

UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİNDE SINIFLANDIRMA DOĞRULUĞUNUN BELİRLENMESİ YÖNTEMLERİ

Yrd. Doç. Dr. Hakan YENER¹
Doç. Dr. Ayhan KOÇ¹
Arş. Gör. H.Öğuz ÇOBAN¹

Kısa Özet

1970'li yıllardan günümüze, geliştirilmiş çok sayıda algılayıcı verisi, geniş alanlara yönelik bilgi toplama ve çeşitli konusal haritaların üretilmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Uzaktan algılanmış görüntülerden elde edilen veri ve haritaların kullanıcıları, doğal olarak kullanacakları bilginin doğruluğunu sorgular. Ancak, doğruluk ile ilgili soruları, ikna edici bir tarzda yanıtlamak oldukça güçtür. Bu makalede, uzaktan algılama verilerinden elde edilmiş bir harita veya sınıflandırılmış bir görüntünün doğruluğunun farklı doğruluk değerlendirme yöntemlerine göre nasıl belirlendiği, bir örnek üzerinde uygulamalı olarak anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan Algılama, Doğruluk Belirleme, Hata Matrisi, Üretici Doğruluğu, Kullanıcı Doğruluğu, İhmal Hatası, Görev Hatası

ASSESSMENT METHODS FOR CLASSIFICATION ACCURACY IN REMOTE SENSING DATA

Abstract

From the early 1970s up to now advanced many sensor data have been commonly used with a view to collect information and produce various thematic maps in large areas. Prospective users of maps and data derived from remotely sensed images quite naturally ask about the accuracy of the information they will use. However, questions concerning the accuracy are surprisingly difficult to reply in a convincing manner. In this paper, how accuracy assessment of a map or a classified image derived from remote sensing data according to different accuracy assessment methods was explained with a sample application.

Keywords: Remote Sensing, Accuracy Assessment, Error Matrices, Producer's Accuracy User's Accuracy, Omission Error, Commission Error

¹ İ.Ü. Orman Fakültesi, Ölçme Bilgisi ve Kadastro Anabilim Dalı

1. GİRİŞ

Arazi kullanımının ve arazi örtüsünün belirlenmesi üzerine çalışmalar 1800'ü yılların başlarına gitmesine karşın, geniş ölçekte (bölgesel-ülke düzeyinde) sistematik haritalama 1920'lere, fotogrametri ve uzaktan algılama 1960'lara kadar kullanılmamıştır. 1972 yılından beri uzaktan algılama araçlarının çeşitliliğindeki ve analizler için uygun veri miktarındaki büyük artışlar, daha önceki yıllarda tahmin edilen arazi kullanım haritalamasının doğası ve kapsamını değiştirmiştir. Küresel ölçekte veri sağlayan kaba geometrik çözünürlüklü uydulardan (ör; meteoroloji uyduları) veya diğer uydu algılayıcılarından elde edilen veriler ve geniş çeşitlilikteki sınıflandırma algoritmaları daha önceleri tahmin edilebilenin ötesinde geniş olanaklar sağlamaktadır. Bu durum manuel yorumlamayı artık tek seçenek olmaktan çıkarmıştır (ASPRS 1997).

1972 yılında ilk yer gözlem uydusu olan Landsat-1'in faaliyete geçmesiyle birlikte, elde edilen görüntülerin bilgisayar ortamında çeşitli sınıflandırma algoritmaları kullanılarak değerlendirilmesi sonucu, arazi kullanım tipleri, arazi örtü tipleri gibi konusal haritalar yaygın bir şekilde üretilmeye başlanmıştır. İzleyen yıllardan günümüze, çok sayıda uydu faaliyete geçmiş ve farklı görüntüleme seçenekleri ile doğal kaynakların haritalanması, arazi kullanım tiplerinin, arazi örtü tiplerinin, mineral kaynaklarının belirlenmesi, tarımda rekolte tahmini, jeolojide fay hatlarının, ormancılıkta orman alanlarının belirlenmesi ve konusal orman haritalarının üretilmesi, arazi kullanımındaki değişimlerin haritalanması gibi farklı amaçlar için farklı kullanıcı yelpazelerinde çözüm üretmektedir. Uzaktan algılanmış verilerin sınıflandırılmalarına dayalı konusal haritaların üretilmeye başlanmasıyla birlikte, elde edilen haritaların doğrulukları sorgulanmaya başlanmış ve 1970'li yıllardan günümüze sınıflandırılmış görüntülerin doğruluklarının belirlenmesine yönelik çok sayıda araştırma yürütülmüştür.

Uzaktan algılama verilerinden gerçekleştirilen ilk haritalama çalışmalarında doğruluk belirlemeye fazlaca itibar edilmemiş (CONGALTON/GREEN 1993; JENSEN 1996), fakat tarihi süreç içerisinde doğruluk belirleme çalışmaları dikkate değer bir şekilde gelişerek, doğruluk belirleme analizlerine verilen önem ve ayrıntılardaki artış ile kendini göstermiştir (FOODY 2002).

CONGALTON (1994) doğruluk belirlemede dört temel tarihi süreç yaşandığını belirtmektedir. Birinci süreçte doğruluk belirlemesi elde edilen haritanın görsel değerlendirilmesi temeline dayalıdır, subjektiftir ve bu yaklaşım uygun değildir.

İkinci süreç, daha objektif bir şekilde nicel doğruluk belirleme çabalarıyla karakterize edilmiş ve bu süreçte doğruluk belirlemesi yersel veriler veya diğer referans veri setlerinin kapsamları ile, elde edilen konusal haritalardaki sınıfların alansal kapsamlarının (km² veya %) karşılaştırılmasına dayalı olmuştur. Bu yaklaşımın konumu belli olmayan doğası, sınıfları doğru oranlarla fakat yanlış yerlerde kolaylıkla görüntüleyebilmesi, haritalamada temel sınırlamasıdır ve büyük ölçüde bazı kullanıcılar için haritanın değerini düşürmesidir. Bu nedenle doğruluk belirlemede bu yaklaşımın temel problemi aldatıcı olması ve haritanın nicel doğruluğunun onun gerçek kalitesini gizleyebilmesidir.

Doğruluk belirleme çalışmalarıyla ilgili yaşanan üçüncü tarihi süreç, konusal harita ve yersel verideki sınıf etiketlerinin karşılaştırılmasına dayalı olarak doğruluk ölçülerinin üretilmesini kapsar. Bu konumu belli yaklaşım, bazen toplam sınıflandırma doğruluğu olarak da isimlendirilen, doğru olarak atananların yüzdesi (yüzde doğruluk) gibi ölçümleri içerir.

