplanan yardımcı veri setleri bir araya getirilerek 86 banda sahip yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Öncelikli olarak WV2 görüntüsüne sırasıyla vejetasyon indeksleri, ana bileşenler ve doku özellikleri ayrı ayrı ilave edilerek sınıflandırma doğruluğuna olan etkileri incelenmiştir. Bununla birlikte WV2 görüntüsünün klasik (kırmızı, yeşil, mavi ve yakın kızılötesi-1) ve yeni (kıyı, sarı, kırmızı-kenar ve yakın kızılötesi-2) bantları ayrı ayrı bir veri seti olarak ele alınıp sınıflandırma doğruluğundaki değişimler analiz edilmiştir. Sonuç olarak sınıflandırmaya esas veri seti olarak WV2 multispektral bantları ve çalışmada dikkate alınan yardımcı verilerin değişik kombinasyonlarını içeren 8 farklı veri seti oluşturulmuştur (Tablo 2). Tabloda gösterilen 8 farklı veri seti için ilgili bantları içerecek şekilde eğitim ve test verileri ayrı ayrı düzenlenerek sınıflandırma işleminde kullanılmıştır.

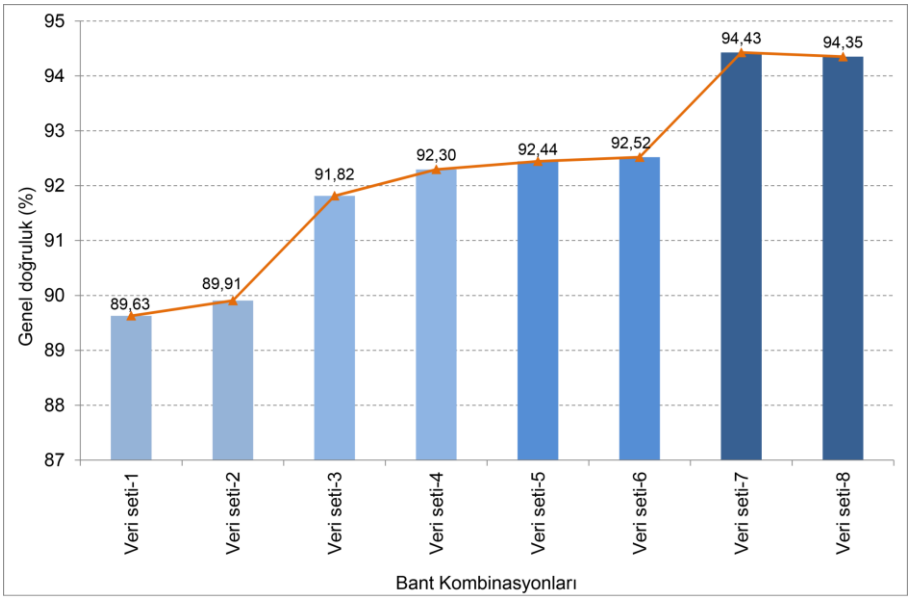
Destek vektör makineleri ile sınıflandırma işleminde radyal tabanlı kernel fonksiyonu tercih edilmiş ve optimum parametre değerleri her bir model için çapraz geçerlilik yöntemi ile belirlenmiştir. Elde edilen DVM modellerinin sınıflandırma performansı test veri setleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Destek vektör makineleri ile sınıflandırmada esas alınan veri setleri.

Veri Seti	Bant Sayısı	Açıklama
1	4	WV2 görüntüsünün kırmızı, yeşil, mavi ve yakın kızılötesi-1 bantları
2	4	WV2 görüntüsünün kıyı, sarı, kırmızı-kenar ve yakın kızılötesi-2 bantları
3	8	WV2 görüntüsünün tüm multispektral bantları
4	10	WV2 ve ilk iki ana bileşen
5	20	WV2 ve vejetasyon indeksleri
6	22	WV2, ilk iki ana bileşen ve vejetasyon indeksleri
7	72	WV2 ve doku özellikleri
8	86	WV2 ilk iki ana bileşen, vejetasyon indeksleri ve doku özellikleri

Şekil 4'de test veri setleri için DVM ile elde edilen genel doğruluklar bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Söz konusu genel doğruluklar arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak anlamlılığının analizi amacıyla McNemar testi uygulanmış ve elde edilen test sonuçları Tablo 3'te bir matris formunda gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde en yüksek sınıflandırma doğruluğunun (%94,43) WV2 görüntüsünün spektral bantları ile her bir bant için hesaplanan doku özelliklerini içeren veri seti ile elde edildiği görülmektedir. WV2 görüntüsünün klasik spektral bantları (1 nolu veri seti) kullanılarak elde edilen genel sınıflandırma doğruluğunun diğer veri setleri içerisinde en düşük düzeyde olduğu belirlenmiştir. WV2'nin yeni bantları (2 nolu veri seti) kullanılarak elde edilen sınıflandırma doğruluğu ile klasik bantları için elde edilen doğruluk arasında %0,28'lik fark bulunmaktadır. Tablo 3'den de görüleceği üzere bu farkın istatistiksel anlamlılığının belirlenmesi için hesaplanan McNemar test değeri (0,27) kritik tablo değerinden (3,84) küçüktür. Elde edilen bu sonuç iki sınıflandırma doğruluğu arasındaki %0,28'lik farkın istatistiksel olarak anlamsız olduğunu, dolayısıyla söz konusu veri setleri kullanılarak elde edilen genel doğrulukların benzer olduğunu ifade etmektedir.

WV2'nin tüm spektral bantlarını içeren 3 nolu veri seti sınıflandırma işlemine tabi tutulduğunda klasik ve yeni bantların ayrı ayrı kullanımına göre sınıflandırma doğruluğundaki artışın %2 seviyelerinde gerçekleştiği görülmektedir. Sınıflandırma doğruluğundaki bu iyileşme McNemar test sonuçlarına göre (1 nolu veri seti ile karşılaştırıldığında 6,72 ve 2 nolu veri set ile karşılaştırıldığında 6,17) istatistiksel olarak anlamlı bir değişim olup, WV2'nin tüm spektral bantlarının bir arada kullanılmasıyla sınıflar arasındaki spektral ayrımın daha iyi yapılabileceğini destekler niteliktedir.



Şekil 4. Destek vektör makineleri ile elde edilen genel sınıflandırma doğrulukları.

Tablo 3. McNemar istatistik test sonuçlarının matris gösterimi.

Veri Seti	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	**0,27**	6,72	8,11	7,75	8,20	11,18	10,92
2	**0,27**	-	6,17	7,18	7,09	7,55	10,51	10,76
3	6,72	6,17	-	**2,51**	3,86	3,89	6,87	7,13
4	8,11	7,18	**2,51**	-	**0,53**	1,10	5,66	5,86
5	7,75	7,09	3,86	**0,53**	-	**0,26**	5,08	5,34
6	8,20	7,55	3,89	1,10	**0,26**	-	4,89	5,12
7	11,18	10,51	6,87	5,66	5,08	4,89	-	**0,22**
8	10,92	10,76	7,13	5,86	5,34	5,12	**0,22**	-

Çalışmada kullanılan yardımcı verilerin sınıflandırma doğruluğu üzerindeki etkileri analiz edildiğinde, en yüksek doğruluk artışının %2,6 ile WV2 görüntüsü ile doku özelliklerinin bir arada kullanıldığı 7 nolu veri seti ile elde edildiği görülmektedir. Sınıflandırma doğruluğundaki bu artış diğer yardımcı veri setleri için hesaplanan doğruluk artışlarına göre Tablo 3'de verilen McNemar test sonuçlarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir iyileşme olup, diğer yardımcı veri setleri kullanımına göre daha doğru sonuçlara ulaşıldığını desteklemektedir. Ana bileşenler ve vejetasyon indekslerinin ayrı ayrı kullanılması durumunda (4 ve 5 nolu veri setleri) WV2'nin sadece spektral bantlarının kullanıldığı (3 nolu veri seti) duruma göre sınıflandırma doğruluklarında %0,6 seviyelerinde artış olduğu görülmüştür. McNemar testi sonuçları 3 ve 4 nolu veri setleri açısından ele alındığında hesaplanan test değerinin (2,51) kritik tablo değerinden küçük, 3 ve 5 nolu veri setleri açısından ele alındığında hesaplanan test değerinin (3,86) kritik tablo değerinden büyük olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuç yardımcı veri olarak sadece vejetasyon indisleri kullanıldığında sınıflandırma doğruluğundaki artışın istatistiksel olarak anlamlı, sadece ana bileşenler kullanıldığında ise doğruluk artışının istatistiksel olarak anlamsız olduğunu ifade etmektedir. WV2 ve tüm yardımcı verilerin bir arada dikkate alındığı 86 bantlı veri seti (8 nolu veri seti) ile elde edilen genel sınıflandırma doğruluğu %94,35 olarak hesaplanmıştır. Sınıflandırma doğruluğundaki %2,5'lik artış McNemar testi sonuçlarına göre (10,92) istatistiksel olarak anlamlı olmasına rağmen, WV2 ve doku özelliklerinin (7 nolu veri seti) kullanılması ile elde edilen genel doğruluktan %0,08 daha düşüktür. Söz konusu 7 ve 8 nolu veri setleri ile elde edilen sonuçların McNemar testi ile analizi neticesinde hesaplanan test değeri 0,22 kritik tablo değerinden düşük olduğu için iki sınıflandırma sonucu arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamsız olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir ifadeyle veri seti boyutunun 72'den 86'ya çıkarılması ile sınıflandırma doğruluğunda anlamlı bir değişme görülmemiştir. Literatürde bu durum Hughes fenomeni ya da boyutsallık problemi olarak bilinen kavramla açıklanmaktadır (Hughes, 1968).

Çalışma kapsamında ele alınan arazi örtüsü/kullanımı sınıflarının ayırt edilebilirliğini incelemek amacıyla WV2'nin multispektral bantları ve doku özelliklerini içeren 7 nolu veri setinin sınıflandırılması sonucunda hesaplanan hata matrisi Tablo 4'te gösterilmiştir. Tabloda verilen hata matrisinde kullanıcı ve üretici doğrulukları içerisinde en düşük değerlerin su ve gölge sınıfları için hesaplandığı ve temel olarak söz konusu iki sınıf arasındaki spektral ayrımın en düşük düzeyde olduğu ifade edilebilir. Tablo incelendiğinde özellikle su geçirmeyen yüzeyler olarak isimlendirilen bina sınıfı içerisinde kırmızı ve beyaz çatı sınıflarına ait piksellerin tamamının doğru sınıflandırıldığı görülmektedir. Buna karşın gri çatılı binalara ait piksellerin bir kısmının yol bir kısmının ise toprak sınıfına ait piksellerle karıştığı tespit edilmiştir. Ana ve ara yolları içeren yol sınıfına ait piksellerin spektral olarak benzer özelliklere sahip gri çatılı bina sınıfına ait piksellerle karıştığı söylenebilir.

Orman türlerine ait sınıflandırma sonuçları analiz edildiğinde çınar ağacı sınıfına ait kullanıcı ve üretici doğruluklarının %100 olduğu, dolaysıyla test piksellerin tamamının doğru sınıflandırıldığı görülmüştür. Geniş yapraklı ağaç türlerinden zeytin ağacı sınıfına ait piksellerin bir kısmının bozkır ve çınar sınıfına atanarak hatalı sınıflandırıldığı görülmektedir. Elde edilen bu

bulgu arazide gerçekleştirilen spektroradyometre ölçümleri ile elde edilen sonuçları destekler niteliktedir. İğne yapraklı ağaç türlerine ait sınıflandırma sonuçları analiz edildiğinde fıstık çamı ve kızılçam sınıflarına ait piksellerin genellikle birbirlerine karıştığı görülmektedir. Temel arazi örtüsü sınıflarından kabul edilen bozkır sınıfına ait piksellerin %94,89 kullanıcı doğruluğuyla sınıflandırıldığı, hatalı sınıflandırılan piksellerin ise geniş yapraklı ağaç türlerine (çınar ve zeytin) ait sınıflara atandığı tespit edilmiştir. Geniş yapraklı ağaç türlerinden zeytin ağacı sınıfına ait piksellerin bir kısmının bozkır ve çınar sınıfına atanarak hatalı sınıflandırıldığı görülmektedir. Elde edilen bu bulgu arazide gerçekleştirilen spektroradyometre ölçümleri ile elde edilen sonuçları destekler niteliktedir. İğne yapraklı ağaç türlerine ait sınıflandırma sonuçları analiz edildiğinde fıstık çamı ve kızılçam sınıflarına ait piksellerin genellikle birbirlerine karıştığı görülmektedir. Temel arazi örtüsü sınıflarından kabul edilen bozkır sınıfına ait piksellerin %94,89 kullanıcı doğruluğuyla sınıflandırıldığı, hatalı sınıflandırılan piksellerin ise geniş yapraklı ağaç türlerine (çınar ve zeytin) ait sınıflara atandığı tespit edilmiştir.

WV2'nin 8 spektral bandı ve doku özelliklerini içeren veri setinin sınıflandırılması sonucunda üretilen tematik harita Şekil 5'te gösterilmiştir. Tematik haritadan da görüleceği üzere çalışma alanı içerisindeki bezer spektral özelliklere sahip iğne ve geniş yapraklı ağaç türlerinin büyük ölçüde ayırt edilebildiği görülmektedir. Söz konusu ağaç türlerinden zeytin ağaçlarına ait piksellerin özellikle bozkır sınıfına ait pikseller ile karıştığı görülmektedir. Bu durumun zeytin ağaçlarının diğer ağaç türlerine göre çok küçük bir kanopiye sahip olması ve dolayısıyla örnek alanların toplanmasındaki zorluktan ileri geldiği ifade edilebilir. Bölge içerisinde en canlı ve spektral olarak en yüksek yansımaya sahip çınar ağacına ait piksellerin genel olarak doğru sınıflandırıldığı, tematik haritanın belirli kısımlarda bozkır sınıfı içerisindeki canlı bitki örtüsüne ait pikseller ile karıştığı görülmektedir. Çalışma alanının kuzey kesiminde yer alan yoğun iğne yapraklı orman yapısı içerisindeki kızılçam ve fıstık çamı türlerinin ayırt edilmesinin büyük ölçüde başarıldığı, ancak gölge etkisi ile birlikte bazı kesimlerde iki ağaç türününüm ayırt edilmesinde zorluklar yaşandığı görülmektedir. Çalışma alanının orta ve batı kesimlerinde bulunan genç fıstık çamlarının yüksek doğrulukla sınıflandırıldığı tespit edilmiştir. Çalışmada dikkate alınan bina türlerinden gri çatılı bina piksellerinin yol sınıfına ait pikseller ile karıştığı kolaylıkla görülmektedir. Kırmızı çatılı bina sınıfına ait piksellerin ise çalışma alanının bazı kesimlerinde toprak sınıfındaki pikseller ile karıştığı tespit edilmiştir.

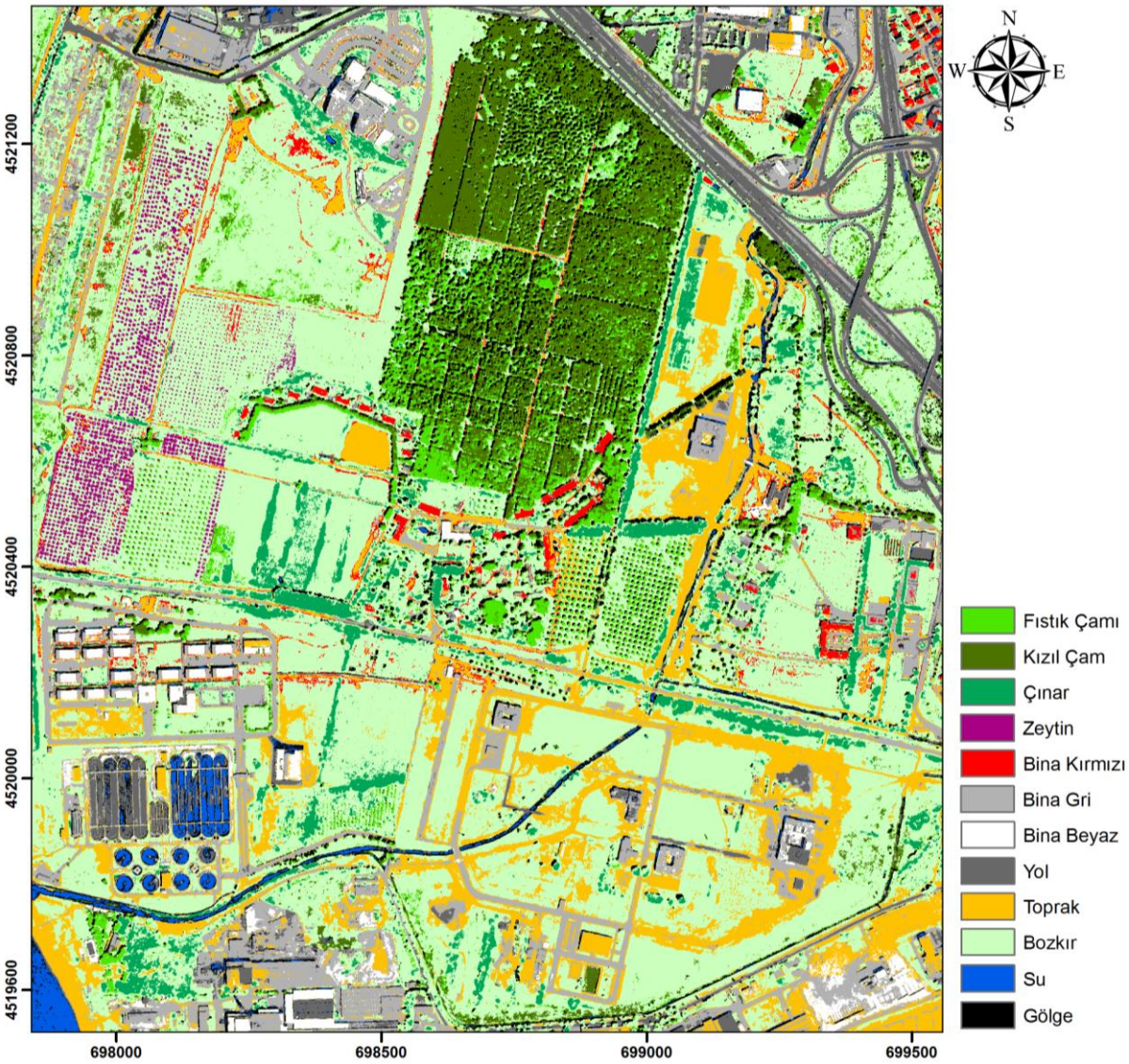
Tablo 4. WV2 ve doku özelliklerinin kullanıldığı veri seti için hesaplanan hata matrisi.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Kullanıcı (%)
A	***425***	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	10	94,44
B	0	***450***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
C	5	0	***445***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98,89
D	0	0	0	***429***	0	10	0	0	0	11	0	0	95,33
E	0	0	0	0	***450***	0	0	0	0	0	0	0	100
F	0	0	0	0	0	***448***	0	0	0	0	2	0	99,56
G	0	0	0	0	0	0	***363***	87	0	0	0	0	80,67
H	0	0	0	0	0	0	88	***362***	0	0	0	0	80,44
I	0	0	0	0	10	0	0	0	***427***	0	0	13	94,89
J	0	0	0	41	0	0	0	0	0	***409***	0	0	90,89
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***450***	0	100
L	0	0	0	0	4	0	0	0	5	0	0	***441***	98,00
Üretici (%)	98,84	100	96,74	91,28	96,98	97,82	80,49	80,62	98,84	97,38	99,56	95,04	

Genel doğruluk=94,43%; Kappa= 0,939

A: fıstık çamı; B: kırmızı çatı; C: kızıl çam.; D: gri çatı; E: çınar.; F: toprak; G: su; H: gölge; I: bozkır; J: yol; K: beyaz çatı; L: zeytin

WV2'nin 8 spektral bandı ve doku özelliklerini içeren veri setinin sınıflandırılması sonucunda üretilen tematik harita Şekil 5'te gösterilmiştir. Tematik haritadan da görüleceği üzere çalışma alanı içerisindeki bezer spektral özelliklere sahip iğne ve geniş yapraklı ağaç türlerinin büyük ölçüde ayırt edilebildiği görülmektedir. Söz konusu ağaç türlerinden zeytin ağaçlarına ait piksellerin özellikle bozkır sınıfına ait pikseller ile karıştığı görülmektedir. Bu durumun zeytin ağaçlarının diğer ağaç türlerine göre çok küçük bir kanopiye sahip olması ve dolayısıyla örnek alanların toplanmasındaki zorluktan ileri geldiği ifade edilebilir. Bölge içerisinde en canlı ve spektral olarak en yüksek yansımaya sahip çınar ağacına ait piksellerin genel olarak doğru sınıflandırıldığı, tematik haritanın belirli kısımlarda bozkır sınıfı içerisindeki canlı bitki örtüsüne ait pikseller ile karıştığı görülmektedir. Çalışma alanının kuzey kesiminde yer alan yoğun iğne yapraklı orman yapısı içerisindeki kızılçam ve fıstık çamı türlerinin ayırt edilmesinin büyük ölçüde başarıldığı, ancak gölge etkisi ile birlikte bazı kesimlerde iki ağaç türününüm ayırt edilmesinde zorluklar yaşandığı görülmektedir. Çalışma alanının orta ve batı kesimlerinde bulunan genç fıstık çamlarının yüksek doğrulukla sınıflandırıldığı tespit edilmiştir. Çalışmada dikkate alınan bina türlerinden gri çatılı bina piksellerinin yol sınıfına ait pikseller ile karıştığı kolaylıkla görülmektedir. Kırmızı çatılı bina sınıfına ait piksellerin ise çalışma alanının bazı kesimlerinde toprak sınıfındaki pikseller ile karıştığı tespit edilmiştir.