Nihayet doğruluk belirleme çalışmaları ile ilgili yaşanan dördüncü ve son sürecin temelini, doğruluğu değerlendirilecek sınıflandırılmış bir görüntü veya konusal harita ile, aynı alana ait doğru olduğu kabul edilen referans verilerinden (yersel gözlemlerden elde edilen veriler, doğru olduğu kabul edilen aynı alana ait bir harita yada daha yüksek çözünürlüklü bir uydu görüntüsü veya hava fotoğrafları) yararlanılarak derlenmiş bir karışım veya hata matrisinin bütün bilgi içeriğinin kullanılmasıyla, üçüncü süreçte belirlenen toplam sınıflandırma doğruluğu yada yüzde doğruluk yanında, üretici doğruluğu, tüketici doğruluğu, ihmal hatası, görev hatası ve kapa katsayısı gibi daha nicel doğruluk ölçülerinin belirlenmesi oluşturur.

2. ÖN PLANA ÇIKAN DOĞRULUK ÖLÇMELERİ

Doğruluk, bir çok pratik anlama sahiptir. Örneğin, doğruluk uzaktan algılanmış verilerden elde edilen raporlar ve haritaların itibarını, arazi yönetimi için böyle verilerin işlevsel olarak kullanılabilirliğini ve onların bilimsel araştırma için bir temel olarak geçerliliğini etkiler. Alternatif sınıflandırma stratejilerinin doğruluklarının analizi, uzaktan algılama verilerinin günlük kullanımı için önemlidir (CAMPBELL 1996). Uzaktan algılanmış verilerden konusal haritalamada doğruluk terimi, tipik olarak bir harita veya sınıflandırmanın doğruluk derecesini ifade etmek için kullanılır. Sınıflandırma ile elde edilen bir konusal harita, bölgenin arazi örtüsünün makul bir temsilini sağlıyorsa doğruluk dikkate alınabilir. Bu nedenle, sınıflandırma doğruluğu, tipik olarak doğruya veya gerçekliğe uygunluk ile, elde edilen görüntü sınıflandırmasının uyumunun ortalama derecesi olarak alınır (CAMPBELL 1996; JANSSEN/VAN DER WEL 1994; SMITS ve ark. 1999).

CAMPBELL (1996) "doğruluk" ve "duyarlılık" terimi arasındaki farkın bilinmesinin önemini vurgulamaktadır. *Doğruluk*, bilinmeyen bir özelliğin sınıflandırılmış görüntüsü ile, doğru olduğu varsayılan bir standart arasındaki uyumun ölçer. Görüntü sınıflaması standarda yakın karşılık veriyorsa doğru olduğu söylenir. *Duyarlılık* ise "ayrıntıyı" tarif eder. Bu iki terim arasındaki farkın bilinmesi önemlidir. Çünkü bir kimse ayrıntıyı azaltarak doğruluğu arttırabilmektedir. Örneğin bir analizci, bir orman arazisini ibrelili orman, yapraklı orman gibi genel sınıflar yerine karaçam, sarıçam, fıstık çamı, kayın, kestane, gürgen gibi ağaç türlerine veya meşcere tiplerine dayalı olarak ayrıntıları artırarak sınıflandırabilir. Bu durumda hata olasılığı artar. Ayrıntılı sınıflara atamanın genel sınıflara atamadan doğru olmasının daha güç olacağı açıktır. Doğruluk değerlendirmesi nadir olarak ayrıntıyı dikkate alır. Bu yüzden ayrıntının amacımıza uygun olup olmadığını her zaman sorgulamalıyız. Su ve orman ayrımındaki % 95 doğruluğun, eğer ibrelili orman ve yapraklı orman dağılımını bilmeye ihtiyaç duyuyorsak faydalı olması olası değildir.

Bir sınıflandırma uygulamasının tamamlanabilmesi için, elde edilen sonuçların (konusal harita) doğruluğunun belirlenmesi gereklidir (RICHARDS/JIA 1999). Ancak, bir haritanın kullanışlı olup olmaması sadece onun doğruluğu ile ilişkili değil, bunun yanında kullanıcının harita üzerinde gösterilen belirli noktalar hakkında söz söyleyebilecek ayrıntıya sahip olmasına da bağlıdır. Sadece genel sınıfları gösteren bir harita (şayet doğruysa), kullanıcının haritadaki herhangi bir nokta üzerinde sadece belirsiz ifadeler verebilmesine olanak tanır. Ayrıntılı sınıfları kullanan bir harita, kullanıcıya daha ayrıntılı ifade edilebilir olanağı tanır.

Birçok doğruluk belirleme yöntemi uzaktan algılama literatüründe tartışılmıştır. Bir sınıflandırmanın doğruluk derecesini belirlemede en yaygın şekilde kullanılan ve ön plana çıkarılan yöntem, bir karışım veya hata matrisi kurularak elde edilir (ARONOFF 1982; CARD 1982; STORY/CONGALTON 1986; MATHER 1993; CAMPBELL 1996; FOODY 2002).

Karışım matrisi şu anki doğruluk belirleme literatürünün merkezindedir. Sınıflandırma doğruluğunun birçok ölçüsü bir karışım matrisinden çıkarılabilir. Bunların en popülerlerinden biri doğru atanma durumlarının yüzdesidir (yüzde doğruluk). Bir karışım yada hata matrisi, sınıflandırmanın toplam doğruluğu için kolaylıkla yorumlanabilen bir rehberdir. Şayet dikkatleriniz tek tek sınıfların doğruluğu üzerine odaklanırsa doğru olarak atananların yüzdesi (yüzde doğruluk), o sınıfın toplam sayısı ile sınıfa doğru bir şekilde atananların sayısı ilişkilendirilerek karışım matrisinden elde edilebilir. Bu durum, hesaplamaları, matrisin satır ve sütun toplamlarına dayalı olan kullanıcı ve üretici doğruluğu olmak üzere farklı iki bakış açısından başarılabilir (CAMPBELL 1996; STORY/CONGALTON 1986).

Aydınlatıcı (bilgi verici) olmasına karşın, doğru bir şekilde sınıflandırılanların yüzdesi gibi ölçüler sık sık eleştirilmektedir. Bazı durumlarda sadece şans ile doğru sınıflara atanabilmesi bazı kullanıcılar için temel problemidir. Şans uyumunun etkilerini uygun hale getirmek için, Cohen'in Kapa katsayısı sık sık kullanılmakta ve bazı yorumcular bazı durumlarda sınıflandırma doğruluğunun standart bir ölçüsü olarak benimsenebileceğini kabul etmektedirler. Kapa katsayısı sınıflandırma doğruluğunun bir indeksi olarak çok cazip özelliklere sahiptir. Özellikle, şans uyumunu biraz telafi eder ve iki katsayı arasındaki farkın önemini istatistiksel olarak test edebilmek için varyans hesaplanabilir. Bu, sık sık farklı sınıflandırmalar ve böyle matrislerin karşılaştırılmasına olan talep nedeniyle önemlidir. Bu karşılaştırmalara ilave destek için, bazı yazarlar bir karışım matrisinin her bir satır ve sütun toplamlarının birlikte normalizasyonunu daha uygun görmüşlerdir (FOODY 2002).