Şekil 5. WV2'nin 8 spektral bandı ve doku özelliklerini içeren veri setinin sınıflandırılması sonucunda elde edilen tematik harita.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeryüzündeki doğal ve yapay nesnelerin yüksek spektral ve konumsal çözünürlüklerde görüntülenmesini sağlayan uzaktan algılama teknolojileri sayesinde büyük ölçekli birçok çalışmaya esas teşkil eden değerli bilgiler elde edilebilmektedir. Uydu görüntülerinin artan çözünürlüğü beraberinde çözüm bekleyen yeni problemleri ortaya çıkarmıştır. Bu problemler arasında nesneler arasındaki spektral benzerlik ve yüksek kolerasyona sahip piksellerin ayırt edilmesi gelmektedir. Bu problemlerin çözümüne yönelik olarak yardımcı verilerin uydu görüntüleri ile beraber kullanılması söz konusudur. Bu çalışmada benzer spektral özelliklere sahip arazi örtüsü ve kullanım sınıflarının tespit edilmesi probleminde günümüzde yüksek konumsal ve spektral çözünürlüğe sahip tek uydu olan WV2 görüntüsünün kullanımı ele alınmıştır. Arazi örtüsü sınıfları içerisindeki iğne ve geniş yapraklı ağaç türlerine ait spektral ölçümler gerçekleştirilerek ağaç türlerinin spektral özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen spektral ölçümler söz konusu ağaç türlerine ait örnekleme alanlarının tespitinde kullanılmıştır. Arazi örtüsü ve kullanımı sınıfları arasındaki spektral ayrımın arttırılması amacıyla üç farklı yardımcı veri seti (vejetasyon indeksleri, doku özellikleri ve ana bileşenler) oluşturulmuş ve sınıflandırma doğruluğuna olan etkileri incelenmiştir. Oluşturulan veri setlerinin sınıflandırılmasında destek vektör makineleri sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri yardımıyla gerçekleştirilecek sınıflandırma işleminde yardımcı verilerin sınıflandırma doğruluğu üzerinde pozitif etkileri olduğu görülmüştür. Ana bileşenler analizi görüntü üzerindeki piksellerin varyans-kovaryans değerlerini, bitki indeksleri ise görüntüye ait spektral bantların çeşitli oranlarını dikkate alarak görüntü üzerindeki belirli objelerin (örneğin canlı bitki ve su geçirmeyen yüzeyler) diğer objelerden ayırt edilebilirliğini arttırmaktadır. Doku özellikleri ise görüntü üzerindeki piksellerin ortalama, varyans, kontrast, entopi ve korelasyon gibi farklı özelliklerini ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışmada dikkate alınan yardımcı veri setleri içerisinde özellikle doku özelliklerinin kullanımı ile sınıflandırma doğruluğunda %2,5'e varan artışlar olduğu görülmüştür. Sınıflandırma doğruluğundaki bu artışın McNemar testine göre istatistiksel olarak anlamlı olduğu dolayısıyla sınıflandırma performanslarının istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Bu bulgu çalışmada kullanılan WV2 görüntüsü ile doku özelliklerinin beraber değerlendirilmesi sonucunda daha yüksek doğruluğa sahip tematik harita üretildiğini doğrular niteliktedir. Doku özelliklerinin çalışmada dikkate alınan bitki indeksleri ve ana bileşenlere göre sınıflandırma performansı üzerinde daha etkili olmasının temel nedeninin sınıflandırmaya esas piksellerin farklı spektral özelliklerini ortaya çıkarması dolayısıyla sınıflar arasındaki ayrımın daha yüksek doğrulukla gerçekleştirilmesi olduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak; yapılan bu çalışma, spektral ölçüler ve yardımcı veriler ile desteklenen WV2 uydu görüntüsünün benzer spektral özelliklere sahip doğal ve yapay nesnelerin sınıflandırılmasında kullanılabilecek değerli ve önemli bir veri kaynağı olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

Aguilar, M.A., Saldana, M.M., Aguilar, F.J., (2013), **GeoEye-1 and WorldView-2 pan-sharpened imagery for object-based classification in urban environments**, International Journal of Remote Sensing, 34 (7):2583-606.

Bannari, A., Morin, D., Huette, A.R., Bonn, F., (1995), **A review of vegetation indices**, Remote Sensing Reviews, 13(1-2): 95-120.

Fernandes, M.R., Aguiar, F.C., Silva, J.M.N., Ferreira, M.T., Pereira, J.M.C., (2013), **Spectral discrimination of giant reed (Arundo donax L.): A seasonal study in riparian areas**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 80: 80-90.

Foody, G.M., (2004), **Thematic map comparison: Evaluating the statistical significance of differences in classification accuracy**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 70(5): 627-633.

Franklin, S.E., , R. J. Hall, L. M. Moskal, A. J. Maudie, M. B. Lavigne, (2000), **Incorporating texture into classification of forest species composition from airborne multispectral images**, International Journal of Remote Sensing, 21(1): 61-79.

Garrity, S.R., Allen, C.D., Brumby, S.P., Gangodagamage, C., McDowell, N.G., Cai, D.M., (2013), **Quantifying tree mortality in a mixed species woodland using multitemporal high spatial resolution**

satellite imagery, Remote Sensing of Environment, 129:54-65.

Ghosh, A., P. K. Joshi, (2014), **A comparison of selected classification algorithms for mapping bamboo patches in lower Gangetic plains using very high resolution WorldView 2 imagery**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 26: 298-311.

Haralick, R.M., Shanmugam, K., Dinstein, I., (1973), **Texture features for image classification**, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 8(6): 610-621.

Hirata, Y., Tabuchi, R., Patanaponpaiboon, P., Poungparn, S., Yoneda, R.and Fujioka, Y., (2014), **Estimation of aboveground biomass in mangrove forests using high-resolution satellite data**, Journal of Forest Research, 19(1): 34-41.

Huang, C., Davis, L.S., Townshend, J.R.G., (2002), **An assessment of support vector machines for land cover classification**, International Journal of Remote Sensing, 23(4):725-749.

Huang, X., Zhang, L.P., Zhu, T.T., (2014), **Building Change Detection From Multitemporal High-Resolution Remotely Sensed Images Based on a Morphological Building Index**, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 7(1): 105-115.

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

Jensen, J.R., (2005), **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**, 3rd edition, Pearson Prentice Hall.

Kavzoglu, T., Colkesen, I., (2009), **A kernel functions analysis for support vector machines for land cover classification**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 11(5): 352-359.

Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., (2010), **Destek vektör makineleri ile uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kernel fonksiyonlarının etkilerinin incelenmesi**, Harita Dergisi,144(7):73-82.

Löw, F., U. Michel, S. Dech, C. Conrad, (2013), **Impact of feature selection on the accuracy and spatial uncertainty of per-field crop classification using Support Vector Machines**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 85:102-109.

Lu, D.S., Hetrick, S., Moran, E., (2011), **Impervious surface mapping with Quickbird imagery**, International Journal of Remote Sensing, 32(9): 2519-2533.

Mathur, A. and Foody, G.M., (2008), **Multiclass and binary SVM classification: Implications for training and classification users**, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 5(2): 241-245.

Mountrakis, G., Im, J., Ogole, C., (2011), **Support vector machines in remote sensing: A review**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 66(3): 247-259.

Lu, D.S., Hetrick, S., Moran, E, (2010), **Land cover classification in a complex urban-rural landscape with Quickbird imagery**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 76 (10):1159-68.

Patino, J.E., Duque, J.C., (2013), **A review of regional science applications of satellite remote sensing in urban settings**, Computers Environment and Urban Systems, 37: 1-17.

Pu, R.L., Landry, S., (2012), **A comparative analysis of high spatial resolution IKONOS and WorldView-2 imagery for mapping urban tree species**, Remote Sensing of Environment, 124: 516-533.

Shackelford, A.K., Davis, C.H., (2003), **A combined fuzzy pixel-based and object-based approach for classification of high-resolution multispectral data over urban areas**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41 (10):2354-63.

Shamsoddini, A., Trinder, J.C., Turner, R., (2013), **Pine plantation structure mapping using WorldView-2 multispectral image**, International Journal of Remote Sensing, 34(11): 3986-4007.

Vapnik, V.N., (1995), **The Nature of Statistical Learning Theory**, Springer-Verlag, New York.

Xu, H.Q., (2013), **Rule-based impervious surface mapping using high spatial resolution imagery**, International Journal of Remote Sensing, 34(1): 27-44.

Zhang, L., Jia, K., Li, X.S., Yuan, Q.Z., Zhao, X.F., (2014), **Multi-scale segmentation approach for object-based land-cover classification using high-resolution imagery**, Remote Sensing Letters, 5(1): 73-82.

Zhou, W.Q., Huang, G.L., Troy, A., Cadenasso, M.L., (2009), **Object-based land cover classification of shaded areas in high spatial resolution imagery of urban areas: A comparison study**, Remote Sensing of Environment, 113(8): 1769-1777.

Çoklu Gösterim Veritabanlarında Güncelleme: Model Genelleştirmesi ve Obje Eşleştirme Aşaması

(Updating in Multiple Representation Databases: Model Generalization and Object Matching Stage)

Osman Nuri ÇOBANKAYA[1], Necla ULUĞTEKİN[2]
[1]Harita Genel Komutanlığı, Kartografya Dairesi, Ankara.
[2]İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
osmannuri.cobankaya@hgk.msb.gov.tr

ÖZET

Sadece tek dünya olmasına rağmen, bu gerçekliğin gösterimi amaca ve ölçeğe göre değişiklik gösterebilir. Ulusal haritacılık kuruluşları, farklı ölçeklerdeki harita serilerini üretmekle yükümlüdürler. Bu durum, sayısal harita serilerinin uygun bir yöntemle güncellenmesi problemini ortaya çıkarmaktadır. Ulusal boyuttaki veri hacmi düşünüldüğünde, sayısal harita serilerinin güncellenmesi zaman alıcı ve pahalı bir süreçtir. Bu süreci daha verimli hale getirmek için, yüksek çözünürlüklü temel veriseti manuel olarak güncellendikten sonra, daha düşük çözünürlüklü veri setleri otomatik olarak güncelleştirilebilir ve genelleştirilebilir.

Bu çalışmada, bir çoklu gösterim veritabanındaki aynı dünya gerçekliğine ait mekânsal objelerin birbirleri arasındaki ilişkilerin kurulması ve temel sayısal mekânsal modeldeki güncellemelerin daha düşük çözünürlüklü diğer sayısal mekânsal modellere otomatik olarak ilerletilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Çoklu Gösterim Veritabanı, Model Genelleştirmesi, Artırımlı Genelleştirme, Veritabanı Güncelleme, Yegâne Tanımlayıcı, ModGen.*

ABSTRACT

Although there is only one world, representing of this reality can change according to the purpose and scale. National Mapping Agencies are responsible to produce map series at different scales. This situation reveals an updating problem of the digital map series with a relevant method. Updating the digital map series is a process requiring time and cost because of the volume of data at national level. In order to perform this process more efficiently, dataset with lower resolution can be updated and generalized automatically after master dataset with high resolution is updated manually.

In this study, it is aimed to establish the relationship between spatial objects belonging to the same world reality in a multiple representation database and to apply the revisions in master digital landscape model to the other digital landscape model with low resolution automatically.

Keywords: *Multiple Representation Database, Model Generalization, Incremental Generalization, Updating Database, Unique Identifier, ModGen.*

1. GİRİŞ

Çoklu gösterim veritabanları, uygulamada kullanılan verilerin yoğunluğunun azaltılması, farklı amaç ve ölçekteki gösterimlerin otomatik olarak elde edilmesi, otomatik genelleştirme ve güncelleme işlemlerinin hızlı bir şekilde yapılması konularındaki mevcut sorunların aşılması için ortaya atılan bir yaklaşımdır (Stoter vd., 2011). Bu sistemin işleyebilmesi için öncelikle, farklı çözünürlükteki veri setlerinde bulunan ve aynı dünya gerçekliğine ait mekânsal objelerin birbirleri ile ilişkisinin kurulması gerekmektedir. Çoklu gösterim konusu model genelleştirmesi ve obje eşleştirmesi konularıyla da doğrudan ilgilidir.

Çoklu gösterim konusundaki ilk araştırma çalışmaları seksenli yılların sonlarında Amerika Ulusal Coğrafi Bilgi ve Analiz Merkezi'nde (NCGIA-National Center for Geographic Information and Analysis) başlatılmıştır (Buttenfield ve Delotto, 1989). Çoklu gösterim konusu kapsamında ele alınması gereken veritabanı yaklaşımı konusunda da çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu kapsamda Jones (1991) tarafından çok ölçekli coğrafi bilgi sistemi için veritabanı mimarisi geliştirilmiştir. Morgenstern ve Schürer (1999) çalışmalarında, ATKIS (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informations System) DLM25 (Digital Landscape Model) verisetinden yol ve yerleşim verilerini kullanarak, model genelleştirmesi yöntemiyle ATKIS DLM250 verisetini türetmişlerdir. Model genelleştirmesini semantik genelleştirme ve geometrik genelleştirme olmak üzere iki adımda gerçekleştirmişlerdir. AGENT (Automated Generalisation New Technology) projesi 1997-2000 yılları arasında Anne RUAS tarafından yapılan doktora çalışmasının temellerine dayanmaktadır. AGENT projesinin amacı, çoklu ajan teknolojisi temeline dayanan yenilikçi bir harita üretim yazılımı geliştirmektir. AGENT yaklaşımının üç temel unsuru, kendi durumunu analiz edebilen kartografik objeler, farklı durumlar

için objeleri tetikleyecek mekanizma, uyuşmazlığı çözecek en uygun durumu bulmadır. AGENT projesi kapsamında önce LAMPS2 obje yönelimli coğrafi bilgi sistemi yazılımı üzerinde çalışan AGENT eklentisi ve ardından Radius Clarity yazılımı geliştirilmiştir (Ruas ve Duchêne, 2007). Almanya'da 1995-2010 yılları arasında bitirilmesi hedeflenen **AAA** (AFIS "Official Geodetic Control Stations Information System", ALKIS "Authoritative Real Estate Cadastre Information System", ATKIS "Authoritative Topographic Cartographic Information System") projesi başlatılmıştır. Bu proje ile kadastral, jeodezik ve topografik bilgi sistemlerinin kurulması ve böylece standartları tanımlanmış bir sisteme sahip olunması amaçlanmıştır (Düren ve Seifert, 2006). Konu ile ilgili çalışmalar halen devam etmektedir. Avrupa Birliği projesi olan ve 2004 yılında tamamlanan GiMoDig (Geospatial info-Mobility Service by Real-time Data integration and generalisation) projesi ile çoklu gösterim konusunun navigasyon uygulamaları kapsamında çalışmalar yapılmıştır. Projenin amacı, Avrupa'daki mobil kullanıcılara yeryüzü hakkında doğrudan bilgi aktarmaktır. Bunun için, ulusal mekânsal veritabanlarına ve bu verisetlerinin değişik ölçekli gösterimlerine ihtiyaç duyulmaktadır. GiMoDig içindeki kartografik veriler, 1:10000 ölçeği temel olmak üzere 1:25000, 1:50000, 1:100000 ölçekli dört ayrıntı düzeyinden oluşmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda cep telefonları veya taşınabilir küçük ekran donanımları üzerinden hizmet veren yaya navigasyonu sistemlerinin gereksinimleri belirlenerek, çoklu gösterim destekli yaya navigasyonu sistemi prototip olarak geliştirilmiştir (Hampe vd., 2004). Regnauld (2011) genelleştirme operatörlerini model genelleştirme ve kartografik genelleştirme operatörleri olarak iki başlıkta ele almıştır. Ancak bu operatörlerin kesin bir ayrıma tabi tutulmadan bütünleşik olarak kullanılmasının daha anlamlı verisetleri oluşturmada önemli olabileceğini vurgulamıştır. Yin (2005) 1962 yılında C.A.Petri tarafından ortaya atılan ve Petri Net olarak adlandırılan matematiksel modeli kullanarak çok ölçekli veritabanı modeli oluşturmaya çalışmıştır. Tasarladığı veritabanında, coğrafi varlıklar arasındaki ilişki ve coğrafi varlıkların farklı durumlar karşısındaki davranışları konusunda modelleme çalışmaları yapmıştır. Farklı gösterim seviyelerindeki objeler arası ilişkinin kurulmasının ve bu ilişkinin yönetilmesinin zorluğundan bahsetmiştir. Sarjakoski (2007) çalışmasında genelleştirme ve çoklu gösterimin kavramsal modellerini ortaya koymuştur. Çalışmasında, genelleştirmenin nasıl basit algoritmik yaklaşımlardan kapsamlı matematiksel modellemeye dönüştüğüne değinmiş, bu dönüşüm sürecinde gerçek yeryüzü objelerinin obje yönelimli yaklaşımla modellenmesinin konunun gelişmesinde çok önemli rol oynayacağına ve genelleştirme ile çoklu gösterim hakkındaki çalışmaların geleceğine yönelik çıkarımlarda bulunmuştur. Çoklu gösterim ve güncellemelerin ilerletilmesi konusu en geniş anlamda yazar tarafından ortaya konulmuş ve yazar konu hakkında bir de doktora çalışması yapmıştır. Doğru (2009) çalışmasında, kavşak yolları beş farklı gösterim seviyesinde modellemiş, kavşakların sınıflandırmasını ve genelleştirmesini yaparak araç navigasyon haritalarında kullanılmak üzere çoklu gösterim veritabanı tasarımı yapmıştır.

Bu çalışmada, temel sayısal mekânsal modelde yapılan bir güncellemenin (silme, oluşturma, değiştirme) tasarlanacak sistemi bir şekilde tetiklemesi ve daha düşük çözünürlüklü sayısal mekânsal modellerdeki arzu edilen değişikliğin otomatik olarak gerçekleşmesi hedeflenmektedir.

Bu amaçlarla, sayısal coğrafi verilerin durumu ve birbirleri ile olan ilişkisi anlatılmış, model genelleştirmesi ve çoklu gösterim konuları açıklanmıştır. Uygulama için gerekli ve önemli olan gösterim seviyelerinin oluşturulması ve obje eşleştirmesi işlemlerini otomatik olarak yapan program tanıtılmıştır. Son bölümde ise, elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır.