Doğruluk belirleme yıllardır uzaktan algılamada dikkate değer bir tartışma ve araştırma konusu olmuştur. Kapa katsayısı gibi ön plana çıkan standart yöntemler her zaman uygun değildir. Üstelik şans uyumunu telafi etmede veya diğer doğruluk ölçüleriyle paylaşılan özellikler nedeniyle değerlendirilecek doğrulukta farklılıkların önemine izin vermede kapa katsayısı tek değildir. Bir konu olarak doğruluk belirleme, çoğunlukla belirlenen hedef doğruluk eşikleri ile doğruluk belirleme yöntemi ve raporlama sitilinin her ikisinin standardizasyonu için talep edilen bir kapsamda uygulanmıştır. Bu hedef doğruluklar tipik olarak, belirlenmiş gereksinimler, toplam doğruluğun minimum seviyesi, doğru bir şekilde atanma durumlarının yüzdesi (yüzde doğruluk) gibi bazı indeksler ile sayısal olarak ifade edilme ve sınıflandırılan her bir sınıf için karşılaştırılabilir doğruluk talebi şeklinde olur. Bu nedenle örneğin THOMLINSON ve ark. (1999)'da sınıflar için % 70'den daha az olamayan doğruluk ile, % 85 lik toplam doğruluk hedefi belirlenmiştir (FOODY 2002).

Doğruluk belirlemede standart bir yöntem seti olmamasına karşın, doğruluk belirlemenin ve raporlamanın genel formatı hakkında yaygın olarak benimsenen bazı teknikler üzerinde orta derecede bir uzlaşma sağlanmıştır (CONGALTON 1994).

3. HARİTA DOĞRULUĞUNUN BELİRLENMESİ YÖNTEMLERİ

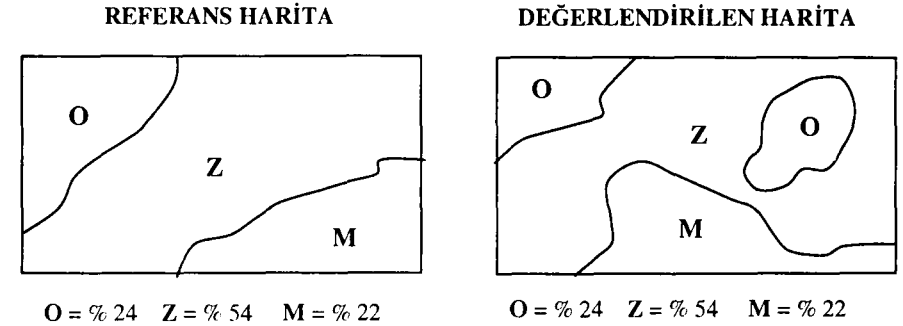
Doğruluk belirlemesi, biri uzaktan algılama verilerinin sınıflandırılması sonucu elde edilmiş sınıflandırılmış görüntü veya konusal harita (değerlendirilecek harita) ve diğeri ise doğru olduğu kabul edilen referans verisi olmak üzere iki verinin karşılaştırılması işlemi olarak tanımlanabilir. Referans verisi olarak bazen yersel ölçmeler sonucu (GPS ölçmeleri vb.) elde edilen veri, bazen aynı alana ait mevcut bir harita, hava fotoğrafları, hava fotoğraflarından üretilmiş ortofoto haritalar veya geometrik çözünürlükleri yüksek algılayıcı verileri ve bunların değerlendirilmesi sonucu üretilmiş konusal haritalar kullanılabilir.

Herhangi bir haritanın doğruluğunun belirlenmesinde kullanılacak olan ve doğru olduğu varsayılan referans verisinin uygun ve güvenilir olması, harita doğruluğunun gerçeğe daha yakın

belirlenmesinde kilit noktadır. Referans verisi, doğruluğu değerlendirilecek harita ile zaman, mevsim, geometrik doğruluk (konumsal) ve konusal ayrıntı (sınıflar) açısından uygun olmalıdır. Aksi takdirde görüntüler arasındaki farklılıkların nedeni sadece sınıflandırmadaki yanlışlıklar olmayacak ve referans verilerine dayalı olarak belirlenen sınıflandırma doğruluğu gerçeği yansıtmayacaktır.

3.1 Alansal Doğruluk (Konumu Belli Olmayan Doğruluk)

Sınıflandırılmış bir görüntü veya haritanın doğruluğunun belirlenmesinde kullanılan en basit değerlendirme yöntemi, değerlendirilen görüntü ile referans verisinde yer alan sınıfları alanlarına veya alansal dağılım oranlarına (%) göre karşılaştırmaktır. Şekil 1'de böyle bir karşılaştırma sonucu değerlendirilen görüntü ve referans verisi üzerinde yer alan sınıfların alansal dağılım oranları verilmiştir. Burada iki harita sadece sınıfların alansal dağılım oranlarına dayalı karşılaştırılmıştır. Toplam alanlar yakın olsa bile sınıfların sınırlarında (konularında) büyük oranda farklılıklar görülebilir, bu yaklaşım burada görüldüğü gibi hatalı sonuçlar verebilir.



Şekil 1: Alansal doğruluk (konumu belli olmayan doğruluk) (CAMPBELL 1996'dan yararlanılarak düzenlenmiştir).

Bu değerler her bir kategorideki toplam alanlara göre iki harita arasında kabul edilen dereceye kadar rapor edilir. Fakat doğruluk ölçmenin bu çeşidi, sınıflandırmanın doğru olmamasına neden olan sınıflandırma hatalarını telafi etmeyi dikkate almaz. Örneğin, görüntünün bir bölümündeki ormanlık alanın olduğundan az tahmini, görüntünün bir başka bölümündeki ormanlık alanın olduğundan fazla tahmini ile telafi edilebilir; sınıflandırmada ciddi hatalar yapılmakta fakat her bir kategorideki toplam alanların basit olarak rapor edilmesinde bu durum ortaya çıkmamaktadır (CAMPBELL 1996).

Doğruluk belirlemenin bu şekli iki harita arasında belirli bir bölgeyi dikkate almadığı ve iki haritanın tamamı üzerinde belirleme yapması nedeniyle bazen konumu belli olmayan doğruluk olarak da isimlendirilir. Şekil 1 bu durumu göstermektedir. Şekildeki iki desen açık şekilde farklıdır, fakat her bir sınıfın bütün alana göre yüzdeleri bu farklılığı açığa çıkarmaz.

örneği kullanarak, bir görev hatası, yer üzerindeki bir ziraat alanının harita üzerinde orman sınıfına atanması olabilir. Bu örnekte analizcinin hatası ormanlık bir bölgeyi yanlış bir sınıfa ataması ile fiili bir hata işlemektir. Bir sınıf için bu görev hatası, bir başka sınıf için bir ihmal hatası olarak tablolanaacaktır. Ayırt etmek esastır, aksi taktirde yorumlama sonucunda bütün piksellerin ormana atanmasıyla, ormana göre doğruluk % 100 olarak başarılabılır. Böyle hareketlerle ortaya çıkan görev hatalarının tablolanması hataların telafi edilerek dengelenmeleri nedeniyle anlamsız olur. İki çeşit hata arasındaki ilişkilerin incelenmesiyle harita kullanıcısı, harita üzerinde çeşitli güvenilirliklerde sınıfları idrak eder ve analizci harita oluşturma işleminin performansını öğrenir. Hata matrisi kullanıcı perspektifinden incelendiğinde kullanıcı doğruluğunu, analizcinin bakış açısından incelendiğinde ise, üretici doğruluğunu ortaya koyar. İkisi arasındaki fark doğruluğun belirlenmesinin temelinde yatar. Üretici doğruluğu için temel, referans harita üzerindeki her bir sınıfın alanıdır (CAMPELL 1996).

4.2 Yüzde Doğruluk (Doğruluk Yüzdesi)

Doğruluk ölçmesinin en yaygın kullanımlarından biri yüzde doğruluktur. Bir görüntüde veya matrisi oluşturmak için kullanılan bir örnekte, doğru bir şekilde sınıflandırılan piksellerin bütüne oranının bir raporudur. Yüzde doğruluk elbette kolaylıkla bulunabilir; doğru sayısı çapraz girdilerin toplamıdır. Bu değerin incelenen toplam piksel sayısına bölünmesiyle doğru bir şekilde sınıflandırılmış olan oran elde edilir (CAMPELL 1996). Bu değer bilinmeyen "doğru" değer olarak taktir edilir ve bu değerin doğru değerlere yakınlığı kısmen örnekleme stratejisine bağlıdır. Yüzde doğruluk bir güven aralığı ile rapor edilebilir (HORD/ BROONER 1976).

Çoğunlukla yüzde doğruluk bir hata matrisi olmaksızın basit bir doğruluk ölçmesi olarak tek başına kullanılır. Yüzde doğruluk, tek başına bir sınıflandırmanın göreceli olarak faydası hakkında fikir verebilir, ancak bütün hata matrisini inceleme fırsatının olmaması durumunda sınıflandırma doğruluğunu kanıtlayacak kadar ikna edici değildir. Tam bir değerlendirme, sınıflandırmada kullanılan kategorileri içermelidir. Örneğin doğru bir şekilde kategorize etmenin kolay olduğu bir sınıf, çoğunluğunu açık suyun oluşturduğu bir görüntünün sınıflandırılmasıyla yüksek yüzde doğruluk değerlerine ulaşmak kolay olabilir. Ayrıca, belirli sınıfların doğruluklarındaki değişimlere sınıfların hassasiyetlerinde olduğu gibi dikkat edilmelidir. Sadece genel sınıfların kullanıldığı bir sınıflandırmada yüksek doğruluk elde edilebilir, ancak daha fazla ayrıntı isteyen bir kimseye faydalı olamaz (CAMPELL 1996).

HAY (1979)'da bir sınıflandırmanın doğruluğunu anlamak için 5 soruyu dikkate alınması gerekli olduğunu ifade etmiştir;

- Sınıflandırmanın karar doğruluğu oranı nedir?
- Bir kategori için atamaların oranı ne doğruluktur?
- Bir kategorinin doğru bir şekilde sınıflandırılma oranı nedir?
- Bir kategori olduğundan az mı yoksa çok mu tahmin edilmiştir?
- Hatalar rasgele dağılımlı mıdır?

Yüzde doğruluk bu soruların yalnız ilkinin cevaplayabilir; diğerleri sadece hata matrisinin tamamının incelenmesi ile cevaplandırılabilir.

4.3 KHAT (Kapa) Katsayısı

Hata matrisinin incelenmesinden sonra mevcut hataların hepsinin yapısı ortaya çıkar. Çoğunlukla sınıflandırmanın daha objektif belirlenmesine gereksinim vardır. Örneğin, uyuşma fikrinin tamamlama ve tanımlanması güç olabildiği gibi, cevaplaması güç olan, iki harita arasında uyuşma olup olmadığını sorgulayabiliriz.

KHAT (\hat{K}) istatistiği, bir tesadüf sınıflandırıcısı ve referans veri arasındaki şans uyumu ile bir otomatik sınıflandırıcı ve referans verisi arasındaki aktüel uyum arasındaki farkın bir ölçüsüdür (LILLESAND/KIEFER 1994). Bir başka deyişle, tesadüf uyumu ile aktüel (gerçek) uyum arasındaki farkı yansıtır.

Kavramsal olarak \hat{K} şöyle tanımlanabilir;

$$\hat{k} = \frac{\text{Gözlemlenen Doğruluk} - \text{Şans Uyumu}}{1 - \text{Şans Uyumu}} \quad (1)$$

Bu istatistik bir hata matrisinin doğru değerler yüzdesinin sınırlarının bir göstergesi olarak hizmet eder. "Doğru" uyumu (gözlemlenen) 1'e ve şans uyumu 0'a yaklaşırken, \hat{K} 1'e yaklaşır. Bu ideal durumdur. Gerçekte \hat{K} genellikle 0 ilâ 1 arasındadır. Örneğin \hat{K} nın 0.67 lik değeri gözlemlenen sınıflandırmanın % 67'den daha iyi bir şansla sonuçlanacağını bir göstergesi olarak düşünülebilir. \hat{K} nın 0 değeri bir sınıflandırmanın, piksellerin tesadüfi atanmasından daha iyi olmadığı anlamına gelir. Şans uyumunun yeterince büyük olduğu durumlarda, çok zayıf bir sınıflandırma performansının bir göstergesi olarak \hat{K} negatif değerler alabilir. Belirli bir matrisine dayalı negatif değerler aralığının mümkün olması nedeniyle, negatif değerlerin büyüklüğü göreceli sınıflandırma performansının bir göstergesi olarak yorumlanamaz (LILLESAND/KIEFER 1994). \hat{K} değeri şu şekilde hesaplanır;

$$\hat{k} = \frac{N \times \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})} \quad (2)$$

Burada;

r = hata matrisindeki satır sayısı

x_{ii} = i satır ve i sütündeki gözlemlerin sayısı (matrisin ana çapraz bileşenlerindeki değerler)

x_{i+} = i satırındaki gözlemlerin toplamı (matrisin sağında marjinal toplamı olarak gösterilir)

x_{+i} = i sütündeki gözlemlerin toplamı (matrisin altında marjinal toplamı olarak gösterilir)