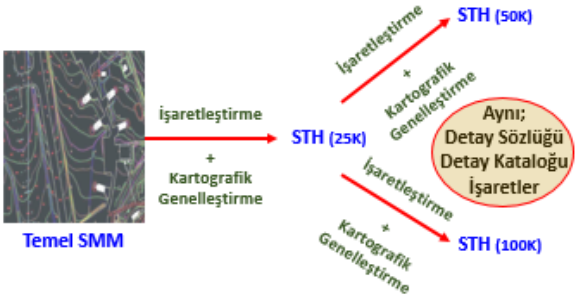
2. SAYISAL COĞRAFİ VERİLERİN MEVCUT DURUMU

Bu çalışmanın uygulama aşamasında 1:25000-1:500000 ölçek aralığındaki veriler ile çalışılacağı için bu ölçeklerdeki verilerin yapısı hakkında genel bilgilerin verilmesi uygun olacaktır. Ülkemizde 1:25000-1:500000 ölçek aralığındaki standart topografik haritaların (STH) üretim sorumluluğu Harita Genel Komutanlığı (HGK)'ndadır.

a. 1:25000, 1:50000, 1:100000 Ölçekli Topografik Haritalar

Temel topografik harita ölçeği 1:25000'dir. Obje katalogları bu ölçeğe göre hazırlanmıştır ve 451 adet obje türü içermektedir (HGK, 2002). 1:25000 ölçekli sayısal topografik haritalarda obje türleri dokuz ana sınıf kullanılarak sınıflandırılmış ve depolanmıştır. Obje türleri, en üst sınıf olan obje sınıfları tarafından temsil edilir. Obje türleri sınıflandırılırken, birbirleriyle benzerlikleri, öznitelikleri, kartografik özellikleri dikkate

alınmıştır. Dokuz sınıf içerisinde her obje türü, geometrisine göre ayrı bir obje sınıfında yer almaktadır. Dolayısıyla bir pafta için 27 adet obje sınıfı oluşturulmuştur. Bunun yanında pafta içerisindeki yazı objeleri de ayrı bir obje sınıfında depolandığından, bir adet 1:25000 ölçekli sayısal topografik harita 28 adet obje sınıfından oluşmaktadır (HGK, 2003). 1:25000, 1:50000 ve 1:100000 ölçekli haritalar aynı standarttaki veri yapısını ve işaretlerini kullanmaktadır. Haritalara altlık teşkil eden veri kaynağı, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleridir. Yeryüzü, oluşturulan stereo modeller üzerinden paftalar halinde üç boyutlu olarak kıymetlendirilir. Kıymetlendirilen paftalar arazi ekiplerince kontrol edilir. Eksik, yanlış, gözden kaçmış objeler ile objelerin öznitelik bilgileri ve mekânsal objelerin isimleri arazide topoğraf tarafından bütünlenir. Bütün bu bilgiler ışığında veriler yapılandırılır ve temel sayısal mekânsal model (SMM ya da sayısal coğrafi model - SCM olarak da ifade edilmektedir) oluşturulmuş olur (Başaraner, 2009). 1:25000 ölçekli STH' lar, temel sayısal mekânsal model kullanılarak kartografik genelleştirme yöntemi ile üretilmektedir. 1:50000 ve 1:100000 ölçekli STH' ların üretimi her iki ölçek içinde, 1:25000 ölçekli sayısal kartografik vektör veriler kullanılarak kartografik genelleştirme yöntemi ile yapılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. 1:25000-1:100000 STH üretim yöntemi

b. 1:250000, 1:500000 Ölçekli Topografik Haritalar

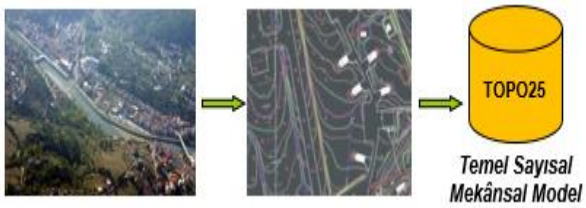
VMAP (Vector Map), VPF (Vector Product Format-NATO bünyesindeki bir çalışma grubu tarafından geliştirilmiş coğrafi veri formatı) standardında mekânsal veri tabanıdır. Çeşitli ölçeklerdeki basılı standart topografik haritalara karşılık olarak, çeşitli düzeylerde VMAP ürünleri vardır. Amerika Birleşik Devletleri tarafından tüm dünyaya ilişkin VMAP verilerinin üretimi amacıyla uluslararası düzeyde bir proje başlatılmış ve bu projeye Türkiye adına HGK aktif olarak katılmıştır. VMAP projesi kapmasında aşağıda belirtilen dört tür VMAP verisi tanımlanmıştır;

- VMAP**0**: **0** ncı düzey (1:1000000) VMAP
- VMAP**1**: **1** nci düzey (1:250000) VMAP
- VMAP**2**: **2** nci düzey (1:50000) VMAP
- UVMAP: **3** ncü düzey (1:5000) VMAP

1:250000 ölçekli kara ve hava serisi STH' lar VMAP1 verileri kullanılarak üretilmektedir. VMAP projesi kapsamında VMAP1 verilerinin toplanmasına ve 1:250000 ölçekli STH' ların üretimine 1997 yılında başlanmış olup üretim ve güncelleme devam etmektedir. Üretimde, mevcut en güncel büyük ölçekli raster haritalar, vektör veriler, uydu görüntüleri ve diğer yardımcı kaynaklar kullanılmaktadır. Hangi objelerin toplanacağına ve objelerin nasıl genelleştirileceğine veri toplama aşamasında karar verilmektedir (HGK, 2011). 1:250000 ölçekli vektör harita verisi içerisinde 9 ana obje sınıfı, her bir ana obje sınıfın altında ikişer obje sınıfı bulunmaktadır. Bu obje sınıfları içerisinde 126 farklı obje türü bulunmaktadır. 1:500000 ölçekli STH' ların üretimi de 1:250000 ölçekli üretimin bir devamı olarak, 1:250000 ölçekli vektör harita verileri kullanılarak genelleştirme yöntemiyle yapılmaktadır.

c. TOPO25 Topografik Veritabanı (Temel Sayısal Mekânsal Model)

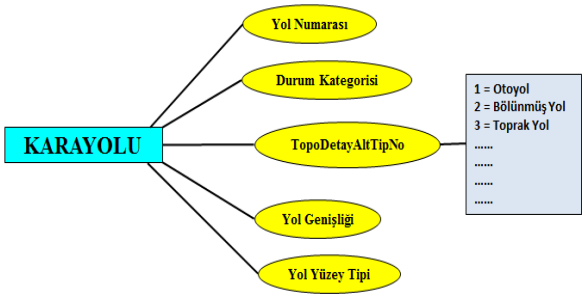
Harita Genel Komutanlığında 2010 yılından itibaren, kıymetlendirilen ve bütünlemesi yapılan mekânsal veriler yapılandırıldıktan (geometrik ve öznitelik yapılandırması, kenarlaşma,…) sonra temel sayısal mekânsal model olarak TOPO25 topografik veritabanında depolanmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Topografik Veritabanı

Topografik veritabanına tüm ülkenin mekânsal verileri yüklendikten sonra, pafta bazında ve dosya mantığıyla depolanan mekânsal veriler kesintisiz bir yapıya dönüştürülmüş olacaktır. TOPO25 topografik veritabanı 128 obje türünden oluşan bir verisetidir. Bu veriseti alan, çizgi, nokta objelerden oluşur. TOPO25 mekânsal veritabanındaki her bir obje gerçek dünyadaki varlıkları temsil eder ve bu varlıkların öznitelik

olarak tanımlanmış 352 alt tipi vardır. Örneğin gerçek dünyadaki her çeşit yol KARAYOLU objesi olarak tanımlanmıştır. Asfalt yol, patika yol, yaz araba yolu gibi yol çeşitleri alt tip olarak tanımlanmıştır. TOPO25 verilerinde sınıf kavramı yoktur. Objeler herhangi bir sınıfa ait değildir. TOPO25 verileri, obje, objenin öznitelikleri, özniteliklerin değer kümeleri bileşenlerinden oluşmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. TOPO25 objesi

ç. Değerlendirme

Mevcut veri yapısına bakıldığında, değişik kaynaklardan farklı ölçeklerde haritalar ve farklı çözünürlüklerde mekânsal veriler üretilmektedir. Çözünürlük değiştikçe, mekânsal objelerin geometrik ve semantik özetleme seviyeleri de değişmektedir. Mevcut durumda, üretilen farklı çözünürlüklü mekânsal veriler arasında herhangi bir ilişki söz konusu değildir (Şekil 4). Bu ilişki kurulmak istense bile, bunu gerçekleştirebilmek için gerekli olan kimlik numarası bilgisine mekânsal objeler sahip değildir. Dolayısıyla farklı çözünürlüklerdeki aynı mekânsal objeler arasında ilişki kurmak çok zordur. Örneğin, temel sayısal mekânsal modelde bir karayolu objesinin geometrisi değişse veya obje silinmiş olsa, düşük çözünürlüklü mekânsal modeldeki aynı yol objesinin duruma göre kendini güncellemesi çok zordur.

Şekil 4. Mevcut veri yapısı

3. MODEL GENELLEŞTİRMESİ VE ÇOKLU GÖSTERİM

Günümüzün teknolojik gelişmeleri ile bakıldığında harita olarak adlandırılan bilgi iletişim aracının temeli aslında yeryüzünün modellenmesine dayanmaktadır. Haritalar, yeryüzü modellerin çeşitli işlemlere tabi tutulmasıyla oluşturulmuş gösterim araçlarıdır. Gerçek dünya ile ilgili olan her türlü verinin ve bilginin gösterimi bir model kavramını ortaya çıkarmaktadır. Model ile ilgili olarak aşağıdaki bilgiler verilebilir.

- Model, gerçek dünya ile ilgili hissedilebilir bir olgunun basitleştirilmiş, özetlenmiş bir tasviri veya gösterimidir.

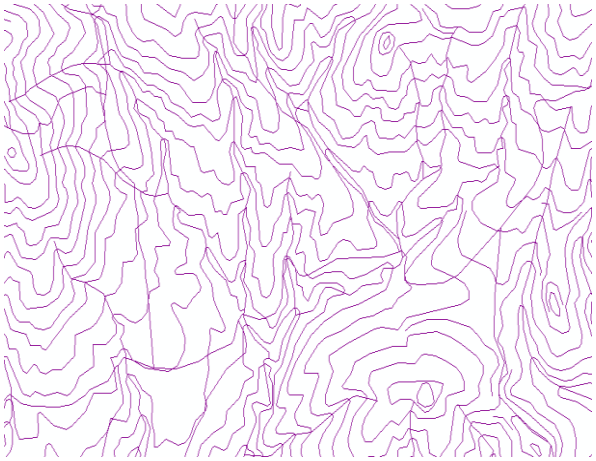
- Model daima kesin bir amaç için oluşturulur. Amaca bağlı olarak basit ya da karmaşık olabilir. Amaç modelin içeriğini, şeklini, doğruluğunu tarif eder.

- Model asla bir olgunun bütün özelliklerini tasvir etmez, sadece amaca uygun seçilmiş özelliklerini tasvir eder.

Modeller analog ve sayısal olmak üzere her iki yapıda da olabilirler. Modeller topografik kartografya açısından değerlendirildiğinde her biri kendine has özellikler taşıyan görüntü, mekânsal ve kartografik olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Görüntü modeli, resimsel bir gösterimdir (Şekil 5). Ölçek bağımlıdır ve yapılandırılmamıştır. Hava fotoğrafları görüntü modelleridir. Gerçek dünyayı olduğu gibi gösterir.

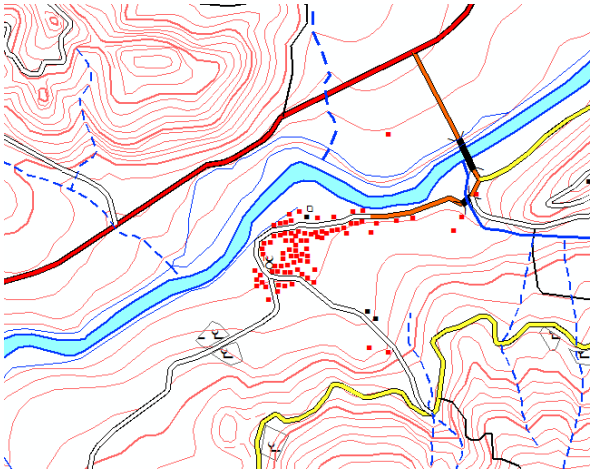
Şekil 5. Görüntü modeli

Mekânsal veya topografik model kartografik işaretleştirme olmaksızın tamamıyla geometrik tasvirdir (Şekil 6). Ölçek bağımsızdır. Topolojik olarak yapılandırılmış objelerden oluşur. Verilerin analiz imkânı vardır. Topografik veritabanları mekânsal modellere örnek gösterilebilir.



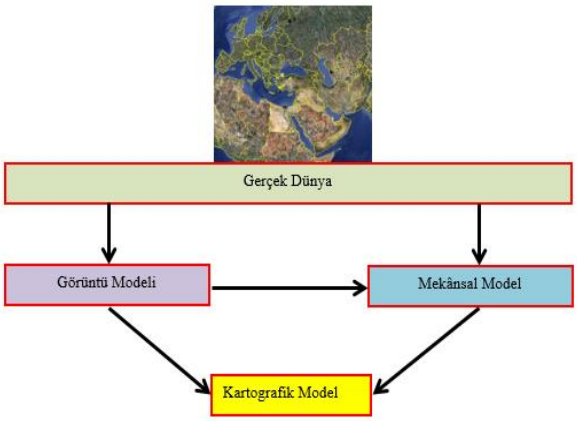
Şekil 6. Mekânsal model

Kartografik model ise grafiksel gösterim için temeldir (Şekil 7). Ölçek bağımlıdır ve işaretleştirme vardır. Basılı haritalar kartografik modellerdir. Kartografik modelde en önemli amaç, kullanıcının zihninde gerçek dünya ile ilgili doğru bilgiyi kavramasına, anlamasına ve yorumlamasına yardımcı olmaktır.



Şekil 7. Kartografik model

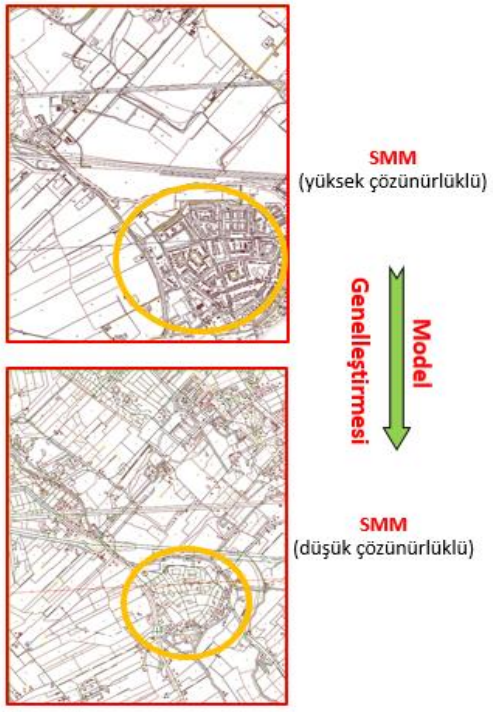
Görüntü ve mekânsal modeller gerçek dünyadan türetilir. Görüntü modelleri genellikle mekânsal modeller için temel altlığı oluşturur. Mekânsal modeller ise genellikle kartografik modeller için temel altlığı oluşturur (Şekil 8).



Şekil 8. Modeller arası ilişki

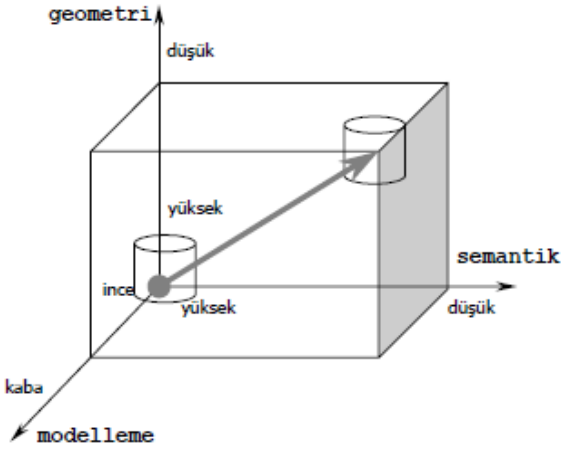
a. Model Genelleştirmesi

Model genelleştirmesinin en önemli amacı, değişik amaçlar için kontrollü veri azaltılmasıdır. Veri azaltma işlemi hesap etkinliği ve hızı için de istenebilir. Model genelleştirmesi, daha düşük semantik ve geometrik çözünürlüğe sahip veri setleri türetmek için yapılan işlemlerin hepsidir (Şekil 9). Model genelleştirmesi tamamen kural tabanlı bir yaklaşımdır ve kartografik genelleştirme için bir ön adım olarak düşünülebilir. Ancak model genelleştirmesinin grafik gösterime yönelik olmadığını ve bu nedenle özellikle estetik bileşen içermediğini belirtmek gerekir.



Şekil 9. Model Genelleştirmesi

Model genelleştirmesi, yüksek çözünürlüklü SMM verilerinin düşük çözünürlüklü SMM verilerine dönüştürülmesi için gerekli işlev ve araçları sunmaktadır. Bu bağlamda SMM verileri geometrik, semantik ve modelleme tekniği açısından değişime uğratılır. Bu nedenle geometri, semantik ve modelleme (veri modellemesi) model genelleştirmesinin değişkenleri olarak düşünülebilir. Şekil 10'da bu değişkenler üç boyutlu bir koordinat sisteminin eksenleri olarak görülmektedir.



Şekil 10. Model Genelleştirmesinin değişkenleri (Schürer, 2002)

Semantik (anlamsal) kavramı içerik olarak tanımlamayı ifade etmektedir. Semantik değişkeninin değişimi model genelleştirmesinde obje sınıflarında, objelerde ya da objelere ait özniteliklerde uygulanan sınıflandırma ve seçme (elemine etme) temel işlemlerine neden olur. Geometri kavramı, geometrik tanımlamayı ifade etmektedir. Model genelleştirmesinde geometri değişkeninin değişimi geometrik yapının basitleştirilmesini gerektirir. Model genelleştirmesi değişkeni olarak modelleme ya da veri modelleme kavramı, semantik ve geometrik değişkenlerin kapsamında olmayan modelleme tekniği ile ilgili tüm değişimleri ifade eder. Bu noktada kaynak ve hedef SMM' ler arasındaki semantik farkın veri modelini de etkileyebileceğini belirtmek gerekir. Örneğin hedef SMM' de bir obje sınıfına ait bir özniteliğin atılması, bu özniteliğin hedef SMM veri modelinde modellenmemesine de neden olabilir. Başka bir deyişle, bir özniteliğin kullanılmaması durumunda bunun veri modelinden de çıkartılması söz konusu olabilir (Uçar vd., 2003).

b. Model Genelleştirmesi Operatörleri

Model genelleştirmesinde amaç temel verisetinden daha düşük geometrik ve semantik çözünürlüklere sahip verisetleri türetmektir. Bir mekânsal veritabanının semantik çözünürlüğü denince obje türü sayısı, obje türlerinin içerdiği öznitelik sayısı, obje türlerinin sınıflandırma hiyerarşisi gibi kavramlar akla gelir. Geometrik çözünürlük ise bir obje türünün veritabanındaki geometrik özetleme düzeyidir. Bir mekânsal veritabanının geometrik çözünürlüğü deyince objenin geometri tipi, minimum obje boyutu, iki komşu obje arasındaki minimum mesafe, minimum obje okunabilirliği kavramları akla gelir. Model genelleştirmesi yapılırken, hedef ölçekteki grafik kısıtlar düşünülmeksizin hedef ölçeğin kavramsal veri modeline ve çözünürlüğüne göre uygun genelleştirme yapılmalıdır. Model genelleştirmesinde semantik ve geometrik değişimler aşağıdaki genelleştirme operatörlerinin objelere uygulanması sonucunda meydana gelir.

- *Semantik Basitleştirme (Semantic Simplification):* Bu işlem objenin öznitelik sayısının azaltılmasıdır. Bir objedeki var olan özniteliklerden bazıları hedef veriseti için gerekli olmayabilir. Örneğin, "yol" objesindeki "şerit sayısı" ve "trafik yoğunluğu" özniteliği hedef verisetinde gerekli olmayabilir.

- *Sınıflandırma (Classification):* Bir objenin hedef verisetinde bir üst seviyedeki baskın obje sınıfında yer almasıdır. Örneğin, "meyvelik" objesinin bir üst seviyedeki "bitki örtüsü" obje sınıfında yer almasıdır.

- *Kavramsal Birleştirme (Aggregation):* Objeler kümelenirken objelerin birbirleriyle olan geometrik ilişkisi önemli rol oynar. Bu yüzden komşu objeler kümelenmelidir ve sonuçta semantik olarak yeni bir obje oluşturulur. Örneğin, birbirine komşu nokta geometrili "bina" objelerinden geometrik olarak uygun olanları kümelenerek alan geometrili "yerleşim yeri" objesine dönüştürülür. Aslında burada hem semantik hem de geometrik anlamda bir değişimden söz edilebilir.

- *Geometri Dönüşümü (Collapse):* Bu işlem mekânsal objenin geometrisini alan-çizgi, alan-nokta veya çizgi-nokta şeklinde değiştirir.

- *Eleme (Elimination):* Hedef ölçek çözünürlüğünde minimum obje boyutu değeri istenen minimum değerden küçükse veya obje hedef çözünürlükte önemsiz/az önemli ise obje silinebilir.

- *Geometrik Birleştirme (Amalgamation):* Birbirine komşu ve yakın olan aynı tip objelerin birleşerek aynı tipte yeni bir obje oluşturmasıdır. Buradaki işlemin, kavramsal birleştirme işleminden farkı sonuçta oluşan yeni objenin işlem öncesindeki objelerle aynı tipte olmalarıdır. Örneğin, birbirlerine ölçüt değerden daha yakın olan "taşlık" objelerinin birleşerek yeni geometride fakat yine aynı tipte "taşlık" objesi oluşturmasıdır.

- *Basitleştirme (Simplification):* Alansal veya çizgisel objelerin okunabilir geometrik detaylarının boyutları istenilen değerden küçükse objedeki bu küçük geometrik detaylar ihmal edilir.

c. Çoklu Gösterim

Farklı ölçek ve çözünürlükteki mekânsal veya kartografik veritabanlarının birbirinden bağımsız olarak depolanmasının ve güncelleştirilmesinin ortaya çıkardığı birçok problemden dolayı, mekânsal veriler için çoklu gösterim veritabanı oluşturulması fikri ve gerekliliği ortaya çıkmıştır. Değişik ölçeklerdeki mekânsal veriler arasında doğruluk ve çözünürlük bakımından farklılıklar vardır. Genellikle mevcut sistemlerde her bir ölçek için ayrı bir veritabanı tutulmaktadır ve bu durum veri tutarsızlığı ve güncelleme problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Çoklu gösterim veritabanında gerçek dünyadaki değişikliklerin temel veritabanı seviyesinde uygulanıp diğer seviyelerde bu değişimin otomatik olarak gerçekleştirilmesi söz konusudur. Kullanıcılardan gelen farklı çözünürlüklü veri gereksinimleri çoklu gösterim yapısını zorunlu kılmaktadır (Kilpelainen, 1995b). Çoklu gösterim veritabanı farklı çözünürlük, doğruluk ve geometri seviyelerindeki aynı gerçek dünya objelerini depolayan mekânsal veritabanı olarak tanımlanabilir. Bu sayede, bir veritabanı içinde aynı objenin farklı gösterimleri depolanabilir ve en önemlisi bu farklı gösterimlerin birbirleri ile ilişkisi kurulabilir. Çoklu gösterim veritabanları konusu ile ilgili en geniş çalışmalardan biri Kilpelainen (1997) tarafından yapılmıştır. Bu doktora çalışmasında, model genelleştirmesi, çoklu gösterim veritabanı, görselleştirme için kartografik veritabanı, güncellemelerin otomatik ilerletilmesi konuları ele alınmıştır. Kilpelainen'in modeline göre çoklu gösterim veritabanı model genelleştirme aşamasını düzenleyen ve kartografik genelleştirme sürecine hazırlık aşaması olarak algılanabilecek bir yapıdır. Çoklu gösterim veritabanı ile kartografik veritabanı birbirinden farklı kavramlardır. Çoklu gösterim veritabanı kartografik ortamda görünmediği için objelerin model genelleştirmesi aşamasında örtüşme sorunu yoktur. Kartografik veritabanı kartografik gösterimleri içerirken, çoklu gösterim veritabanı yeryüzü gerçekliğinin basitleştirilmiş gösterimlerini kapsamaktadır (Kilpelainen, 2000) yani sayısal mekânsal modellerden oluşan bir sistemdir. Çoklu gösterim veritabanında kartografik veritabanının aksine yer isimleri ve işaretler yoktur. Bunun yerine isimler, objelere ait sözel veriler olarak tanımlanır. Kartografik veritabanlarının üretimi kartograf etkileşimini gerektirmektedir ve gösterime yönelik ürünlerdir.

Kilpelainen (1997) çoklu gösterim veritabanı sistemi için şöyle bir model tanımlamıştır;

- Bir çoklu gösterim veritabanı model genelleştirmesi ile oluşturulur.

- Çoklu gösterim veritabanı içindeki veriler seviyeler halinde yapılandırılır.

- Çoklu gösterim veritabanı içinde her seviyedeki mekânsal veri, obje modeline göre objelerden ve objeler arasındaki ilişkilerden oluşur ve tanımlanır. Bu veriler obje yönelimli yaklaşım mantığında olmalıdır. Bir obje geometrik bilgi, öznitelik, davranış, objeler arasında tanımlanan ilişkiler bilgilerini içermelidir. Sistemin topolojik ilişkilerin kullanımını desteklediği varsayılır.

- Aynı objenin çeşitli seviyelerdeki farklı gösterimleri iki yönlü bağlantılarla birbirleriyle ilişkilendirilir.

- Nedenleme/Yorumlama/Muhakeme işlemleri model genelleştirme operatörlerinin kullanımını kontrol eder. İki yönlü bağlantıların kullanımı ve sürdürülmesi bu bağlamda çok önemlidir.

Çoklu gösterim veritabanı sisteminin temel seviyesi en doğru ve ayrıntılı seviyedir ve nadiren tamamen görselleştirilir. Bir objenin gösterimi seviyeden seviyeye değişebilir. Objelerin kavramsallaştırma dereceleri, bulundukları seviyenin derecesiyle artmaktadır. Yani gösterim seviyesi yükseldikçe kavramsallaştırma değeri artmaktadır. Örneğin temel seviyede karmaşık çokgen olarak gösterilen bina, ikinci seviyede basit çokgen, üçüncü seviyede nokta, dördüncü seviyede ise birleştirilmiş bir alanın parçası olarak gösterilebilir (Şekil 11). Çoklu gösterim veritabanı sisteminde gösterim seviyelerinin sayısı amaca bağlı olarak değişebilir. Çoklu gösterim veritabanının temel amaçlarından biri olan otomatik genelleştirme ve güncelleme işlemlerinin yapılabilmesi için tüm seviyeler büyük önem arz etmektedir. Ancak en önemli seviye

temel seviyedir. Çünkü diğer seviyeler temel seviyeden veya kendinden önceki her hangi bir seviyeden genelleştirilerek elde edilir. Temel seviyede yapılacak olan bir güncellemenin diğer seviyelerde de otomatik olarak yerine getirilmesi istenir. Kilpelainen bu yapıyı "incremental generalization" yani artırımlı genelleştirme olarak adlandırmıştır. (Kilpelainen vd., 1995). Artırımlı genelleştirme, yazılım mühendisliğindeki artırımlı derleme yaklaşımına dayanır. Çoklu gösterim veritabanında otomatik artırımlı genelleştirme, tüm genelleştirme işlemlerini otomatik hale getirir.

Gösterim Seviyeleri	Coğrafi Anlamı	İşlem	Kartografik Gösterim	Geometrik Gösterim
Seviye4	meskûn alan	Seviye3 deki binaları kümele.		Alan
Seviye3	bina	Seviye2 deki binanın merkez noktasını bir nokta sembolle değiştir.		Nokta
Seviye2	bina	Seviye1 deki binanın dış çizgilerini basitleştir.		Alan
Seviye1 (Temel seviye)	bina	Temel seviyedeki gösterimi kullan.		Alan

Şekil 11. Bina objesi için gösterim seviyeleri, Kilpelainen (1997)' den uyarlanmıştır

Mekânsal veriler, objelerden ve objeler arasındaki ilişkilerden meydana gelir. Bu yapı obje yönelimli veri modeli yaklaşımı kullanılarak oluşturulabilir. Bir obje; konumsal bilgi, objeyi tanımlayan öznitelikler, davranış ve metot bilgilerinden oluşan bir pakettir (Helokunnas, 1992). Objenin hareket tarzları metotlar kullanılarak gerçekleştirilebilir ve objeler birbirleriyle mesajlar kullanarak haberleşebilirler. Bir metot, bir işlemin bir obje veya obje sınıfı için yerine getirilmesidir (Rumbaugh vd., 1991). Her obje bir tekil tanımlayıcıya sahiptir. Obje yönelimli bir veritabanında her satır bir objeyi temsil eder. Her objenin metot olarak adlandırılan belirli fonksiyonlara erişim hakkı vardır. Aynı tipteki objeler aynı metotlara sahiptir ve aynı tip objelerin oluşturduğu gruba sınıf denir. Çoklu gösterim veritabanı içinde aynı objenin farklı gösterim seviyelerindeki gösterimleri arasındaki ilişki çok yönlü bağlantılar kurularak gerçekleştirilir. Gösterim seviyeleri arasında kurulacak bu çok yönlü bağlantılar iki ana amaç için gereklidir. Bu amaçlar, güncellemelerde otomatik tetikleme mekanizmasını harekete geçirebilmek ve farklı gösterim seviyelerinde objelere uygulanacak işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlamaktır. Bağlantılar denilince, aynı objenin farklı seviyelerdeki, farklı gösterimleri arasında elde edilen iki yönlü bağlar ve referanslar kastedilmektedir. Aynı seviyedeki farklı objeler arası bağlar ise ilişki olarak tanımlanmaktadır. Farklı gösterim seviyelerinde bulunan objeler arasındaki iki yönlü bağlantıların varlığı güncellemelerin ilerletilmesi ve nedenleme işlemi için önemlidir. Çoklu gösterim veritabanı içerisindeki ilişkilerin modellenmesi ve oluşturulması, halen üzerinde çalışılan araştırma konularından biridir.

ç. Yegâne Tanımlayıcı

Çoklu gösterim veritabanında objeler arasındaki ilişki ve bağlantıyı kurabilmek için objelere ait değişmeyen bir kayıt bilgisine ihtiyaç vardır. Bu kayıt bilgisine kaynaklarda tekil tanımlayıcı denilmektedir. Ayrıca, kaynaklarda mekânsal veritabanlarındaki her bir objenin tekil tanımlayıcı bilgisi olması gerektiği vurgulanmaktadır. Tekil kelimesi anlam olarak ifade ettiği kavramı tam anlamıyla aktaramadığı için yegâne kavramı kullanılmıştır. Yegâne tanımlayıcılar özellikle çoklu gösterim veritabanlarında, aynı yeryüzü gerçekliğine ait farklı gösterim seviyelerindeki mekânsal objeler arasındaki bağlantıyı sağlayan ve genellikle nümerik ve nümerik olmayan karakterlerin bir araya gelmesiyle oluşan kayıtlardır. Bu kayıtların yaşam döngüleri, ait olduğu mekânsal obje, veritabanından silinmediği sürece sona ermez. Bir yegâne tanımlayıcı birden çok objeye asla verilemez. Yegâne tanımlayıcı oluşturmanın kesin bir kuralı yoktur. Ülkelere göre değişiklik gösterebilir. Tanımlayıcı değerin nelerden oluşacağı tamamen kullanım amacına yönelik olarak belirlenmelidir. En önemli nokta yegâne tanımlayıcının veritabanında sadece bir objeyi ifade etmesidir.

Ordnance Survey temel mekansal veritabanında, Büyük Britanya'daki bütün mekânsal objelerin TOID (TOpographic IDentifier) özniteliğine yegâne tanımlayıcı atanmıştır (Şekil 12). Bu yegâne tanımlayıcı iki kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar, 4 karakterden oluşan nümerik olmayan bir ön ek (veri sağlayıcı kurum ön eki) ve 13-16 karakterden oluşan nümerik bir değerdir (Ordnance Survey, 2011).

osgb (Ordnance Survey Great Britain)
+
13-16 karakterli nümerik değer

Yegâne tanımlayıcı değerin ilk dört karakterinin bir ön ekten oluşmasının sebebi, farklı veri sağlayıcı kurumların aynı yegâne tanımlayıcıyı üretme ihtimalleri olmasından

dolayıdır. Bu ön ek sayesinde bu ihtimal ortadan kalmış olur. Zaten var olan bir yegâne tanımlayıcı asla başka bir obje için verilmemelidir.

Şekil 12. İngiltere yegâne tanımlayıcı örneği

Almanya ATKIS veritabanındaki yegâne tanımlayıcılar 16 alfa nümerik karakterden ve üç kısımdan oluşur. 2 karakterden oluşan nümerik olmayan ülke kodu, 6 karakterden oluşan federal eyalet kodu + nümerik veya nümerik olmayan değer, 8 karakterden oluşan nümerik veya nümerik olmayan değer (AdV, 2004).

DENW123412345678

DE ülke kodu

NW North Rhine-Westfalia (Eyalet kodu) + 1234

12345678 nümerik veya nümerik olmayan karakter.

İsviçre SwissTopo mekânsal veritabanındaki yegâne tanımlayıcılar ise 16 alfa nümerik değerden oluşur. Yegâne tanımlayıcı, 8 karakterden oluşan bir alfa nümerik ön ek ve 8 nümerik karakterden oluşan değerdir (Swisstopo, 2007).

8 karakterli alfa nümerik ön ek (ilk 2 karakteri ülke kodu) **+** 8 karakterli nümerik değer

CH12341200000000

CHa2G51198765432

4. MODEL GENELLEŞTİRMESİ (GÖSTERİM SEVİYELERİNİN OLUŞTURULMASI) VE OBJE EŞLEŞTİRME UYGULAMASI

Bu çalışmanın uygulama aşamasında, kavramsal veri modeli, veri sözlükleri ve üretim talimatları da dikkate alınarak 1:25000 ölçeği temel gösterim seviyesi olmak üzere 1:50000, 1:100000, 1:250000, 1:500000 gösterim seviyelerinin model genelleştirmesi yaklaşımıyla türetilmesi ve güncellemelerin otomatik ilerletilmesi amaçlanmıştır. Uygulamada, 1:25000 ölçekli topografik vektör veriler, yazılım olarak ise ArcGIS yazılımı ve bu yazılımın mimarisini oluşturan ArcObjects nesneleri kullanılmıştır. Şekil 13' de, 1:25000-1:500000 ölçek aralığında mekânsal objelerin ve harita içeriğinin nasıl dramatik bir şekilde değiştiği resmedilmeye çalışılmıştır.

Şekil 13. Değişik ölçekte haritalar: (a) 1:25000, (b) 1:50000, (c) 1:100000, (d) 1:250000, (e) 1:500000

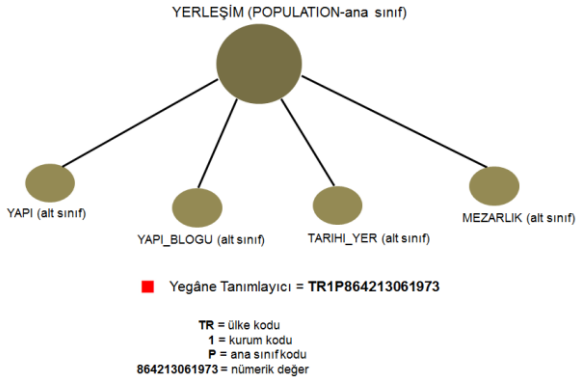
a. Kavramsal Model Tasarımı Aşaması

Mevcut durumda 71 obje türünden oluşan 1:25000 ölçeğindeki yerlesim sınıfı objeleri, gerçek dünyadaki özellikleri dikkate alınarak yeniden sınıflandırılmıştır. Mevcut yerleşim sınıfında objeler nokta, çizgi, alan geometriden oluşmaktadır. Toplam 71 obje türünden oluşan sınıf tek başına yeterli değildir. Çünkü sınıf içerisindeki objelerin özellikleri, karakterleri, diğer objelerle olan ilişkileri ve davranışları birbirinden farklılıklar arz edebilmektedir. 71 obje türünün 10 tanesi kartografik detay olduğu için işleme alınmamış ve yerleşim sınıfından çıkarılmıştır. Bütün bu durumlar dikkate alınarak kalan 61 obje türünden oluşan yerleşim sınıfı için 8 farklı sınıf oluşturulmuş ve 61 obje özelliklerine göre bu 8 sınıf içerisine dâhil edilmiştir (Şekil 14). Objelerin kendine has ve birbirleriyle ortak olan özelliklerine göre sınıflandırılması otomatik genelleştirme ve otomatik güncelleme esnasında önemlidir. Çünkü objelere uygulanan işlemler bu sınıflar sayesinde toplu olarak uygulanabilir. YAPI (alan, nokta), YAPI_BLOGU (alan), MEZARLIK (alan, nokta), TARIHI_YER (nokta, çizgi, alan) oluşturulan obje sınıflarıdır.

SINIF ADI	DETAY_ADI	GEOMETRİSİ
YAPI	AGIL	nokta
	AGIL_(HARAP)	nokta
	BINA	nokta
	BINA_(HARAP)	nokta
	BINA_RESMI	nokta
	CAMI_KUCUK	nokta
	CAMI_MINARESIZ/MESCIT	nokta
	DEMIRYOLU_ISTASYONU	nokta
	DEMIRYOLU_YAKIT_IKMAL_ISTASYONU	nokta
	DEMİRYOLU_MAKAS_BINASI	nokta
	EGITIM_KURUMU	nokta
	ENERJI_TESISI	nokta
	HABERLESME_TESISI	nokta
	HAVRA(SINAGOG)_KUCUK	nokta
	KILISE_KUCUK	nokta
	KUBBE	nokta
	METEOROLOJI_ISTASYONU	nokta
	SAGLIK_KURUMU	nokta
	TICARET_VE_SANAYI_TESISI	nokta
	YAYLA_EVI	nokta
	YAYLA_EVI_HARAP	nokta
	SERA	nokta
	SUNDURMA	nokta

Şekil 14. Yeniden oluşturulan obje sınıfına örnek

Çalışmada, veritabanındaki objelere şekil 15' de görülen kurala dayalı olarak yegâne tanımlayıcılar atanmıştır.



Şekil 15. Yegâne tanımlayıcının yapısı

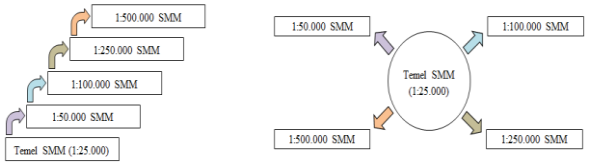
Mevcut veri modelindeki özniteliklere ilave olarak, model genelleştirmesi ve güncelleme aşamalarında kullanmak üzere yeni öznitelikler tanımlanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Yeni oluşturulan öznitelikler

Öznitelikler	Obje Sınıfı Geometrisi			Öznitelik Tipi
	Alan	Nokta	Çizgi	
SINIF_ADI	var	var	var	text
YEGANE_TANIMLAYICI	var	var	var	text
ADRES_TANIMLAYICI	var	var	var	short integer
OLCEK	var	var	var	short integer

b. Model Genelleştirmesi Aşaması

Çoklu gösterim veritabanı oluşturabilmek için iki yöntem söz konusudur. Bu yöntemlerden biri temel sayısal mekânsal modelden çıkış alınarak daha düşük çözünürlüklü sayısal mekânsal modelleri (çoklu gösterim veritabanındaki her bir gösterim seviyesi) model genelleştirmesi yöntemi ile oluşturmak, diğeri ise mevcut sayısal mekânsal modelleri obje eşleştirme yöntemleri ile eşleştirerek oluşturmaktır. Bu çalışmada, model genelleştirmesi yöntemi ile çoklu gösterim veritabanı oluşturulacaktır. Model genelleştirmesi, orijinalden elde edilen modellerde uygulandığı gibi bir SMM'den daha düşük çözünürlükte bir başka SMM elde edilmesinde de uygulanır. Model genelleştirmesinde, hedef çözünürlükte yapılacak/yapılması muhtemel mekânsal analiz ve sorgulamalar da dikkate alınmalıdır. Model genelleştirmesi ile çoklu gösterim veritabanı oluştururken karar verilmesi gereken önemli bir nokta da, mekânsal verilerin türetilmesinde basamak (ladder) ve yıldız (star) yaklaşımlarından hangisinin seçileceği ve uygulanacağıdır. Basamak yaklaşımında küçük ölçekli mekânsal veriler, bir önceki büyük ölçekli mekânsal verilerden türetilirken, yıldız yaklaşımında ise tüm türetme veriler temel mekânsal verilerden türetilmektedir (Şekil 16). Türetme mekânsal verilerin oluşturulmasında bu iki yaklaşımın her ikisini uygulamak da mümkündür. Bu çalışmada basamak yaklaşımı uygulanmıştır. Bunun sebebi, veri yoğunluğundan kurtulmak ve gösterim seviyeleri arasındaki veri tutarlılığını sağlamaktır.



(a) (b)

Şekil 16. Basamak ve yıldız yaklaşımları: (a) Basamak yaklaşımı, (b) Yıldız yaklaşımı

Uygulamada kullanılmak üzere 6 adet model genelleştirmesi operatörü belirlenmiştir. Bu operatörler, kavramsal veri modeli, veri sözlükleri ve üretim talimatları da dikkate alınarak 1:25000 ölçeği temel gösterim seviyesi olmak üzere 1:50000, 1:100000, 1:250000, 1:500000 gösterim seviyelerinin model genelleştirmesi yaklaşımıyla türetilmesinde kullanılacaktır (Şekil 17). Bu işlem esnasında, ilgili ölçekte üretilen STH' nın kullanım amacı ve içerdiği mekânsal bilgiler, objelerin sembol büyüklükleri, gözün objeleri ayırt etme gücü, en kısa kenar, en yakın mesafe, en

küçük/en büyük alan gibi ölçütler göz önünde bulundurularak türetme işlemi yapılacaktır.