N = Matrisin içerdiği gözlemlerin toplam sayısı

5. ÖRNEK BİR UYGULAMA İÇİN HATA MATRİSİNİN DERLENMESİ VE DOĞRULUK ÖLÇÜLERİNİN HESAPLANMASI

Sınıflandırılmış bir görüntünün veya bir haritanın doğruluğunu belirlemek için daha önce de belirtildiği gibi doğru olduğu kabul edilen bir referans veri ile karşılaştırılması gerekir. Referans verisi olarak, bazen yersel ölçmeler (GPS ölçmeleri vb.), bazen doğru olduğu kabul edilen başka bir harita, aynı alana ait daha yüksek çözünürlüklü algılayıcı verisi veya bunların sınıflandırılması ile üretilmiş bir konusal harita veya hava fotoğrafları, ortofoto haritalar yada bunlardan üretilmiş konusal haritalar kullanılabilir. Doğruluk belirleme amacıyla sınıflandırılan bütün pikselleri kontrol etmek oldukça zordur, pratik değildir ve buna uygun referans verisi bulmak çoğu zaman mümkün değildir. Bu nedenle, genellikle referans pikseller seti kullanılır. Referans pikseller, gerçekte ne olduğu bilinen, sınıflandırılmış görüntü üzerindeki noktalardır. Normal olarak referans pikseller (referans noktaları), yersel ölçmeler, mevcut haritalar veya hava fotoğrafları gibi arazi örtüsü referans bilgisine uygun kaynaklara dayalı olarak, rasgele (tesadüfî) seçilirler. Bu noktalar, sınıflandırmada kullanılan eğitim alanlarından bağımsız olarak seçilirse, daha uygun ve gerçekçi bir doğruluk belirlemesi yapılabilir.

Sınıflandırma doğruluğunun belirlenmesinde önemli bir faktör de kullanılan referans piksellerinin (noktalarının) sayısıdır. Doğruluk belirleme işleminin, hedeflenen doğruluk ve güven düzeyinde başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için gerekli minimum örnek noktası sayısı, büyüklüğü ve örnekleme yönteminin ne olması gerektiğine yönelik çok sayıda araştırma yürütülmüştür (Ör; ARONOF 1982; HAY 1979; CONGALTON 1991; CARD 1982 vb.). CONGALTON (1991)'de %95 güven düzeyinde, bir sınıfın ortalama doğruluğunu tahmin edebilmek için 250'den fazla referans noktasına gereksinim duyulduğu ifade edilmektedir. HAY (1979)'da sınıflar için minimum 50 noktanın kullanılması önerilmektedir.

Bu çalışmada 3 ve 4 numaralı başlıklar içerisinde anlatılan doğruluk belirleme yöntemlerine örnek olması açısından, aynı alana (971.25 ha. büyüklüğünde) ve aynı yıla (Temmuz 2000) ait IRS_LISS III ile IKONOS multispektral verilerinden daha önce başka bir çalışma için gerçekleştirilmiş olan sınıflandırılmış görüntüler kullanılmıştır. Burada geometrik çözünürlüğü daha yüksek olduğu için IKONOS uydu görüntüsünün sınıflandırılması ile elde edilen harita referans harita olarak ve IRS uydu görüntüsünden elde edilen sınıflandırılmış görüntü doğruluğu değerlendirilen harita olarak kabul edilmiştir. Görüntüler, deniz (D), yerleşim (Y), Ziraat (Z), ibrelî orman (İO) ve yapraklı orman (YO) olmak üzere 5 ana kategoride sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılmış görüntülerde yer alan sınıfların alanları sorgulanarak, doğruluk belirlemenin en basit şekli olan alansal (konumu belli olmayan) doğruluk sonuçlarını gösteren Tablo 2 elde edilmiştir.

Bu örnekte, değerlendirilen görüntünün ortalama alansal doğruluğu % 91.33 olarak, tek tek sınıfların alansal doğrulukları ise %85.30 ila % 97.99 arasında hesaplanmıştır. Görüleceği gibi doğruluk tüm sınıflar için yüksek oranda gerçekleşmiştir. Ancak doğruluk ölçmesinin bu çeşidi konuma bağlı olmadığından herhangi bir sınıf için artı ve eksi yönde meydana gelen sınıflandırma hatalarının birbirini telafi edebilmesi nedeniyle aktüel sınıflandırma doğruluğunu verip vermediği anlaşılamaz. Belirlenen doğruluk yanıltıcı olabilir. Ancak sınıflar arasındaki değişimlerin açıkça görülebildiği bir hata matrisi derlenirse, doğruluğu konumsal olarak da inceleyerek daha gerçekçi bir doğruluk belirleme şansına sahip olabiliriz.

Tablo 2: IRS uydu görüntüsünün sınıflandırılmasıyla elde edilen konusal haritanın alansal doğruluk sonuçları

Arazi Kullanım Sınıfları	Referans Harita (IKONOS) (ha)	Değerlendirilen Harita (IRS) (ha)	Alansal Değişim (ha)	Alansal Değişim (%)	Alansal Doğruluk (%)
D	41.41	45.94	+ 4.53	+ 10.94	89.06
Y	164.36	187.77	+ 23.41	+ 14.24	85.76
Z	286.60	244.48	- 42.12	- 14.70	85.30
İO	145.88	153.37	+ 7.49	+ 5.13	94.87
YO	333.00	339.69	+ 6.69	+ 2.01	97.99
TOPLAM	971.25	971.25			

Ortalama Alansal Doğruluk = % 91.33

Daha öncede belirtildiği gibi değerlendirilen görüntü için tüm piksellerin kontrol edilmesi genelde tercih edilen bir yöntem değildir ve uygun referans verisi bulmak oldukça zordur. Bu çalışmada örnek vermek amacıyla, doğruluk belirleme işlemi, tüm alan karşılaştırılmasına dayalı olarak ve rasgele seçilmiş referans noktalarına dayalı olarak, iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tüm alan karşılaştırılmasına dayalı bu örnek, farklı tarihlere ait veriler kullanılarak her hangi bir bölgede meydana gelen zamansal değişimler, konumsal olarak belirlenebilmektedir. Bunun için daha önceki tarihe ait sınıflandırılmış görüntü doğru olduğu kabul edilen referans görüntü, sonraki tarihe ait sınıflandırılmış görüntü değerlendirilen görüntü olarak kabul edilerek bir değişim matrisi derlenir ve bu matris incelenerek zamansal değişimler kolaylıkla belirlenebilir.