Şekil 17. Model genelleştirmesi iş akışı

SMM25, gerçek dünyayı temsil eden en doğru ve eksiksiz sayısal mekânsal verisetidir. SMM25 veriseti, TOPO25 topografik veritabanından aynen alınan verilerden oluşmaktadır. Çoklu gösterim veritabanının temel seviyesini oluşturan SMM25 obje sınıfları, veritabanında Şekil 18' de görüldüğü isimlendirme ile depolanmaktadır. Farklı gösterim seviyelerindeki obje sınıfı isimlerinin sonuna obje sınıfının geometri türü ve ölçek belirteci getirilmektedir. Örneğin, YAPI_ALAN_100, TARIHI_YER_NOKTA_25,..vb. Bu isimlendirme şekli, programlama aşamasında obje sınıflarına ulaşmada kolaylık sağlayacağı için seçilmiştir.

YAPI_ALAN_25		TARIHI_YER_ALAN_25
YAPI_NOKTA_25	MEZARLIK_ALAN_25	TARIHI_YER_NOKTA_25
YAPI_BLOGU_25	MEZARLIK_NOKTA_25	TARIHI_YER_CIZGI_25

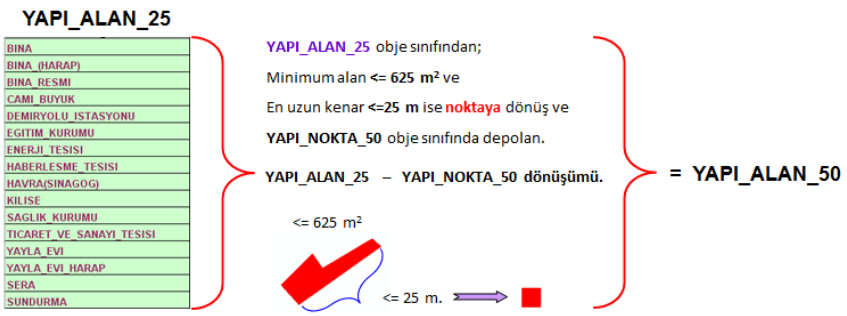
Şekil 18. SMM25 obje sınıflarının veritabanındaki isimlendirmesi

Bu bölüm içerisinde buraya kadar anlatılan model genelleştirmesi ve çoklu gösterim veritabanının oluşturulması aşamalarında kullanılan geometrik ve semantik dönüşüm işlemleri ile alan, uzunluk, basitleştirme ölçüt değerlerinin bir bölümü tablo 2' de görülmektedir. Tablonun tamamı 1:25000-1:500000 ölçeklerini kapsamaktadır. Bu tablonun daha iyi anlaşılması için YAPI_ALAN_50 obje sınıfının oluşturulması şekil 19' da detaylı olarak resmedilmiştir.

Tablo 2. Model genelleştirmesi ve SMM oluşturma işlem tablosunun bir bölümü

	YAPI_ALAN				YAPI_NOKTA				YAPI_BLOGU			
	Rumuz	İçerik	İşlem	Ölçütler	Rumuz	İçerik	İşlem	Ölçütler	Rumuz	İçerik	İşlem	Ölçütler
SMM25	YA25	Temel Seviye			YN25	Temel Seviye			YB25	Temel Seviye		
SMM50	YA50	YA25	4, 5	Alan= 625 m². Uzunluk= 25 m.	YN50	YA25, YN25	4	Alan= 625 m². Uzunluk= 25 m.	YB50	YA25, YN25, YB25	3, 6	Alan= 50.000 m². Tampon= 10 m. Alan= 20.000 m².
SMM100	YA100	YA50	4, 5	Alan= 2500 m². Uzunluk= 50 m.	YN100	YA50, YN50	4	Alan= 2500 m². Uzunluk= 50 m.	YB100	YA50, YN50, YB50	3, 6	Alan= 180.000 m². Tampon= 20 m. Alan= 80.000 m².

1= Sınıflandırma, 2= Basitleştirme, 3= Kavramsal Birleştirme , 4= Geometri Dönüşümü, 5= Eleme, 6= Geometrik Birleştirme
Basitleştirme ölçütü bütün ölçekler için 10 metre olarak uygulanmıştır.



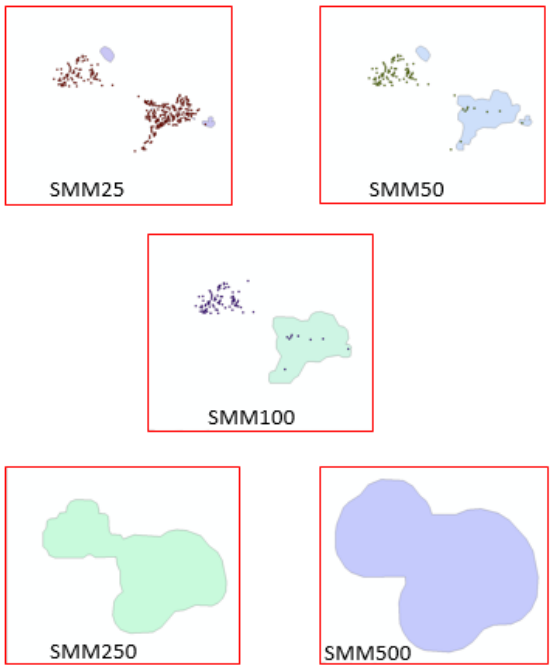
Şekil 19. YAPI_ALAN_50 obje sınıfının oluşturulması

Model genelleştirmesi ve bunun sonucunda oluşacak çoklu gösterim veritabanının her bir gösterim seviyesi, tablo 2' de belirlenen kurallara göre ve şekil 20' de arayüzü görülen ModGen programı kullanılarak türetilmiştir. Hazırlanan ModGen programı .exe uzantılı bir program olup, basamak yaklaşımına göre SMM50, SMM100, SMM250, SMM500 gösterim seviyelerini otomatik olarak türetebilmektedir. Ayrıca, ModGen programı kullanılarak, farklı gösterim seviyelerindeki aynı dünya gerçekliğini ifade eden veya bu gerçekliğin geometrik ve/veya semantik olarak bir parçası olan objelerin eşleştirilmesi işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

Şekil 20. ModGen model genelleştirme ve obje eşleştirme programı arayüzü

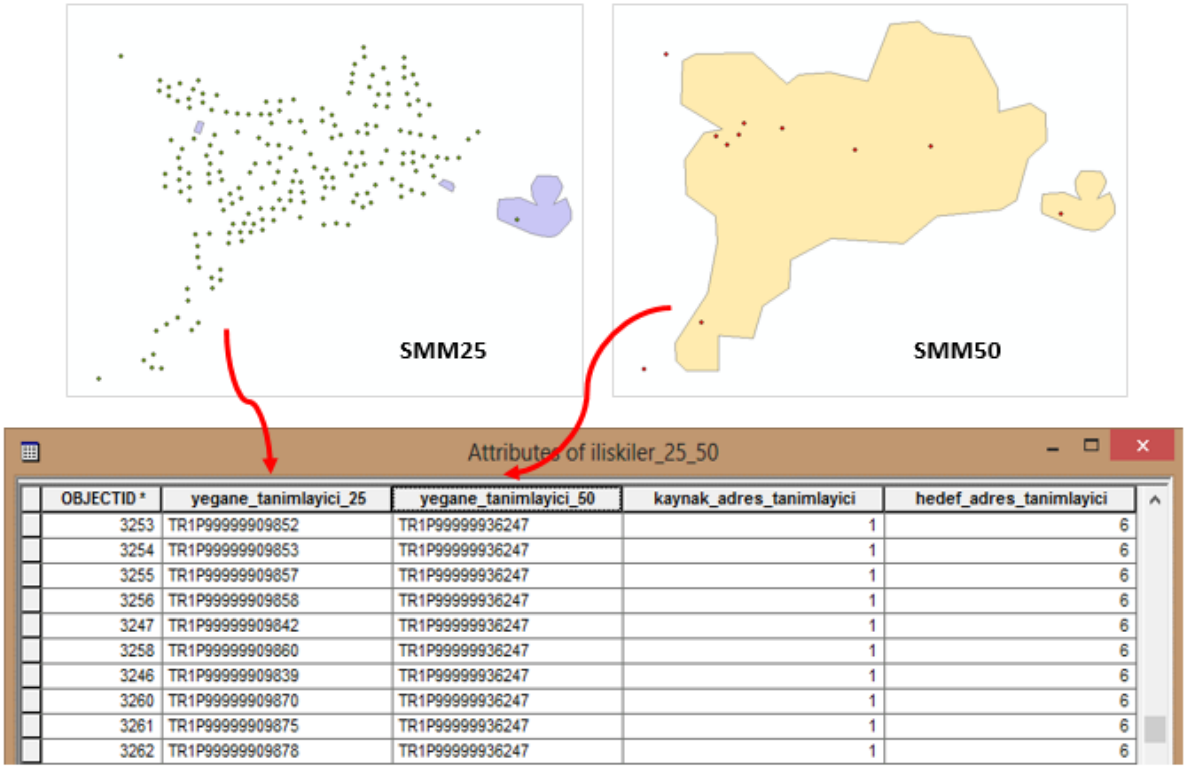
Sonuç olarak, SMM25 temel sayısal mekânsal model veriseti kullanılarak SMM50, SMM100, SMM250, SMM500 verisetleri türetilmiştir. Farklı gösterim seviyelerindeki objelerin eşleştirmesi yapılarak çoklu gösterim veritabanı oluşturulmuştur. Güncellemelerin otomatik ilerletilebilmesi için şart olan veritabanı yapısı elde edilmiştir.

Şekil 21' de basamak yaklaşımına göre elde edilen çoklu gösterim veritabanının gösterim seviyeleri verilmiştir.



Şekil 21. Gösterim seviyeleri

Obje eşleştirme aşamasında, çoklu gösterim veritabanı içerisindeki gösterim seviyelerinin birbirleriyle ilişkisini gösteren "ilişkiler_25_50", "ilişkiler_50_100", "ilişkiler_100_250" ve "ilişkiler_250_500" tabloları otomatik olarak oluşturulmaktadır. Bu tablolar otomatik güncelleme aşamasında kullanılmak üzere oluşturulmuştur. Ayrıca, çoklu gösterim veritabanının içerisinde, SMM25 temel sayısal mekânsal modeldeki objelere verilen yegâne tanımlayıcı değerlerini tutan "yegane_tanimlayici" ve SMM25 içinde yapılan değişikliklerin kayıt bilgisini tutan "islemler" tabloları oluşturulmaktadır. "islemler" tablosu yardımıyla, SMM25 içinde değişikliğe uğrayan objeye ait bilgiler kullanılarak diğer gösterim seviyelerindeki yeni durum otomatik olarak güncellenecektir. Oluşturulan ilişki tabloları şekil 22' de görülmektedir.



OBJECTID *	yegane_tanimlayici_25	yegane_tanimlayici_50	kaynak_adres_tanimlayici	hedef_adres_tanimlayici
3253	TR1P99999909852	TR1P99999936247	1	6
3254	TR1P99999909853	TR1P99999936247	1	6
3255	TR1P99999909857	TR1P99999936247	1	6
3256	TR1P99999909858	TR1P99999936247	1	6
3247	TR1P99999909842	TR1P99999936247	1	6
3258	TR1P99999909860	TR1P99999936247	1	6
3246	TR1P99999909839	TR1P99999936247	1	6
3260	TR1P99999909870	TR1P99999936247	1	6
3261	TR1P99999909875	TR1P99999936247	1	6
3262	TR1P99999909878	TR1P99999936247	1	6

Şekil 22. Gösterim seviyeleri arasındaki ilişki tabloları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, TOKAT-G36 pafta sınırları içerisindeki temel sayısal mekânsal model verilerinden yerleşim sınıfına ait objeler kullanılarak model genelleştirmesi ve obje eşleştirmesi yapılmış ve çoklu gösterim veritabanı oluşturulmuştur.

Bu çalışmada kullanılan temel sayısal mekânsal modeldeki yerleşim sınıfına ait her bir objeye, dördüncü bölümde açıklandığı gibi yegâne tanımlayıcı atanmıştır. Bütün tematik katmanlar dâhil edildiğinde, bir adet 1:25000 ölçekli pafta alanı içerisine giren mekânsal obje sayısı ortalama 5000 ile 15000 arasında değişmektedir. Bu sayı 15000 olarak alınsa bile, tüm ülkeye ait TOPO25 temel sayısal mekânsal model objelerine yegâne tanımlayıcı atanabilir.

Bu çalışmada ModGen programı kullanılarak, TOKAT-G36 bloğuna ait temel sayısal mekânsal model verileri ele alınmış ve yegâne tanımlayıcı atama, gösterim seviyelerini oluşturma, obje eşleştirme, basitleştirme işlemleri uygulanmıştır. Bu işlem adımlarının hepsi 54 dakika sürmüştür. Programın zamansal istatistiği tablo 3' de görülmektedir.

Tablo 3. Zaman istatistik tablosu

İŞLEM ADI	SÜRE (Dakika)
Yegâne Tanımlayıcı Üretimi	12
SMM50 Üretimi	15
SMM100 Üretimi	6
SMM250 Üretimi	3
SMM500 Üretimi	1
SMM25-SMM50 Eşleştirme	12
SMM50-SMM100 Eşleştirme	2
SMM100-SMM250 Eşleştirme	1
SMM250-SMM500 Eşleştirme	1
Basitleştirme	1
TOPLAM	**54**

Üçüncü bölümde açıklandığı üzere model genelleştirmesi, temel sayısal mekânsal modeli kullanarak daha düşük geometrik ve semantik çözünürlüklere sahip mekânsal modeller türetmektir. Aynı zamanda model genelleştirmesi, kartografik genelleştirmeye hazırlık ve geçiş aşamasıdır. Dünyadaki uygulamalara bakıldığında genel eğilimin bu şekilde olduğu görülmektedir. Mekânsal modellerden kartografik modellere geçiş işlemi, tutarlılık, standartlık,

zaman bakımından tercih edilmesi gereken bir yöntemdir. Tablo 4' de model genelleştirmesi sonucunda oluşan gösterim seviyelerindeki obje sayıları görülmektedir.

Tablo 4. Obje sayılarındaki değişim

GÖTERİM SEVİYESİ	NOKTA OBJE SAYISI	ALAN OBJE SAYISI	ÇİZGİ OBJE SAYISI
SMM25	35114	1025	1
SMM50	16311	539	1
SMM100	14126	147	1
SMM250	obje yok	137	obje yok
SMM500	obje yok	123	obje yok

Bu çalışmanın esas amacı, bir çoklu gösterim veritabanının temel gösterim seviyesinde yapılan bir değişikliğin (silme, oluşturma, değiştirme) diğer gösterim seviyelerine otomatik olarak ilerletilmesi ve artırımlı genelleştirme işlemlerinin gerçekleştirilmesidir. Dolayısıyla, model genelleştirme aşamasında kullanılan ve tablo 2' de görülen ölçüt değerler üzerinde fazla durulmamıştır. Bu ölçüt değerler eleştiriye açıktır ve iyileştirmeye ihtiyaç duymaktadır.

Güncellemelerin otomatik ilerletilmesi ve artırımlı genelleştirme üzerine yapılan çalışmanın kavramsal tasarımı bitmiş ve programlama aşaması sona ermek üzeredir. Çalışma nihayete erdirildiğinde elde edilen sonuçlar paylaşılacaktır.

KAYNAKLAR

AdV, (2004), **Documentation on the Modelling of Geoinformation of Official Surveying and Mapping in Germany**, Doküman, Working Committee of the Surveying Authorities of the States of the Federal Republic of Germany (AdV), Bonn

Başaraner M., (2009), **Çok çözünürlüklü mekânsal veritabanları**, Akademik Bilişim Konferansı, 10-13 Şubat 2009, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa

Buttenfield B.P. and Delotto J.S., (1989), **Multiple Representations,** Scientific Report, National Center for Geographic Information and Analysis, NCGIA, Buffalo, 26p

Doğru A.Ö., (2009), **Çoklu Gösterim Veritabanları Kullanılarak Araç Navigasyon Haritası Tasarımı İçin Kartografik Yaklaşımlar**, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Düren U., Seifert M., (2006), **The German AAA Model**, EuroSDR/EuroGeographics Feature/Object Data Models Workshop, LVG, Munich, Germany, 24-25 April 2006

Hampe M., Sester M., Harrie L., (2004), **Multiple representation databases to supporvisualisation on mobile devices,** In: Proceedings of the 20th ISPRS Congress, July12-23, 2004, Istanbul, Turkey: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, pp. 135-140, 2004

Helokunnas T., (1992), **Object-Oriented Software Engineering Applied to GIS Development**, Helsinki University of Technology, Report of the Institute of Geodesy and Cartography, Cartography and GIS/2:1992, 88 p

HGK, (2002), **1:25 000, 1:50 000 ve 1:100 000 Ölçekli Kartografik Vektör ve Sayısal Harita Detay Tanımlama ve Özel İşaretler Yönergesi**, Harita Genel Komutanlığı, Ankara

HGK, (2003), **1:25000 Ölçekli Sayısal Topografik Harita Veri Sözlüğü**, Harita Genel Komutanlığı, Ankara

HGK, (2011), **1/250.000 ve 1/500.000 Ölçekli Vektör Haritalar İçin Veri Sözlüğü**, Harita Genel Komutanlığı, Ankara

Jones C.B., (1991), **Database Architecture for Multi-Scale GIS**, International Archives ACSM-ASPRS, Baltimore, Vol. 6, pp. 1-14

Kilpelainen T., Sarjokoski T., (1995), **Incremental Generalization for Multiple Representations of Geographical Objects**, GIS and Generalization, eds., Müller J-C., Lagrange J-P., and Weibel R., Taylor & Francis, pp. 209-218

Kilpelainen T., (1995b), **Updating Multiple Representation Geodata Bases by Incremental Generalization**, Geo-Informations-Systeme, Jahrgang 8, Heft 4, Wichmann, pp. 13-18

Kilpelainen T., (1997), **Multiple Representation and Generalization of Geo-Databases for Topographic Maps**, PhD Thesis, Finnish Geodetic Institute, Finland

Kilpelainen T., (2000), **Maintenance of Multiple Representation Databases for Topographic**

Data, The Cartographic Journal, Vol.37, No.2, December, pp. 101-107

Morgenstern D., Schürer D., (1999), **A Concept for model generalization of digital landscape models from finer to coarser resolution**, in Proceedings of the ICA 19th International Cartographic Conference, Ottawa, Canada

Ordnance Survey, (2011), **Policy Statement OS MasterMap Topographic Identifiers TOIDs**, Doküman, 2011

Regnauld N., (2011), **Generalisation operators**, ICA Tutorial on Generalisation and Multiple Representation, 2 July, 2011, Paris

Ruas A., Duchêne C., (2007), **A Prototype Generalisation System Based on the Multi-Agent System Paradigm**, **Mackaness W.A., Ruas A., Sarjakoski L.T.,** Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications, ICA, Oxford, UK: Elsevier edition, Chapter 14, pp. 269-284

Rumbaugh J., Blaha M., Premerlani W., Eddy F., Lorensen W., (1991), **Object-Oriented Modelling and Design**, Prentice–Hall International Inc., USA, 500 p

Sarjakoski T.L., (2007), **Conceptual Models of Generalisation and Multiple Representation**, Mackaness W.A., Ruas A., Sarjakoski L.T., Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications, ICA, Oxford, UK: Elsevier edition, Chapter 2, pp. 11-35

Schürer D., (2002), **Ableitung von digitalen Landschaftsmodellen mit geringerem Strukturierungsgrad durch Modellgeneralisierung**, Doktora Tezi, Schriftreihe des Institutes für Kartographie und Topographie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn

Stoter J., Visser T., Oosterom P., Quak W., Bakker N., (2011), **A semantic-rich multi-scale information model for topography**, International Journal of Geographical Information Science, 25:5, 739-763

Swisstopo, (2007), **http://www.interlis.ch/oid/oid_e.php#construction**, [Erişim 25 Nisan 2014]

Uçar D., Bildirici İ.Ö., Uluğtekin N., (2003), **Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Model Genelleştirmesi Kavramı ve Geometri ile İlişkisi**, Bildiri, TUJK Bilimsel Toplantısı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı 24-25-26 Eylül 2003, Konya

Yin Z., (2005), **A Multi-Scale GIS Database Model Based on Petri Net**, **Proceedings of the ISPRS Workshop on Service and Application of Spatial Data Infrastructure,** Volume XXXVI-4/W6, 14-16 October 2005, Hangzhou, China

İnternet Tabanlı GNSS Veri Değerlendirme Servisleri

(Internet Based GNSS Processing Services)

Berkay BAHADUR[1], Aydın ÜSTÜN[2]
[1]Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe, Ankara
[2]Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41380, Umuttepe, Kocaeli
berkaybahadur@hacettepe.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, GNSS (Global Navigation Satellite Systems) verilerinin internet aracılığıyla otomatik olarak analiz edildiği konumlama servislerinin kullanılabilirlik ve doğruluk performansı incelenmiştir. Bu servislerin en önemli avantajı, sunulan hizmetin ücretsiz olması ve eşdeğer ticari veya bilimsel değerlendirme yazılımıyla karşılaştırıldığında, en alt düzeyde kullanıcı deneyimi ve bilgisi gerektirmesidir. Performans ölçümü iki aşamada ele alınmıştır. İki ayrı uygulamaya ilişkin RINEX verileri, dünyada yaygın olarak kullanılan altı farklı internet tabanlı GNSS değerlendirme servisine (AUSPOS, OPUS, TRIMBLE, APPS, CSRS-PPP ve Magic-GNSS) gönderilmiştir. Verilerin yüklenmesiyle başlayan değerlendirme süreci, oldukça hızlı bir şekilde tamamlanıp, nokta koordinatları bazı ek bilgilerle birlikte e-posta aracılığıyla elde edilmiştir. Birinci aşamada uzun gözlem süreli (7 günlük, 24 saatlik) verilerin statik ve duyarlı konum belirleme (PPP: Precise Point Positioning) analizi yapılmış ve PPP'nin performansı incelenmiştir. İkinci aşamada, yerel bir GPS kampanyasında değişik sürelerdeki verilerin PPP değerlendirme sonuçları ele alınmıştır.

En az 1 saat statik olarak elde edilmiş veriler için PPP yöntemi ile değerlendirme yapan servislerin statik yöntemle değerlendirme yapan servislere yakın sonuçlar ürettiği görülmektedir. Gözlem süresi 5 saate kadar olan noktalarda 1-2 cm mertebesinde konum doğruluğuna ulaşılmıştır. Gözlem süresi 1 saate kadar düşürüldüğünde doğruluk değerleri 3-4 cm'ye gerilemiştir. Eldeki bulgulardan yola çıkılarak, PPP tekniğini kullanan servislerin GPS konum ölçmelerinde doğruluk beklentilerini karşılayabilecek düzeyde sonuç ürettiği söylenebilir.

Anahtar kelimeler: *GNSS, RINEX, İnternet tabanlı GNSS değerlendirme servisleri, PPP, nokta konum doğruluğu*

ABSTRACT

In this study, the usage and accuracy performance of internet based GNSS processing services are evaluated. The main advantages of them are that the services are free and they require minimum user experience when compared with commercial and scientific software packages. After processing observation data on the internet based services, the performance evaluation of the results have been compared with the associated static coordinates of them in two stages.

The RINEX files of two different GPS campaigns have been sent to six different internet based online GNSS processing services, AUSPOS, OPUS, TRIMBLE, CSRS-PPP, APPS and MAGIC-GNSS for the processing. The processing operation that begins with the delivery of data has been completed quickly and the coordinates of the observation stations have been obtained with some additional information via e-mail. Firstly, the results of PPP (Precise Point Positioning) technique have been interpreted in a comparative approach. The differences between static and PPP coordinates show an agreement of 1 cm in terms of horizontal components and 3-4 times worse in height component. The services and their capabilities have been discussed considering these error levels of positioning. The results of this study are promising that they meet the required accuracy for several engineering applications based on the GNSS positioning.

Keywords: *GNSS, RINEX, Online GNSS processing, PPP, positioning accuracy*

1. GİRİŞ

Son zamanlarda klasik değerlendirme yöntemlerine bir seçenek olarak **internet tabanlı GNSS konumlama servisleri** geliştirilmiştir. Bu servisler web sayfaları aracılığıyla yüklenen GNSS verilerini otomatik olarak değerlendirmektedir. Arazide toplanmış GNSS verileri RINEX gibi standart formatlara dönüştürüldükten sonra söz konusu servislere yüklenerek, gözlem noktalarının yermerkezli koordinatları oldukça kolay ve hızlı bir şekilde elde edilebilmektedir (örn. Ghoddousi-Fard ve Dare, 2006; Ebner ve Featherstone, 2008; Tsakiri, 2008; Subaşı ve Alkan, 2011; Gakstatter, 2013).

Son 10 yıllık zaman diliminde hizmet vermeye başlayan internet tabanlı konumlama (değerlendirme) servisleri, ticari ve bilimsel yazılımlara önemli bir seçenek olarak görülmektedir. Servislerin başlıca özelliği ücretsiz olmalarıdır. Bunların önemli bir kısmı, arka

planda bilinen bilimsel (Bernese, Gamit, Pages vb.) yazılımlara dayanırken, belirli bir kısmı da doğrudan internet üzerinden hizmet üretme amacıyla geliştirilmiş yazılımlardır. İkinci grubun gelişmesinde uydu jeodezisinde veri işleme ve yörünge iyileştirme çalışmalarının rolü büyüktür. GNSS uydularının yörünge ve saat bilgilerindeki doğruluk artışı, konum belirlemede yeni yaklaşımlar ve değerlendirme yöntemlerini ortaya çıkarmıştır.

International GNSS Service (IGS) ve benzeri kuruluşlar yüksek duyarlıklı yörünge bilgileri üretmekte ve kullanıcılara sunmaktadırlar. Genellikle gözlem sonrası veri işlem (post-process) uygulamaları kullanarak üretilen sonuçlar bilimsel araştırmalar ve mühendislik uygulamalarında belli doğruluk beklentilerini karşılayacak düzeydedir (Zumberge ve ark., 1997; Kouba ve Héroux, 2001; Kouba, 2009).

Bu çalışmanın amacı, internet üzerinden ücretsiz olarak hizmet veren internet tabanlı GNSS konumlama (değerlendirme) servislerini tanıtmaktır. Bu amaçla internet tabanlı servisler arasında önemli bir yer tutan ve klasik değerlendirme tekniklerine seçenek oluşturan duyarlı konum belirleme tekniğinin esasları hakkında bilgi verilecek ve uygulama gerçekleştirilecektir. Değerlendirme sonuçları ele alınarak, PPP tekniğini kullanan konumlama servislerinin başarısı irdelenecek ve uygulamadaki önemi değerlendirilecektir.

2. DUYARLI NOKTA KONUM BELİRLEME

Uydular konum belirlemenin vazgeçilmez araçları haline gelmiştir. Farklı teknikler kullanarak uydular yardımıyla yüksek doğruluk da konum bilgisi elde edilmektedir. Bu teknikler, genellikle veri toplama stratejisine göre farklılık göstermektedir. Geleneksel olarak, mutlak ve göreli (rölatif) konum belirleme yöntemleri uygulama amacına göre en çok tercih edilenlerdir. Yüksek doğruluk daha çok göreli konum belirlemenin konusudur. Ancak, yöntem iki ya da daha fazla istasyonda eş zamanlı gözlem yapmayı gerektirir. Duyarlı konum belirleme tekniği (PPP) bu zorunluluğu ortadan kaldıran bir seçenek sunmaktadır.

Duyarlı konum belirleme olarak adlandırılan yöntem, tek alıcıda toplanan kod ve faz ölçülerini temel alır. Uluslararası GNSS Servisi (IGS) ve benzeri kuruluşlar tarafından yayınlanan duyarlı yörünge ve saat düzeltmelerini kullanarak konum doğrudan belirlenir (Rizos ve ark., 2012). Sonuç olarak, başka bir istasyona alıcı kurulmasına ya da herhangi bir noktanın referans alınmasına gerek kalmaz.

Öte yandan tek GNSS alıcısı kullanmanın getirdiği sakıncalı durumlar vardır. Taşıyıcı faz gözlemlerine ilişkin "float ambiguity" çözümlerinin yakınsaması uzun sürmektedir. Santimetre seviyesinde konum doğruluğu elde edebilmek için iki alıcı arasındaki mesafeye bağlı olarak ortalama 10 kilometreye kadar 20 dakika veya daha fazla gözlem yapmak gerekir. Bu da yöntemin gerçek zamanlı olarak uygulanmasını kısıtlamaktadır (Rizos 2010).

PPP tekniğinin başarısı büyük ölçüde GPS uydularının yörünge bilgisine bağlıdır. Bu yüzden değerlendirmede yayın yörünge bilgileri yerine duyarlı yörünge (ultra-rapid, rapid, final) ve uydu saat bilgileri esas alınmaktadır. Son yıllarda IGS, CODE, JPL gibi kuruluşların hizmete sunduğu duyarlı uydu yörünge ve saat değerleri doğruluğunun gün geçtikçe artması PPP yöntemine olan ilgiyi arttırmaktadır (Alçay ve ark., 2013). Bu yolla elde edilebilecek doğruluk ölçme süresine ve iki veri kümesi (alıcı) arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir.

Tablo 1. IGS tarafından sağlanan duyarlı GPS uydu yörünge ve saat düzeltmeleri (http://igs.org/components/prods.html)

Ürün ve niteliği	Parametre	Doğruluk/ Duyarlık	Sunum Süreçleri
Ultra Rapid Kestirilen	Yörünge	~5 cm rms	Gerçek zamanlı
	Uydu saati	~3 ns rms ~1.5 ns σ	
Ultra Rapid Hesaplanan	Yörünge	~3 cm rms	3 - 9 saat
	Uydu saati	~150 ps rms ~50 ps σ	
Rapid Hesaplanan	Yörünge	~2.5 cm rms	17 - 41 saat
	Uydu saati	~75 ps rms ~25 ps σ	
Final Hesaplanan	Yörünge	~2.5 cm rms	12 - 18 gün
	Uydu saati	~75 ps rms ~20 ps σ	

Çift frekanslı kod (psuedorange) ve taşıyıcı faz ölçülerinin iyonosferden bağımsız gözlem denklemleri alıcı konumu, saat hataları, troposferik gecikme, taşıyıcı faz bilinmeyeni ve gözlem hatalarını içerir:

$$l_p = \rho + c(dt - dT) + T_r + \varepsilon_p$$
$$l_\Phi = \rho + c(dt - dT) + N\lambda + \varepsilon_\Phi \quad (1)$$

Burada l_p ve l_Φ Sırasıyla kod ve faz ölçülerinin iyonosferden bağımsız kombinasyonu,

dt alıcı saati zamanı ile sistem (örneğin GPS) zamanı arasındaki fark (receiver clock offset), dT uydu saati zamanı ile sistem zamanı arasındaki fark (satellite clock offset), c ışığın boşluktaki hızı, N iyonosferden bağımsız taşıyıcı fazın tamsayı bilinmeyenleri, T_r uydu ile alıcı arasındaki troposferik sinyal gecikmesi, λ dalga boyu ve sinyal yansımasını da içeren ε_p, ε_Φ gürültü bileşenleridir. Uydu (X_S, Y_S, Z_S) ve alıcı (*x*,*y*,*z*) alıcı arasındaki geometrik uzaklık,

$$\rho = \sqrt{(X_S - x)^2 + (Y_S - y)^2 + (Z_S - z)^2} \qquad (2)$$

ile tanımlıdır (Kouba ve Heroux, 2001).

PPP yöntemi ile konum belirleyebilmek için kullanıcılar farklı yazılım seçeneklerine sahiptir. Örneğin Bernese gibi bilimsel ve eğitim amaçlı GNSS değerlendirme yazılımları kullanıcılarına PPP yöntemi ile konum belirleme hizmeti sağlamaktadır. Bunun dışında doğrudan PPP tekniğini kullanan programlar da giderek yaygınlaşmaktadır.

3. GNSS DEĞERLENDİRME YAZILIMLARI

a. Ticari Amaçlı Yazılımlar

Ticari yazılımlar pratik mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle alıcı üreten firmalar tarafından, satın alınan GNSS setiyle birlikte önerilen yazılımlardır. Alıcılar uydulardan gelen sinyalleri kendine özgü formatlarda kaydettiği için, bu yazılımlar alıcı setinin bir parçası olarak görülmektedir. Kullanıcı düzeyinde bir sorunla karşılaşmamak ve firmanın sunduğu çözüm olanaklarından yararlanmak için bu ürünü satın alan kurum ve kuruluşlar tarafından tercih edilmektedir.

Alıcı üreten firmalar genellikle kısa baz çözümlerine odaklanmaktadırlar. Bunun başlıca nedeni, yukarıda ifade edildiği gibi analizlerde ortaya çıkabilecek değerlendirme sorunlarıyla olabildiğince az karşılaşmak ve kullanıcının önceden tanımlı değişkenleri kullanarak sonuçlara ulaşmasını sağlamaktır.

b. Bilimsel ve Akademik Yazılımlar

Bilimsel ve akademik yazılımlar, ülke jeodezik ağlarının kurulması, yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi, deformasyon ölçüleri, datum parametrelerinin belirlenmesi gibi bilimsel projelerde ve akademik faaliyetlerde kullanılmak üzere araştırma merkezleri veya üniversitelerde geliştirilmektedir. Bu gruba giren bazı yazılımlara (örn. Bernese, GAMIT/GLOBK), son yıllarda yapılan değişiklerle, pratik uygulamalara yönelik özellikler eklenmiş, böylece ilgili tüm GNSS kullanıcılarına hizmet verecek nitelik kazandırılmıştır (Kahveci ve Yıldız, 2009).

Bilimsel yazılımların kullanımı, ticari yazılımlara ve internet tabanlı değerlendirme servislerine oranla daha karmaşıktır. Bu nedenden dolayı eğitim, bilgi ve deneyime duyulan gereklilik daha fazladır. Değerlendirme sürecindeki parametre değişiklikleri (örneğin atmosferik modellemede izlenecek değişik yaklaşımlar), sonuçlarda anlamlı sayılabilecek farklılıklara neden olur. Her ne kadar son yıllarda bilimsel yazılımlara otomatik seçenekler eklenmiş olsa dahi ticari yazılımlar ve internet tabanlı değerlendirme servisleri bu açıdan çok daha pratiktir. Söz edilen internet tabanlı değerlendirme servislerinde çoğu kez yapılması gereken sadece veri dosyalarının yüklenmesi ve e-posta adresinin belirtilmesidir.

Kullanıcıların kampanya ölçüleri kadar, sürekli gözlem istasyonlarında toplanan GNSS verileri, duyarlı yörünge, alıcı-anten kalibrasyon bilgileri, koordinat sistemi ve datum parametrelerini içeren IGS (International GNSS Service) ürünleri de temel girdiler arasında sayılır. Değerlendirmede farklı alıcı türlerine ait verilerin birlikte işlenmesi neredeyse rutin bir uygulamadır ve bu yüzden gözlem ve girdi/çıktı verileri RINEX, SINEX gibi standart dosya formatlarına dönüştürülür. Bu koşullarda, çoğu kez uzun bazların değerlendirmeye girmesi kaçınılmazdır. Dile getirilen tüm etkenler akademik yazılımları kullanacak personelin her yazılımda olduğu gibi belirli bir bilgi birikimine sahip olması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu bilgi birikimi gerekliliği internet tabanlı değerlendirme servislerinde oldukça düşük seviyededir.

c. İnternet Tabanlı GNSS Değerlendirme Servisleri

Gerek ticari gerekse akademik yazılımlar tüm kullanıcılara açık değildir ve belli koşullar altında lisans anlaşmaları gerektirmektedir. Kod gözlemlerine dayalı mutlak ve taşıyıcı faz gözlemlerini kullanan bağıl konum belirleme teknikleri her iki gruptaki yazılımların standart çözümleridir. İkinci bölümde açıklanan PPP tekniğine ise üçüncü bir konum belirleme tekniği olarak yaklaşılabilir. Hangi yöntemle toplanırsa toplansın gözlem noktalarında (statik veya

kinematik) koordinat bilgisi üretebilmek için bir yazılıma ihtiyaç vardır. Bir alıcıya ve internet erişimine sahip olmak dışında ek bir maliyet ya da donanım gerektirmeyen çözüm seçeneğine olan gereksinim, internet tabanlı GNSS değerlendirme servislerinin oluşturulmasını sağlamıştır.

İnternet tabanlı GNSS servislerinin kullanımı göreceli olarak oldukça basittir ve ek yazılım bilgisine ihtiyaç duyulmaz. Alıcılardan elde edilen veriler RINEX gibi ortak formatlara dönüştürülerek servislerin internet adreslerine yüklenmektedir. Servise göre değişkenlik göstermekle beraber, anten markası, anten yüksekliği gibi önemli ayrıntılar da gerektiğinde ek bilgi olarak verilebilmektedir. Yükleme işleminden sonra başlatılan değerlendirmeye ilişkin sonuç raporu bir e-posta adresi aracılığıyla kısa süre içerisinde yüklemeyi yapan kullanıcıya gönderilmektedir.

Söz konusu servisler üzerinden gerçekleştirilen çözümler, konum belirleme tekniğine bağlı olarak IGS veya bazı ülkeler için Sürekli Gözlem Yapan Referans İstasyonları (CORS) ağlarına ait sabit istasyon noktalarını referans nokta olarak kabul eder. İstenilen noktanın gözlem verileri ve koordinatları değerlendirmeye belirli ölçüler oranında otomatik olarak dahil edilir. Nokta koordinatları bu referans istasyonlara bağlı hesaplanır. Buradan anlaşılacağı üzere, kampanya ölçüleri ve e-posta adresine gelen çözümler dışında kullanıcının bilgisayarında tutması gereken fazladan yazılım veya veri yoktur. Bu yönleriyle büyük bir maliyet tasarrufu sağlanmaktadır. Yazılım öğrenmek gibi bir sürece girmemek de önemli zaman avantajı oluşturmaktadır.

Tablo 2. İnternet tabanlı GNSS değerlendirme servisleri

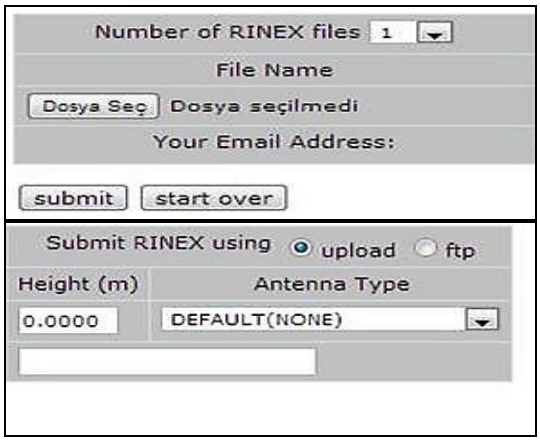
Servis	Statik	RapidStatik	PPP Statik	PPP Kin.
AUSPOS	+	-	-	-
TRİMBLE	+	-	-	-
OPUS	+	+	-	-
SCOUT	+	-	-	-
CSRS	-	-	+	+
APPS	-	-	+	+
MAGIC	-	-	+	+
GAPS	-	-	+	-

Farklı ülkeler ve kuruluşlar tarafından birçok İnternet Tabanlı GNSS Değerlendirme Servisi kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Bu çalışmanın yapıldığı sırada ücretsiz olarak hizmet veren servislerden en çok bilinenleri Tablo 2'de verilmiştir. Söz konusu servisler yaygın olarak tercih edilen statik ve PPP tekniğine göre sınıflandırılmıştır.

Yukarıda listelenen servisler özellikle bilimsel yazılım kullanıcıları açısından kısıtlı seçim yeteneğine sahip olduğu söylenebilir. Ancak, bu servislerin tamamına yakını konumlama (değerlendirme) işlemini bilimsel ve akademik yazılımlar üzerinden yapmaktadır. Gözlem noktalarında koordinat üretimine yönelik en uygun çözümler literatürde genel kabul görmüş parametreler göz önüne alınarak elde edilmektedir. Atmosferik modelleme, deformasyon analizi, duyarlı jeodezik ağ çalışmaları vb. özel amaçlı çalışmalar bu tür servislerin kapsamı dışındadır.

(1) Australian Online GPS Processing Service (AUSPOS)
Url: http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl

GeoScience Australia tarafından işletilen internet tabanlı bir GPS değerlendirme servisidir. Kullanıcılardan istenen, RINEX formatındaki gözlem dosyalarının sisteme yüklenmesidir. Veri dosyalarının yüklenmesi internet sayfası aracılığıyla olduğu gibi ftp servisleri ile de yapılabilmektedir. Veriler statik yöntemle ve çift frekanslı alıcılar tarafından 30 saniye aralıklarla (IGS standardı) toplanmış olmalıdır. Gözlem dosyalarında sadece GPS verileri dikkate alınmaktadır, eğer gözlem dosyası GLONASS veya GALILEO verisi içermekteyse bu kısımlar görmezden gelinmektedir. Yüklemenin ardından, 5 dakikadan az bir süre içinde sonuç raporu e-posta adresine gönderilmektedir.