5.1 Doğruluk Belirlemenin Tüm Alana Dayalı Gerçekleştirilmesi

Hata matrislerinin derlenmesinde en kritik nokta değerlendirilecek görüntü ve referans verinin geometrik doğruluklarıdır. Yani her iki görüntüdeki karşılıklı pikseller aynı yeryüzü alanını temsil etmelidir. Bu nedenle, her iki görüntünün geometrik olarak düzeltilmesi işlemi (rektifikasyon), gerekli hassasiyet gösterilmelidir. Aksi takdirde, referans verilerdeki örnekleme noktaları, değerlendirilen görüntüde başka yerleri gösterecek ve hatalı değerlendirmelere yol açacaktır.

Bu amaçla, bu çalışma için kullanılan örnekte gerekli hassasiyet gösterilmiş ve sınıflandırma işlemi öncesi, geometrik çözünürlüğü daha yüksek olan IKONOS uydusundan yararlanılarak IRS görüntüsünün geometrik düzeltilmesi gerçekleştirilmiş ve her iki görüntü de UTM projeksiyon sisteminde referanslandırılarak aynı harita koordinat sisteminde kaydedilmiştir. Karışım matrisinin derlenmesi için her iki sınıflandırılmış görüntü vektör formatına dönüştürülüp Arc/INFO 8.2 CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) yazılımı ortamında çakıştırılmış (overlay işlemi) ve veri tabanından gerçekleştirilen sorgulamalarla hata matrisinin derlenmesinde kullanılan, sınıflar arası konuma bağlı değişimleri gösteren Tablo 3 elde edilmiştir.

Tablo 3'ten yararlanılarak Tablo 4'te verilmiş olan hata matrisi derlenmiştir. Matrisin çapraz bileşenleri (gri renkle boyalı) doğru bir şekilde sınıflandırılan sınıfları göstermektedir. Toplam sınıflandırma doğruluğu (yüzde doğruluk) her sınıf için doğru sınıflandırılan alanlar toplamının (matrisin çapraz bileşenler toplamı) toplam alana bölünmesiyle, kolaylıkla elde

edilebilir. Bu örnek için toplam sınıflandırma doğruluğu % 80.24 olarak hesaplanmıştır (Bkz.Tablo 4).

Tablo 3: Referans harita ile değerlendirilen harita arasındaki konuma bağlı değişimler

Referans Harita (IKONOS)	Değerlendirilen Harita (IRS)	Alan (ha)
DENİZ (D)	DENİZ (D)	39.63
	YERLEŞİM (Y)	0.63
	ZİRAAT (Z)	1.15
	İBRELİ ORMAN (İO)	-
	YAPRAKLI ORMAN (YO)	-
YERLEŞİM (Y)	DENİZ (D)	1.69
	YERLEŞİM (Y)	136.05
	ZİRAAT (Z)	23.44
	İBRELİ ORMAN (İO)	2.18
	YAPRAKLI ORMAN (YO)	1.00
ZİRAAT (Z)	DENİZ (D)	2.41
	YERLEŞİM (Y)	48.13
	ZİRAAT (Z)	191.41
	İBRELİ ORMAN (İO)	17.90
	YAPRAKLI ORMAN (YO)	26.75
İBRELİ ORMAN (İO)	DENİZ (D)	2.21
	YERLEŞİM (Y)	1.64
	ZİRAAT (Z)	5.23
	İBRELİ ORMAN (İO)	118.54
	YAPRAKLI ORMAN (YO)	18.26
YAPRAKLI ORMAN (YO)	DENİZ (D)	-
	YERLEŞİM (Y)	1.32
	ZİRAAT (Z)	23.25
	İBRELİ ORMAN (İO)	14.75
	YAPRAKLI ORMAN (YO)	293.68

Tablo 4: Örnek uygulama için derlenen hata matrisi (tüm alana dayalı)

		Değerlendirilen Görüntü (IRS)					
		SINIFLAR	D	Y	Z	İO	YO
Referans Harita (IKONOS)	D	39.63	0.63	1.15	-	-	41.41
	Y	1.69	136.05	23.44	2.18	1.00	164.36
	Z	2.41	48.13	191.41	17.90	26.75	286.60
	İO	2.21	1.64	5.23	118.54	18.26	145.88
	YO	-	1.32	23.25	14.75	293.68	333.00
	TOPLAM	45.94	187.77	244.48	153.37	339.69	971.25

$$\% \text{ Doğruluk} = \frac{\text{Çapraz Girdiler Toplamı}}{\text{Gözlemler Toplamı}} = \frac{779.31}{971.25} = \% 80.24$$

Tablo 4'te Verilen Hata Matrisine Göre Üretici Doğruluğu, Kullanıcı Doğruluğu, İhmal Ve Görev Hataları Hesaplanması

Üretici Doğruluğu (ÜD): Örneğin, hem referans görüntüdeki hem de değerlendirilen görüntüdeki ibrelî orman sınıfı (İO) için doğru sınıflandırılan piksel sayısının (alanının) (matrisin 4. satır, 4. sütunu) referans görüntüdeki toplam ibrelî orman piksel sayısına (alanına) oranı alınarak hesaplanabilir;

$$\text{ÜD} = \frac{118.54}{145.88} \times 100 = \% 81.26$$

İhmal Hatası (İH): Örneğin, değerlendirilen görüntüde ibrelî orman sınıfı için hatalı sınıflandırılan piksellerin toplamının (alanlar toplamı) (D+Y+Z+YO olarak) referans görüntüdeki toplam ibrelî orman (İO) piksel sayısına (alanına) oranı alınarak hesaplanabilir;

$$\text{İH} = \frac{2.21 + 1.64 + 5.23 + 18.26}{145.88} \times 100 = \% 18.74$$

Görev Hatası (GH): Örneğin, ibrelî orman sınıfı için değerlendirilen görüntüdeki yanlış değerlendirilen pikseller toplamının (alanının) (D+Y+Z+YO olarak), referans görüntüdeki aynı sınıf için toplam piksel sayısına (alanına) oranı alınarak hesaplanabilir;

$$\text{GH} = \frac{0 + 2.18 + 17.90 + 14.75}{145.88} \times 100 = \% 23.88$$

Kullanıcı Doğruluğu(KD): Örneğin, hem referans görüntüdeki hem de değerlendirilen görüntüdeki ibrelili orman sınıfı (İO) için doğru piksel sayısının (alanının) (matrisin 4. satır, 4. sütunu) değerlendirilen görüntüdeki toplam ibrelili orman (İO) piksel sayısına (alanına) oranı alınarak hesaplanabilir;

$$KD = \frac{118.54}{153.37} \times 100 = \%77.29$$

Yukarıda sadece ibrelili orman sınıfı (İO) için yapılan bu hesaplamalar, bütün sınıflar için gerçekleştirilerek değerlendirilen görüntüye ait üretici ve kullanıcı doğrulukları ile ihmal ve görev hatalarını veren Tablo 5 elde edilmiştir. Tablo 5'te ibrelili orman sınıfı için üretici doğruluğu % 81.26 hesaplanmıştır. Aynı sınıf için kullanıcı doğruluğu % 77.29'dur. Kullanıcı doğruluğu bir tahmin aracı olarak, haritanın güvenilirliği (uygunluğu) için bir rehberdir ve harita kullanıcılarına ibrelili orman olarak sınıflandırılmış alanın (bu örnekte) gerçekte arazi üzerinde % 77.29 oranında ibrelili orman sınıfına karşılık geldiğini ifade eder. Üretici doğruluğu, sınıflandırmayı hazırlayan analizeye gerçek ibrelili orman alanının % 81.26'sının doğru bir şekilde sınıflandırıldığını bildirir. Her iki örnekte de, hata matrisi, hatalı etiketlenmiş ibrelili orman sınıfının ve başka sınıflar olarak yanlış etiketlenmiş ibrelili orman alanlarının belirlenmesine olanak tanır.