Şekil 1. AUSPOS kullanıcı arayüzü

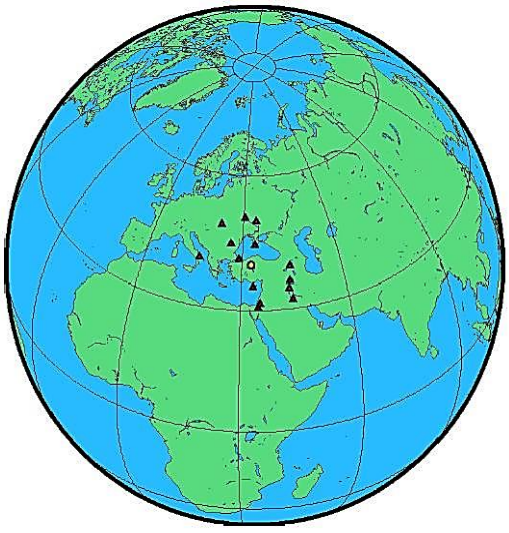
Tamamen ücretsiz olan bu servis kullanıcılara tek seferde 20 ayrı GPS gözlem dosyası yükleme olanağı sunmaktadır. Servis ayrıca, standart

RINEX dosyasından başka sıkıştırılmış formatları (GZip, Bzip, Zip ve/veya Hatanaka) da desteklemektedir. ftp adresi belirterek dosya yükleme seçeneği mümkündür. Yüklenen RINEX dosyalarına ilişkin anten tipi ve yüksekliği de girilmelidir (Şekil 1).

Servise yüklenecek verilerle ilgili dikkat edilecek önemli noktalar şunlardır:

- RINEX dosyası en az 1 saatlik gözlem verisi içermelidir (önerilen 2 saat),
- Dosya ismi boşluk içermemelidir,
- Anten kodu IGS tarafından yayınlanan listede bulunmalıdır,
- Anten yüksekliği, ölçü noktası ve anten referans noktası (ARP) arasındaki düşey uzaklık olarak ölçülmüş olmalıdır.

Değerlendirme işlemi bilimsel bir yazılım olan Bernese (5.0 sürümü) üzerinde yürütülmektedir. Koordinatların belirlenmesinde, uygun yakınlıktaki IGS'ye ait 12-15 arası sabit noktalar referans alınmakta ve analiz IGS tarafından yayınlanan duyarlı yörünge ve saat bilgileriyle sonuçlandırılmaktadır. Çözüm, ikili-farklar gözlem modeli ile hesaplanmaktadır. Sonuç raporu referans alınan IGS istasyonları, ITRF2008 datumundaki kartezyen ve jeodezik koordinatlar ile hata büyüklükleri hakkında bilgi içermektedir. Bunun yanı sıra Geocentric Datum of Australia 1994 (GDA94) datumundaki Kartezyen ve jeodezik koordinatlar sonuç raporında sunulmaktadır.



Şekil 2. AUSPOS sonuç raporu-1

(2) Online Positioning User Service (OPUS)
Url:https://www.ngs.noaa.gov/OPUS/index.jsp

Online Positioning User Service (OPUS), Amerikan Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresinin (NOAA) kurmuş olduğu bir servistir. Değerlendirme, çalışma bölgesine en yakın 3 istasyon (Amerika Birleşik Devletleri için CORS ağından, ülke dışında IGS ağından) referans seçilerek yapılmaktadır. Statik yöntemle koordinat hesabında PAGES yazılımı kullanılmaktadır (Url-1).

Arazide toplanan gözlem verileri siteye yüklendikten sonra alıcı anten bilgileri (tipi ve anten yüksekliği) sisteme girilmektedir. AUSPOS'da olduğu gibi standart RINEX dosyası dışında sıkıştırılmış formatlarda veri yüklenebilmektedir. Anten tipi seçimi, uygulamada bilinen anten marka ve modellerine ait listeden seçilmektedir. Değerlendirme sonuçlarına göre 10 cm'nin üzerindeki yükseklik hatası ortaya çıktığında kullanıcıya anten yüksekliğiyle ilgili bir problem uyarısı gönderilmektedir.

Verilerin toplanış biçimine göre OPUS'ta üç farklı değerlendirme seçeneği sunulmuştur. Ancak, bunların iki tanesi şu anda aktif görünmektedir:

Statik: Bu seçenek en az 2 saatlik gözlem verisi içeren uygulamaları kapsamaktadır. Üst sınır 48 saat olarak belirlenmiştir. Çözüm, ikili-farklar gözlem modelinden hesaplanmış ve birbirinden bağımsız üç baz vektörünü esas almaktadır.

Hızlı-Statik: Gözlem dosyası 2 saatin altında veri içeriyorsa (15 dakikanın altına düşmemek koşuluyla) sistem hızlı-statik yönteme göre değerlendirme yapmaktadır.

Kinematik: Gözlemlerin hareketli platformlarda yapıldığı GPS uygulamaları için geliştirilmiş seçenektir. Ancak kinematik veri işlem seçeneği henüz aktif değildir.

Gerekli tüm verilerin siteye yüklenmesinin ardından işlem birkaç dakika sürmekte ve sonuç raporu e-posta kullanıcı adresine gönderilmektedir. Gelen iletide; kullanıcı ismi, işlem yapılan dosya ismi, yazılım versiyonu, anten tipi ve yüksekliği, referans istasyonları ve ölçme epoğunda yermerkezli koordinat değerleri gibi bilgiler yer almaktadır. Gönderilen koordinatlar ölçü epoğunda olmakla birlikte ITRF08 datumundadır.

(3) Scripps Coordinate Update Tool (SCOUT)
Url:http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/SCOUT.cgi

Scripps Coordinate Update Tool (SCOUT), Kaliforniya Üniversitesi GPS veri işleme servisidir. Servis SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) kuruluşu altında yayın yapmakta ve geri planda GAMIT yazılımını çalıştırmaktadır.

GPS veri dosyalarının yüklenmesinde ftp protokolü kullanılmaktadır. Bunun için SCOUT'a ait özel bir ftp servisi de hizmet vermektedir. Gözlem dosyaları en az 1 saatlik ve 30 saniye ölçme aralığında olmalıdır. Sistem Hatanaka veya zip dışındaki diğer sıkıştırma formatlarını kabul etmekte ve ayrıca koordinat sisteminin realizasyonu için isteğe bağlı IGS istasyonları seçilebilmektedir. Anten tipi ve yükseklik bilgileri ikinci aşamada eksiksiz sağlandıktan sonra, değerlendirme süreci başlamaktadır. Nokta koordinatları çalışma bölgesine yakın 3 CORS istasyonu ile oluşturulan bazlar üzerinden türetilmektedir. Koordinat bilgileri (ölçü epoğunda ITRF2005), referans istasyonların isimleri ve diğer bilgiler e-posta ile kullanıcıya gönderilmektedir.

(4) Trimble CenterPoint RTX Post-Processing (Trimble RTX)
Url:
http://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx

GNSS alıcısı üretiminde en büyük pazar payına sahip kuruluşlardan biri olan Trimble firmasınca sunulan ücretsiz bir servistir. Servis ile internet erişimi olan her noktadan kullanıcılara veri değerlendirme fırsatının sunulması amaçlanmıştır.

Servis GPS, GLONASS ve QZSS uyduları yardımıyla elde edilmiş verileri analiz edebilmektedir. Trimble şirketi bu uygulamayı, kendisinin kurduğu 100'den fazla nokta içeren küresel bir referans ağ ile desteklemektedir (Şekil 3). Uyduların duyarlı yörünge ve saat bilgileri bu ağ üzerinden elde edilmektedir.

Servise RINEX 2.x, RINEX 3.x, Trimble T01, T02 ve DAT formatlarında gözlem dosyaları yüklenmektedir. Veri çift-frekanslı pseudorange ya da taşıyıcı faz gözlemleri içermelidir. Servise yüklenen gözlem dosyaları en az 60 dakika en fazla ise 24 saatlik olmalıdır. 14 Mayıs 2011 tarihinden önceki gözlem dosyalarının değerlendirmesi yapılamamaktadır. Servisin giriş kısmında dosya seçiminden sonra koordinat sistemi ve tektonik plaka seçimleri yapılmaktadır. Sonuçlar ise kısa bir süre sonra XML ve PDF olarak e-posta adresine ulaştırılmaktadır.

Şekil 3. Trimble ağının referans noktaları

Alıcı sayısının kısıtlı olması servisin bir eksikliği olarak değerlendirilebilir.

(5) The Automatic Precise Positioning Service (APPS)
Url:
http://apps.gdgps.net/apps_file_upload.php

APPS, NASA JPL (Jet Propulsion Laboratory) ve California Institute of Technology tarafından işletilen internet tabanlı GPS değerlendirme servisidir. Geri planda, aynı kurumda geliştirilen bilimsel yazılım GIPSY (v6.2) çalıştırılmaktadır.

Servise, doğrudan web sitesi ya da ftp servisleri aracılığıyla dosyalar yüklenebilmektedir. RINEX dışında GIPSY TDP dosyaları girdi verileridir. Değerlendirme sırasında;

- JPL'in The Global Differential GPS Sisteminden gelen gerçek zamanlı GPS yörünge ve zaman bilgileri,
- JPL'in günlük ve haftalık GPS yörünge ve zaman verileri,
- JPL'in GIPSY-OASIS yazılımı kullanılır.

Servis statik ve kinematik gözlem sonrası veri işlemi (process) seçeneklerini haftalık ve gerçek zamanlı yörünge ve zaman bilgileri desteğinde yakın gerçek zaman (Near Real-Time) ve yüksek doğruluklu (Most Accurate) olarak sunar. Arayüzde bulunan (anten yüksekliği, anten tipi, e-posta adresi vb.) seçenekler işaretlenip dosya servise yüklendikten hemen sonra sonuç alınmaktadır.

(6) CSRS Precise Point Positioning (CSRS-PPP)
Url: http://www.geod.nrcan.gc.ca/products-produits/ppp_e.php

Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP), NRCAN (Natural Resources Canada) kuruluşunun sağladığı bir internet tabanlı GPS değerlendirme servisidir. Üyelik sistemiyle çalışan servis tek veya çift frekanslı alıcılarla statik veya PPP tekniğine dayalı kinematik ölçüleri değerlendirilebilme yeteneğine sahiptir.

(7) Magic-GNSS
Url: http://magicgnss.gmv.com/ppp/

Magic-GNSS duyarlı konumlama belirleme tekniğini kullanan değerlendirme servisidir. Servisin en önemli avantajı GPS ve GLONASS verilerini birlikte değerlendirebilmesidir. Burada gözlemler statik veya kinematik modda toplanmış olabilir. PPP'nin yanı sıra sistem GNSS uyduları için duyarlı yörünge belirleme ve zaman senkranizasyonu (ODTS) ve SBAS (Space-Based Augmentation System) modüllerine de sahiptir.

PPP modülü IGS tarafından yayınlamış duyarlı saat ve yörünge bilgilerini kullanır. Sistem RINEX ve sıkıştırılmış bütün formatları desteklemekte, üye kullanıcılar için ücretsiz 1GB'lık disk alanı ayırmaktadır.

4. SAYISAL UYGULAMA

a. Tekrarlı Statik Değerlendirme

IGS Ankara (ANKR) istasyonuna ait 9-15 Nisan 2013 tarihleri arasındaki 7 günlük GPS verilerinin internet tabanlı servislerde değerlendirilmesi ve servislere göre konum duyarlığının (tekrarlılık) belirlenmesi amaçlanmıştır. Gözlem verileri 24 saatlik ve 30 saniye gözlem aralığındadır. Bu uygulama ile statik (bağıl) konum belirleme tekniğini kullanan AUSPOS, OPUS, Trimble CenterPoint RTX ve PPP tekniğine dayalı çözüm üreten APPS, CSRS-PPP, Magic-GNSS servislerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. GAPS ve SCOUT servislerinden bu uygulama sırasında cevap alınamadığı için çalışmaya eklenmemiştir.

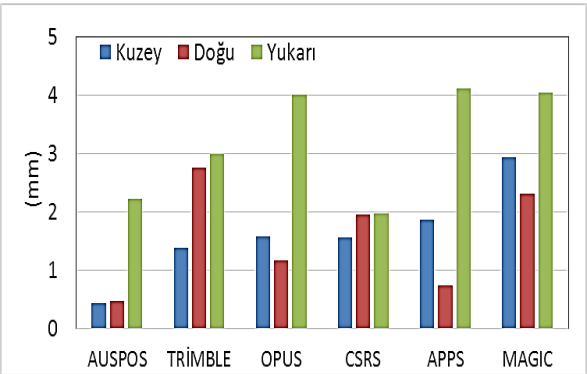
CSRS-PPP servisi dışındaki tüm analizler doğrudan ITRF2008 datumunda elde edilmiştir. Servislere göre sonuçları birbirleriyle karşılaştırılabilmek için ITRF2005 datumundaki CSRS-PPP koordinatları, HTDP (Url-3) yardımıyla ITRF2008'e dönüştürülmüştür. Tablo 3, kartezyen koordinatlar cinsinden her bir servisin 7 günlük koordinat ortalamalarını ve standart sapmalarını göstermektedir. Koordinat tekrarlılıkları 3 mm'nin, servislere göre ortalama koordinat farkları ise 15 mm'nin altındadır. Sonuçlardan anlaşılacağı üzere 24 saatlik gözlem sonuçlarının gerek statik gerekse PPP sonuçları 1-2 cm seviyesinde tutarlıdır.

Tablo 3. Servislere göre ANKR istasyonu için 7 günlük kartezyen koordinatlar ortalaması ve birim koordinat hataları (tekrarlanabilirlik)

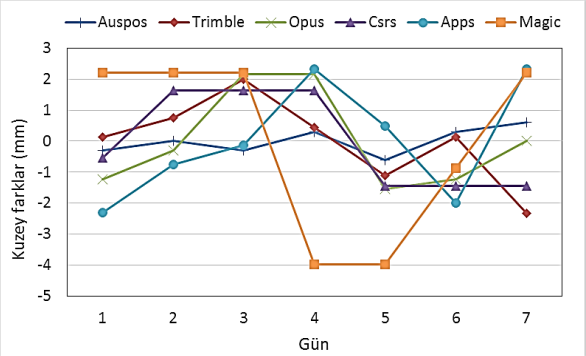
	X (m) sigma (mm)	Y (m) sigma (mm)	Z (m) sigma (mm)
Auspos	4121948.473 (+/- 1.5)	2652187.877 (+/- 0.8)	4069023.835 (+/- 1.5)
Trimble	4121948.473 (+/- 2.6)	2652187.877 (+/- 2.1)	4069023.832 (+/- 2.0)
Opus	4121948.477 (+/- 2.4)	2652187.881 (+/- 2.1)	4069023.837 (+/- 2.5)
Csrs	4121948.470 (+/- 2.1)	2652187.878 (+/- 1.7)	4069023.828 (+/- 2.0)
Magic	4121948.467 (+/- 2.2)	2652187.872 (+/- 3.3)	4069023.829 (+/- 3.0)
Apps	4121948.464 (+/- 1.8)	2652187.870 (+/- 1.3)	4069023.826 (+/- 2.8)

Şekil 4, birim koordinat hatalarının (Tablo 3'te verilen tekrarlanabilirliklerin) yerel sistemdeki karşılıklarını göstermektedir. Statik değerlendirmede AUSPOS servisi ANKR istasyonuna yaklaşık 1000 km'lik uzaklık içinde kalan 12 istasyonu değerlendirmeye dahil etmiştir. OPUS'da kullanılan referans istasyonu sayısı 3'tür. TRIMBLE'da ise kendi referans ağına ait istasyonların değerlendirmeye alındığı bilinmekle birlikte, kaçının kullanıldığı konusunda bilgi yoktur. PPP tekniğinde ise koordinatlar doğrudan duyarlı yörünge verilerine dayanır, herhangi bir referans istasyonu seçimi kullanılmaz.

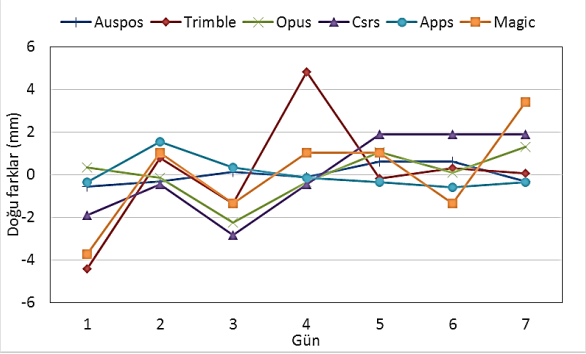
Uygulama, servislerin ne kadar tutarlı sonuçlar ürettiğini izlemeyi amaçlamıştır. Bu yüzden aynı noktaya ait ve aynı şartlarda 7 gün için gözlem dosyaları değerlendirilmiştir. Amaç servislerin tutarlılıklarını ön plana çıkarmak olduğu için standart sapma değerleri de göz önüne alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Servislerin tutarlı sonuçlar üretmesi önemsenmiş ve tercih edilebilirlik açısından belirleyici bir ölçüt olacağı düşünülmüştür. Buna göre en iyi koordinat duyarlılığı ve tutarlılığı Bernese yazılımını kullanan AUSPOS servisinden elde edildiği sonuçlardan anlaşılmaktadır. CSRS-PPP ve APPS servislerinden elde edilen koordinat duyarlılığının en az statik değerlendirme kadar başarılı olduğu kolaylıkla söylenebilir. Şekil 5, 6 ve 7 günlük koordinat tekrarlılık değişimini ortaya koymaktadır.