Tablo 5: Tablo 4'deki hata matrisinden yararlanılarak hesaplanan, değerlendirilen görüntüye ait üretici ve kullanıcı doğrulukları ile ihmal ve görev hataları

SINIFLAR	Üretici Doğruluğu (%)	Kullanıcı Doğruluğu (%)	İhmal Hatası (İH) (%)	Görev Hatası (GH) (%)
D	95.70	86.26	4.30	15.24
Y	82.78	72.46	17.22	31.47
Z	66.79	78.29	33.21	18.52
İO	81.26	77.29	18.74	23.88
YO	88.19	86.46	11.81	13.82

Tablo 4'te verilen hata matrisi için \hat{k} değerini 2 no'lu denkleme göre hesaplırsak;

$$\sum_{i=1}^r x_{ii} = (39.63 + 136.05 + 191.41 + 118.54 + 293.68) = 779.31$$

$$\sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i}) = (45.94 \times 41.41) + (187.77 \times 164.36) + (244.48 \times 286.60) + (153.37 \times 145.88) + (339.69 \times 333.00) = 238322.6062$$

$$\hat{k} = \frac{(971.25 \times 779.31) - 238322.6062}{(971.25)^2 - 238322.6062} = \frac{518582.2313}{705003.9563} = 0.735573505 \approx 0.74$$

olur.

Tablo 4'te verilen hata matrisi için 0.74 olarak hesaplanan \hat{k} değeri, piksellerin sınıflara şans ile (tesadüfen doğru) atanmasında olduğundan % 74 daha iyi bir doğrulukta sınıflandırmanın başarıldığı anlamında yorumlanabilir.

5.1 Doğruluk Belirlemenin Rasgele Seçilmiş Referans Noktalarına Dayalı Olarak Gerçekleştirilmesi

Sınıflandırılmış bir görüntünün doğruluğunun belirlenmesinde en yaygın şekilde kullanılan değerlendirme biçimi, görüntü üzerine tesadüfî (rasgele) olarak dağıtılmış referans noktalarından yararlanılarak gerçekleştirilir. Aynı uygulama örneğinden yararlanılarak bu biçimde değerlendirmeye örnek vermek amacıyla, ERDAS IMAGINE 8.6 görüntü işleme ve değerlendirme yazılımı kullanılarak sınıflandırılmış görüntü (IRS sınıflandırılmış görüntüsü) üzerine her sınıfa eşit sayıda (50 adet) olmak üzere toplam 250 adet referans noktası tesadüfî olarak atanmıştır. Bu noktalar referans verisi olarak kabul edilen İKONOS sınıflandırılmış görüntüsü üzerine taşınarak, noktaların aktüel (gerçek) sınıfları belirlenmiş ve bu verilere dayanılarak aşağıdaki hata matrisi düzenlenmiştir (Tablo 6). Elde edilen hata matrisi kullanılarak, değerlendirilen görüntüye ait toplam sınıflandırma doğruluğu (yüzde doğruluk), üretici ve kullanıcı doğrulukları, ihmal ve görev hataları ile kapa katsayısı bir önceki örnekte olduğu gibi hesaplanarak Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Örnek uygulama için derlenen hata matrisi (Rasgele Seçilmiş Referans Noktalarına Dayalı) ve hesaplanan doğruluk ölçüleri

	Sınıflar	Değerlendirilen Görüntü (IRS)								
		D	Y	Z	İO	YO	Toplam	ÜD%	İH%	GH%
Referans Verisi (İKONOS)	D	48	1	1	-	-	50	96	4	6
	Y	1	41	6	1	1	50	82	18	22
	Z	1	8	34	3	4	50	68	32	24
	İO	1	1	2	41	5	50	82	18	12
	YO	-	1	3	2	44	50	88	12	20
	Toplam	51	52	46	47	54	250			
	KD%	94.12	78.85	73.91	87.23	81.48				

KD -Kullanıcı Doğruluğu, **ÜD**= Üretici Doğruluğu, **İH**= İhmal Hatası, **GH**= Görev Hatası
% Doğruluk = Çapraz Girdiler Toplamı / Gözlemler Toplamı = 208 / 250 = % 83.2

$$\hat{k} = \frac{(250 \times 208) - 12500}{(250)^2 - 12500} = \frac{39500}{50000} = 0.79$$

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

İlk yer gözlem uydusu olan Landsat-1'in faaliyete geçtiği 1972 yılından günümüze çok sayıda ve çeşitlilikte uydu, yer yüzeyini çok kısa aralıklarla sürekli gözlemleyerek çok farklı kullanım amaçları için faydalı, sayısal görüntüler elde etmektedir. 1970'li yıllardan günümüze uydu verileri, arazi kullanım tipleri, arazi örtüsü gibi konusal haritaların üretilmesinde kullanılmaktadır.

Konusal haritalar çevrenin kusurlu bir modeli olmasına karşın, yaygın bir şekilde kullanılırlar. Bir haritanın değeri, sınıflandırma doğruluğunun bir fonksiyonudur ve sınıflandırma doğruluğunu belirlemek karmaşık bir işlemdir. Uzaktan algılamada doğruluk belirleme uzun ve zaman zaman tartışmalı bir geçmişe sahiptir. Bununla birlikte doğruluk belirleme olgunlaşmış bir öneme sahiptir ve artık genellikle herhangi bir konusal haritalama uygulamasının temel bir bölümü olduğu kabul edilmektedir. Doğruluğu belirlemenin kabul edilen standart bir yöntemi olmamasına karşın genel formatı tanımlanabilmektedir. Uzaktan algılama konusunda çalışanların çoğunluğu, bir karışım (hata, olasılık) matrisini temel alan doğruluk belirlemeyi benimsemiştir. Karışım matrisi, doğruluk belirleme üzerine birçok çalışmanın özünü oluşturur ve çoğunlukla uygunluğu sorgulanmaksızın kullanılır. Karışım matrisi yer şartları ile görüntü sınıflandırması arasındaki uyumun konumsal doğruluğunu (konumu belli doğruluk) elde etmek için kullanılır. Örneğin bir karışım matrisi, bir sınıflandırma ile oluşturulan sınıf paylarının doğasını özetlemek için kullanılabilir ve sınıflandırma doğruluğunun birçok niceliksel ölçüsünün temelini oluşturur (FOODY 2002). Bununla birlikte, güvenilir bir karışım matrisinin elde edilmesi doğruluk belirleme zincirindeki zayıf halkadır (SMITS ve ark. 1999). Güvenilir bir hata matrisini elde etmek için referans ve değerlendirilecek görüntünün geometrik düzeltmelerinin çok iyi yapılması, yani her iki görüntüdeki karşılıklı piksellerin aynı yer yüzeyi alanını temsil etmesi gerekmektedir. Uygun olmayan geometrik düzeltmelere sahip verilerden derlenmiş hata ya da karışım matrislerinin yorumlanması ve doğruluk ölçülerinin elde edilmesi problemli olacaktır.