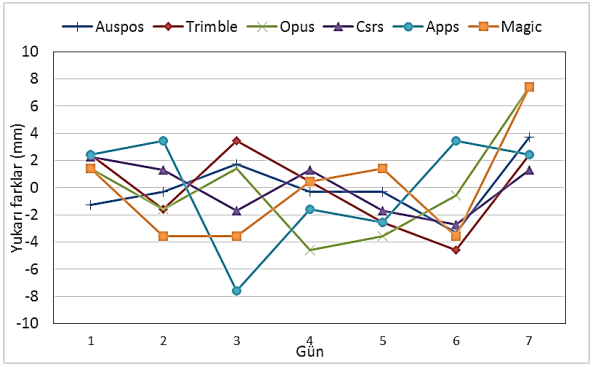
Şekil 4. ANKR istasyonunun 7 günlük koordinat çözümlerine ilişkin yerel sistemde standart sapmalar değerleri



Şekil 5. Kuzey bileşeni için 7 günlük koordinat değişimi



Şekil 6. Doğu bileşeni için 7 günlük koordinat değişimi



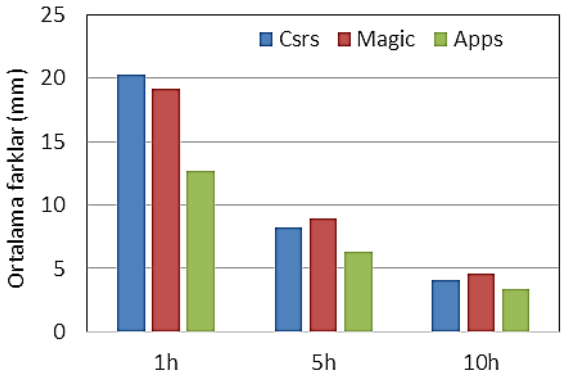
Şekil 7. Yukarı bileşeni için 7 günlük koordinat değişimi

b. Yerel uygulamalar için PPP

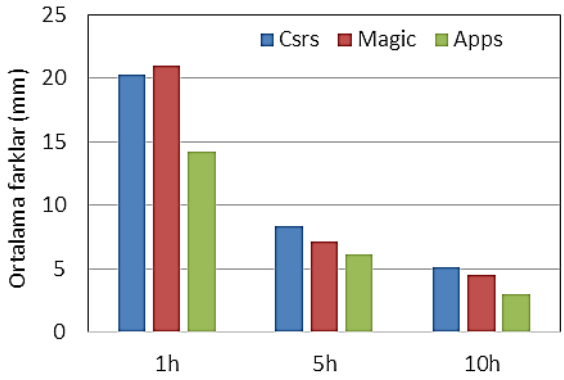
Bu uygulamada Konya çevresine dağılmış 9 noktaya ilişkin GPS gözlemleri kullanılmıştır. Farklı ölçü sürelerinde PPP tekniği ile yapılan değerlendirme ve statik teknik ile yapılan değerlendirmenin karşılaştırması ve ilgili servislerin performanslarının ölçülmesi istenmektedir. Gerçek bir uygulamaya ait bu gözlem verileri 3 noktada 1 saat, 3 noktada 5 saat ve 3 noktada 10 saat süreyle toplanmıştır. RINEX formatına dönüştürülmüş veriler uygulama 1'de kullanılan internet tabanlı PPP servislerine gönderilmiştir. Sonuçların doğruluğunu test etmek amacıyla ilgili gözlemler ayrıca AUSPOS servisinde değerlendirilerek referans koordinat olarak elde edilmiştir. Söz konusu noktaların özellikleri Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. Yerel bir ağda Ekim 2004'te farklı gözlem süreleriyle toplanmış GPS verileri

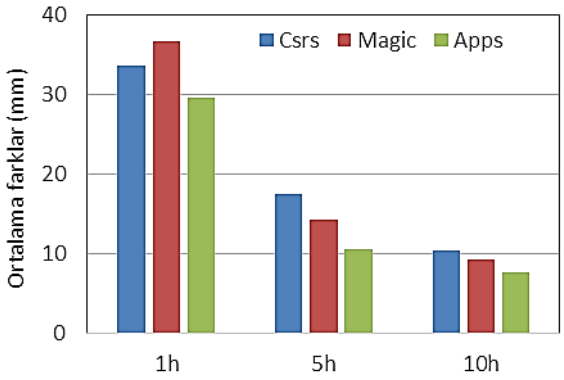
NN	An. Y. (cm)	Gün	Başl. (h)	Bitiş (h)	Süre (h)
1	11.40	24	04:06	14:11	10
2	10.15	23	04:12	14:22	10
3	11.60	24	04:00	14:06	10
4	11.60	25	04:44	09:48	5
5	11.60	25	05:58	11:13	5
6	12.05	23	03:57	09:23	5
7	13.00	24	06:00	07:00	1
8	11.95	23	04:34	05:34	1
9	11.40	25	05:17	06:18	1



Şekil 8. Gözlem sürelerine göre ortalama farklar (Kuzey bileşen)



Şekil 9. Gözlem sürelerine göre ortalama farklar (Doğu bileşen)



Şekil 10. Gözlem sürelerine göre ortalama farklar (Yukarı bileşen)

İnternet tabanlı servislerin tercihinde, PPP tekniğinin kinematik kadar statik uygulamalar için de önem arz edeceği düşünülmüştür. Bu yüzden statik ve PPP yöntemleri arasında karşılaştırmalı bir değerlendirme amaçlanmıştır. Koordinatlar PPP servisinden elde edildikten sonra yerel sisteme dönüştürülmüş ve AUSPOS referans alınarak koordinat farkları hesaplanmıştır. Bir referans servis ihtiyacı varlığı, AUSPOS servisinin değerlendirme işlemi sırasında Bernese yazılımını kullanması, en az 12 referans istasyonunu baz alması ve birinci uygulamada istikrarlı sonuçlar üretmesi nedeniyle tercih edilmiştir. Şekil 8, 9 ve 10 mutlak koordinat farklarının ortalama değerlerini sırasıyla kuzey, doğu ve yukarı bileşeni için göstermektedir. Hesaplanan farklar ölçü sürelerine ve servislere göre sınıflandırılmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde 10 saat civarı gözlem verisi içeren noktalarda 1 cm altında farklar elde edilmiştir. Buna göre 24 saat gözlem verisi içeren noktalara yakın bir doğruluk elde edildiği izlenmiştir. Servisler arasında ise büyük bir farklılaşma gözlenmemiştir ve yakın sonuçlar elde edilmiştir.

5 saatlik gözlem verisi içeren noktalarda ise yatayda 1 cm'nin altında sonuçlar elde edilirken yukarı bileşeninde farklar 1-2 cm arasındadır. Gözlem süresi azaldıkça elde edilen doğruluklar oldukça düşmektedir. 1 saat gözlem verisi içeren noktalar için yatayda servisler 2 cm'ye yakın farklar üretmiştir. Yukarı bileşeninde ise her üç servisten elde edilen değerler 3 cm civarındadır. Elde edilen doğrulukların gözlem süresiyle doğrudan ilgili olduğu görülmüştür. Genel bir değerlendirme yapmak gerekirse, her saat grubundaki sonuçlara göre APPS servisi ile yatay ve düşey bileşenler için kıyasla daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. Hepsi dikkate alındığında bu servisin başarılı olduğundan ve ciddi bir alternatif olacağından söz edilebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde PPP (Duyarlı Nokta Konumlama) tekniği giderek önem kazanmaktadır. Getirdiği birçok avantajla birlikte konumlama hesap yöntemlerine ciddi bir alternatif oluşturmaktadır. Bununla birlikte PPP çözümleme yapan internet tabanlı servislerin de kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ölçme ve değerlendirmenin sadece tek alıcı ile yapılabilir olması bu sistemleri oldukça avantajlı kılmaktadır. Üstelik temel düzey dışında GNSS uzmanlığına gereksinim duyulmadan sonuç alınabilmektedir. Veri yapısına ve ölçme yöntemine en uygun çözüm stratejisini seçmek koordinat doğruluğunu en üst düzeyde tutmak için yeterlidir. Bu seçenekler hiç şüphesiz yazılım maliyetini azaltabileceği gibi,

yeterli bilgi sahibi olmayan kullanıcılardan kaynaklanan değerlendirme hatalarının da ortadan kaldırılmasına önemli ölçüde katkı sağlayacaktır.

Özellikle profesyonel kullanıcılar açısından ele alındığında sistemlerin en büyük dezavantajı, değerlendirme süreçlerine standart birkaç seçenek dışında (anten yüksekliği, IGS istasyon seçimi vb gibi) müdahale edilememesidir. Dolayısıyla özel amaçlara (Atmosferik modelleme, deformasyon analizi, duyarlı jeodezik ağ çalışmaları vb.) uygun olmadığı değerlendirilebilir.

Servislerin kullanmış olduğu değerlendirme yaklaşımlarını (modeller), iki değerlendirme esasına göre ele almak gerekmektedir. Statik değerlendirme stratejilerinin, gözlem sürelerine ve istasyonlar arasındaki baz uzunluklarına bağlı olduğu bilinmektedir. Öte yandan, servisler uygulama bölgesine en yakın istasyonları otomatik seçme veya bunları kullanıcıya seçtirme olanağı sunduğundan, standart modelleri kullanarak beklenen kalitede çözüm üretebilmektedir. Bu durumda kullanıcı açısından en önemli zorunluluk, 2 saatin üzerinde gözlem süresine sahip veri sağlayabilmektir. İki saatin üzerindeki gözlem verileri için, sonuçlar 1-2 cm içerinde tutarlılık göstermektedir. PPP tekniğinde ise sonuçların güvenirliği doğrudan IGS yörünge ve saat bilgisinin doğruluğuna bağlıdır. Sonuç olarak servisler farklı olsa da değerlendirmede kullanılan modeller arasında anlamlı bir fark yoktur. Bunun dışında işin niteliğine (kinematik, hızlı statik, statik) göre kullanıcı değişik gözlem sürelerinde veri toplayabilme seçeneğine sahiptir.

Uygulamalardan da görüldüğü üzere, yeterli sürede veriye sahip olunması durumunda klasik yöntemi kullanan servisler ile PPP servisler yakın sonuçlar üretmektedir. Burada AUSPOS servisi daha tutarlı sonuçlar üreterek ön plana çıkmaktadır. PPP servislerin değerlendirildiği uygulamada ise sonuçların gözlem süresiyle doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür. Gözlem süresinin sırasıyla önce 5 sonra 1 saate kadar düşürülmesiyle doğruluk azalmakta ancak yine de birkaç cm civarı sonuç alınabilmektedir. Gözlem süresi doğruluk beklentisine paralel seçilmelidir.

İnternet Tabanlı GNSS Değerlendirme Servislerinin referans nokta ve yazılım ihtiyacını ortadan kaldırıyor olması ve ayrıca ücret ödemeden hızlı ve kolay bir biçimde sonuç üretmesi pek çok GPS kullanıcısının aradığı çözümlerdir. Gerek duyulan hususlar sadece yeterli duyarlıkta konum belirlenmek istenen noktalarda verinin toplanması ve bir internet bağlantısının bulunmasıdır. Zaman ve maliyet açısından ortada büyük bir kazanç vardır. Elde edilen sonuçlar harita mühendisliği ve CBS uygulamaları gibi çoğu mühendislik hizmetlerinin yürütülmesine yeterlidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan Ankara istasyonu gözlem verileri Uluslararası GNSS Servisi'nden sağlanmıştır. Veri ve değerlendirme hizmeti sunan ve bu çalışmada adı geçen kuruluşlara teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Alçay S., Yiğit C. Ö., Ceylan A. (2013), **CSRS-PPP, MagicGNSS Ve APPS Web Tabanlı Yazılımların Statik PPP Modüllerinin Karşılaştırılması,** Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5(1) 1-12.

Ebner R., Featherstone W. E. (2008), **How well can online GPS PPP post-processing services be used to establish geodetic survey control networks?,** Journal of Applied Geodesy 2, 149–157.

Ghoddousi-Fard R., Dare P. (2006), **Online GPS Processing Services: An Initial Study,** GPS Solutions, 10(1), pp. 1220.

Gakstatter E. (2013). **A Comparison of Free GPS Online Post-Processing Services**, GPS World, url: http://gpsworld.com/a-comparison-of-free-gps-online-post-processing-services/

HTDP (2014), **Geodetic Toolkit: Horizontal Time Depending Positioning**, National Oceanic and Atmospheric Administration, URL: https://www.ngs.noaa.gov/TOOLS/Htdp/Htdp.shtml

Kahveci M., Yıldız F. (2009), **GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri** (4. Baskı).

Kouba J., Héroux P., (2001), **Precise Point Positioning Using IGS Orbit and Clock Products,** GPS Solutions, Vol. 5, No. 2, pp. 12-28.

Kouba J. (2009), **A guide to using Internatıonal GNSS Servıce (IGS) products,** url: http://igscb.jpl.nasa.gov/components/usage.html

Rızos C. (2010), **Making sense of the GNSS techniques**, Chap 11 in Bossler J, Campbell JB, McMaster R, Rizos C (Eds) Manual of Geospatial Science and Technology, 2nd edition, Taylor & Francis, ISBN 978-1-4200-8733-8, 173-190.

Rizos C., Janssen V., Roberts C., Grinter T. (2012), **Precise Point Positioning: Is the Era of Differential GNSS Positioning Drawing to an End?,** FIG Working Week 2012, Rome, Italy, 6-10 May 2012.

Subaşı K., Alkan R.M. (2011), **İnternet-Tabanlı GPS Değerlendirme Sservi slerinin Doğruluk Analizi: İstanbul Örneği,** 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı , 18-22 Nisan 2011, Ankara.

Tsakiri M., (2008). **GPS Processing Using Online Services**, Journal of Surveying Engineering, 134(4), pp. 115-125.

Zumberge J.F., Heflin M.B., Jefferson D.C., Watkins M.M. and Webb F.H. (1997), **Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks,** J. Geophys. Res., 102, 5005-5017.

URL-1:
http://www.ngs.noaa.gov/OPUS/about.jsp#about

URL-2 (GAPS):
http://gaps.gge.unb.ca/indexv520a.php

URL-3 (HTDP):
https://www.ngs.noaa.gov/TOOLS/Htdp/Htdp.shtml

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; Özet, 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.

Özet bölümünde, yapılan çalışma tanıtılarak kullanılan yöntemler ve sonuçlar kısaca belirtilmeli; abstract bölümü, özetin 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. Özet, 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. Özet, 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. Özet 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.

1.25 cm
3 cm
3 cm

(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

ÖZET

(1 satır boşluk)

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

(1 satır boşluk)

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

(1 satır boşluk)

3 cm

0.5 cm

1. GİRİŞ

(1 satır boşluk)

Xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxx xx xxxx xxxxxx /1/.

(1 satır boşluk)

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

(1 nci düzey alt bölüm)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxx

(1) Xxxxxxx 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 xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx.

(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 xxxxxxx 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 xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxxx xxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxx.

(1 satır boşluk)

(b) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx

(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxxxxxx.

2 cm

(1 satır boşluk)

(I) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx xxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx

(4 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx

(1 satır boşluk)

(aa) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxxxx

(5 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx

(1 satır boşluk)

xx

3 cm
3 cm

1.25 cm

b. Xxxxxxxxxx Xxxxxx

(1 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxx xxx xxxxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxx.

(1 nci düzey alt bölüm 1 inci paragraf)

(1) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxxxxxxx.

(2 nci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxx xxxxx xxxxxx xXxxxxxxx xxxx xxxxx xxxxxxx 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 xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx x xxxxxxxxxxxxx.

(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 xxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxx xxxxxxx xxxxxx xxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx 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 xxxxxx xxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx x xxxx xxxxxx xxxxxxxx xxx xxxx.

(1 satır boşluk)

Tablo 1. Xxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxx

(1 satır boşluk)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxx xxxxx xxxx xxxxx xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx xxx xxxxx xxxxx xxxxxx.

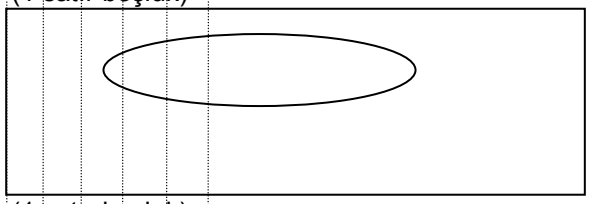
(1 satır boşluk)

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

(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 xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxx xxxx xx xxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxx xxxx.

(1 satır boşluk)

3. SONUÇ

(1 satır boşluk)

Xxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx 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.

SATIŞ BÜROSUNDAN SATIŞI YAPILAN TASNİF DIŞI KÂĞIT BASKI HARİTALARIN
2014 YILI SATIŞ FİYAT LİSTESİ

S. NU.	ÖLÇEK	CİNSİ	BOYUT (cm x cm)	BASKI TARİHİ	ÖZELLİKLERİ	FİYATI (TL)	
						KDV HARİÇ	KDV DÂHİL
1	1:250.000	TÜRKİYE KARA (JOG-G) TOPOĞRAFİK	46 x 53	MUH.	PAFTA	12,29	14,50
2	1:250.000	TÜRKİYE HAVA (JOG-A) TOPOĞRAFİK	46 x 53	MUH.	PAFTA	12,29	14,50
3	1:250.000	TÜRKİYE ALÇAK İRTİFA ÖZEL HAVA (TFC) TOPOĞRAFİK	46 x 53	MUH.	PAFTA	12,29	14,50
4	1:500.000	TÜRKİYE KARA (1404 SERİSİ) TOPOĞRAFİK	70 x 60	MUH.	PAFTA	13,14	15,50
5	1:500.000	TÜRKİYE ÖZEL HAVA HARİTASI	70 x 60	MUH.	PAFTA	13,14	15,50
6	1:1.000.000	TÜRKİYE MÜLKİ İDARE BÖLÜMLERİ (81 İL)	174 x 90	2009	3 PARÇA	8,05	9,50
7	1:1.800.000	TÜRKİYE MÜLKİ İDARE BÖLÜMLERİ (81 İL)	96.5 x 50	2009	TEK PARÇA	5,93	7,00
8	1:1.000.000	TÜRKİYE FİZİKİ	174 x 90	2009	3 PARÇA	8,05	9,50
9	1:1.800.000	TÜRKİYE FİZİKİ	96.5 x 50	2009	TEK PARÇA	5,93	7,00
10	1:3.500.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER SİYASİ	194 x 134	2010	4 PARÇA	8,47	10,00
11	1:3.500.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	194 x 134	2010	4 PARÇA	8,47	10,00
12	1:3.000.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	224 x 96	2009	4 PARÇA	19,07	22,50
13	1:1.500.000	KAFKASLAR SİYASİ	98 x 68	2009	1 PARÇA	10,59	12,50
14	1:1.500.000	KAFKASLAR FİZİKİ	98 x 68	2009	1 PARÇA	10,59	12,50
15	1:1.800.000	ORTADOĞU SİYASİ	77 x 111	2006	2 PARÇA	8,90	10,50
16	1:1.800.000	ORTADOĞU FİZİKİ	77 x 111	2006	2 PARÇA	8,90	10,50
17	1:30.000.000	DÜNYA SİYASİ	91 x 136	2011	2 PARÇA	10,59	12,50
18	1:30.000.000	DÜNYA FİZİKİ	91 x 136	2012	2 PARÇA	10,59	12,50
19	1:42.500.000	DÜNYA SİYASİ	82 x 49	2011	TEK PARÇA	5,93	7,00
20	1:42.500.000	DÜNYA FİZİKİ	82 x 49	2011	TEK PARÇA	5,93	7,00
21	1:3.000.000	OSMANLI İMPARATORLUĞU	190 x 131	1993	4 PARÇA	6,36	7,50
22	1:12.000.000	OSMANLI İMPARATORLUĞU	95 x 65	1993	TEK PARÇA	3,39	4,00
23	1:1.200.000	BALKANLAR SİYASİ	65,5 x 74	2009	TEK PARÇA	5,93	7,00
24	1:1.200.000	BALKANLAR FİZİKİ	65,5 x 74	2009	TEK PARÇA	5,93	7,00
25	1/9.000.000	AVRUPA SİYASİ	77 x 58	2013	TEK PARÇA	6,78	8,00
26	1/9.000.000	AVRUPA FİZİKİ	77 x 58	2013	TEK PARÇA	6,78	8,00
27	1/1.800.000	TÜRKİYE COĞRAFİ BÖLGELER HARİTASI (FİZİKİ)	96,5 x 50	2011	TEK PARÇA	5,08	6,00
28	1/800.000	BOSNA HERSEK-KOSOVA SİYASİ HARİTASI	98 x 68	2012	TEK PARÇA	10,17	12,00
29	1/800.000	BOSNA HERSEK-KOSOVA FİZİKİ HARİTASI	98 x 68	2012	TEK PARÇA	10,17	12,00
30	1 / 2.500.000	AFGANİSTAN SİYASİ HARİTASI	98 x 68	2012	TEK PARÇA	10,17	12,00
31	1 / 2.500.000	AFGANİSTAN FİZİKİ HARİTASI	98 x 68	2012	TEK PARÇA	10,17	12,00
32	1/1.000.000	LÜBNAN VE SURİYE SİYASİ HARİTASI	70 x 50	2013	TEK PARÇA	6,36	7,50
33	1/1.000.000	LÜBNAN VE SURİYE FİZİKİ HARİTASI	70 x 50	2013	TEK PARÇA	6,36	7,50

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

SATIŞ BÜROSUNDAN SATIŞI YAPILAN TASNİF DIŞI PLASTİK KABARTMA HARİTALARIN

2014 YILI SATIŞ FİYAT LİSTESİ

S. NU.	ÖLÇEK	CİNSİ	BOYUT (cm x cm)	BASKI TARİHİ	ÖZELLİKLERİ	FİYATI (TL)	
						KDV HARİÇ	KDV DÂHİL
34	1:250.000	TÜRKİYE KARA (JOG SERİSİ) TOPOĞRAFİK	55 x 47	MUH.	PAFTA	46,19	54,50
35	1:1.000.000	TÜRKİYE FİZİKİ	172 x 90	2009	3 PARÇA	143,22	169,00
36	1:1.850.000	TÜRKİYE FİZİKİ	96 x 50	2007	TEK PARÇA	30,93	36,50
37	1:3.500.000	TÜRKİYE FİZİKİ	26 x 49	2004	TEK PARÇA	8,05	9,50
38	1:1.000.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	354 x 218	2007	16 PARÇA	742,80	876,50
39	1:3.000.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	224 x 96	2007	4 PARÇA	186,02	219,50
40	1:4.250.000	TÜRKİYE VE ÇEVRE ÜLKELER FİZİKİ	164 x 114	2007	4 PARÇA	186,02	219,50
41	1:1.800.000	ORTADOĞU FİZİKİ	115 x 81	2007	2 PARÇA	93,22	110,00
42	1:24.000.000	DÜNYA FİZİKİ	83 x 164	2010	3 PARÇA	138,98	164,00
43	1:42.500.000	DÜNYA FİZİKİ	96 x 51	2012	TEK PARÇA	30,93	36,50
44	1:2.000.000	KAFKASLAR FİZİKİ	77 x 54	2010	TEK PARÇA	21,19	25,00
45	1:2.700.000	BALKANLAR FİZİKİ	57 x 63	2010	TEK PARÇA	21,19	25,00

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