Çok sayıda yeni gelişmeler olmasına karşın, doğruluk belirlemenin mevcut durumu, çözülecek pek çok problemin geride kaldığını gösterir. Bu nedenle konu oldukça olgunlaşmış olmasına karşın önemli ilave gelişmelere ihtiyaç vardır (FOODY 2002). Doğruluk değerlendirmenin birçok önemli yönleri üzerinde uzlaşma olmasına rağmen, diğer sonuçlar onlar çözülmeye önce uzun bir zaman için muhtemelen tartışılmaya devam edilecektir. Örneğin, bir görüntünün doğruluğunun belirlenmesinde açık bir şekilde daha üstün bir örnekleme yöntemi yoktur ve iki hata matrisinin kıyaslanması için en iyi yöntemin hangisi olduğu konusunda bir uzlaşma yoktur. Birçok sorun için analizleri idare etmenin tek bir doğru yolu olmayabilir, fakat diğerlerinin eksiklerini ve göreceli meziyetlerini ve bazı seçenekleri hariç tutabiliriz (CAMPBELL 1996).

Bu makalede yer alan doğruluk belirleme yöntemleri temelde, yerelden bölgesel ölçeğe odaklanan haritalama araştırmaları ile ilgilidir. Bununla birlikte son yıllarda, bütün ölçeklerde fakat özellikle bölgesel ve küresel ölçeklerde harita elde etmede uzaktan algılamaya talep artmaktadır. Bölgeselden küresel ölçeğe haritalamada çoğunlukla rölaf olarak kaba geometrik çözünürlüklü verinin (Ör; SPOT-4 ve SPOT-5 uydularının 1 km geometrik çözünürlüklü vejetasyon algılayıcıları) kullanılması ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle küresel ölçekte son zamanlardaki temel haritalama araştırmaları 1 km veya daha kaba geometrik çözünürlüklü haritaların üretilmesi ile sonuçlanmıştır. Burada açıklanan yöntemler kaba geometrik çözünürlüklü uydu verilerinden üretilen küresel ölçekli geniş alan haritalarına uygulanamaz. FOODY (2002)'de de vurgulandığı gibi, özellikle doğruluk belirlemede standart bir karışım matrisine dayalı yaklaşımın üzerinde ısrar edilmesi, memnuniyet verici böyle yaklaşımların (ör;

saf pikseller, ayrı sınıflar gibi) altında yatan varsayımların olasılık dışı olabilmesi nedeniyle yanıltıcı olabilmektedir.

Bir doğruluk belirleme çalışması farklı nedenlerle gerçekleştirilebilir. Örneğin hata matrisinin incelenmesiyle, sınıflar arası karışımlar ve bu karışımların nedenleri belirlenebilir ve bu sayede sınıflandırmanın doğruluğunu ve kalitesini artırmaya yönelik çözümler üretilebilir. Sınıflandırma doğruluğunun farklı bileşenlere sahip olması ve farklı kullanıcıların belirli ihtiyaçları olması nedeniyle, arzu edilen özellikleri ölçmesi önemlidir. Bu nedenle yanlış yorumlamadan kaçınmak için her bir özel çalışmanın gereksinimlerine uygun doğruluk bileşeninin ölçülmesi esas olmalıdır.

KAYNAKLAR

- ARONOFF, S. 1982 : Classification Accuracy : A User Approach. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.48, No.8, August 1982, pp.1299-1307.
- ASPRS, 1997: Manuel of Photographic Interpretation. ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing), Second Edition, ISBN 1-57083-039-8, 689 sayfa.
- CAMPBELL, J.B. 1996 : Introduction to Remote Sensing. Second Edition. Virginia Polytechnic Institute and State University, The Guildford Pres, New York-London.
- CARD, D.H. 1982: Using known map category marginal frequencies to improve estimates of thematic map accuracy. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 48(3): pp. 431-439.
- CONGALTON, R.G. 1991: A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment 37(1): pp. 35-46.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. 1993: A practical look at the sources of confusion in error matrix generation. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 59, 641- 644.
- CONGALTON, R.G. 1994 : Accuracy assessment of remotely sensed data: future needs and directions. In: Proceedings of Pecora 12 land information from space-based systems (pp. 383-388). Bethesda: ASPRS.
- FOODY, G.M. 2002: Status of land cover classification accuracy assessment. Remote Sensing of Environment. 80 (2002) 185- 201
- HAY, A.M. 1979 : Sampling Designs to Test Land Use Map Accuracy. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.45, No.4, April 1979, pp.529-533.
- HORD,R.M.; BROONER, W. 1976 : Land Use Map Accuracy Criteria. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.46, pp.671-677.
- JANSSEN, L.L.F.;VAN DER WEL, F.J.M. 1994: Accuracy assessment of satellite derived land-cover data: a review. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 60, 419- 426.
- JENSEN, J. R. 1996: Introductory digital image processing. A remote sensing perspective. Second Edition, New Jersey: Prentice-Hall.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W., 1994 : Remote Sensing and Image Interpretation. Third Edition. ISBN 0-471-57783-9. Printed and bound by R.R.Donnelley(Crawfordsville), The cover was printed by Lehigh Pres, Printed in the USA.

MATHER, P.M. 1993 : Computer Processing of Remotely-Sensed Images. Third Edition. ISBN 0 471 90648 4. Printed and bound in Great Britain by Biddles Ltd, Guildford and King's Lynn.

RICHARDS, J.A.; JIA, X. 1999 : Remote Sensing Digital Image Analysis. Third, Revised and Enlarged Edition, ISBN 3-540-64860-7, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.

SMITS, P. C.; DELLEPIANE, S. G.; SCHOWENGERDT, R. A. 1999: Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: a review and proposal for a cost-based approach. *International Journal of Remote Sensing*, 20, 1461–1486.

STORY, M.; CONGALTON, R.G. 1986: Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52, 397– 399.