

Uzaktan Algılama Hataları ve Sınıflandırma Üzerine Etkileri

Hakan Çağlar, M. Temel Aygün
TÜBİTAK-MAM, Uzay Bilimleri Bölümü
Gebze 41470, Kocaeli

Özetçe:

Uydu verisi üzerindeki hatalar atmosferik etkiler, algılayıcı kaynaklı bozulmalar, örnekleme hataları ve karışık piksel hataları olmak üzere başlıca dört grupta toplanabilir. Atmosferik etkiler uygulamada genellikle doğrusal modeller kullanılarak açıklanmakta, bu da En Çok Benzerlik (Max. Likelihood) sınıflandırma yöntemine ek bir hata getirmemektedir. 3-14 mikron dalga boyuna kadar birinci dereceden doğrusal model uygun olmaktadır. Algılayıcı kaynaklı bozulmalar ise uydu verisindeki önemli hata kaynaklarından biridir. Shot ve ısıl gürültü olarak iki temel başlıkta toplanabilirler. Bu gürültüler Normal (Gaussian) dağılım şeklinde olduğu kabul edilerek, sadece sıcaklığa, dirence ve band genişliğine bağlı, sinyal seviyesinden ise bağımsızdır. Örnekleme gürültüsü ise sürekli algılanan işaretin ayrık işarete dönüştürülmesi ve sabit sayıda bit kullanarak ifade edilmesi nedeniyle oluşan gürültüdür. Uydu verileri için genellikle sekiz ve daha fazla bit sayısı yeterli olurken, dört ve daha az bit kullanılması gözle açıkça görülen örnekleme gürültüsü oluşturmaktadır. Bu çalışmada uzaktan algılama gürültü modeli ve performans kriteri için literatürde yapılan çalışmalar araştırılmış ve genel bir özet halinde sunulmuştur. Burada yapılan çalışmalarda, genellikle, uydu verisinin alındığı anda yerde radyometre ile yapılan ölçümler kıyaslanmış ve modelin geçerliliği incelenmiştir.

Sınıflama üzerindeki diğer önemli hata kaynağı karışık piksellerden gelmektedir. Karışık piksel tanım olarak birden fazla sınıfın arakesitine düşen ve dolayısı ile sınıfların tek tek gösterdiği özelliklerden farklı özelliklere sahip olan piksellerdir. Karışık piksel sayısı veya toplam pikseller içerisindeki karışık piksel sayısı oranı uydunun çözünürlüğü (resolution) ile ters orantılıdır. Bu çalışmada Landsat TM verisi kullanıldığından karışık piksellerin sadece iki sınıfın arakesitine düştüğü kabul edilmiştir. Yüksek çözünürlüğe sahip bir uydu olan Landsat TM için bu kabul uygundur. Çalışmada Tekirdağ ili Marmara Ereğlisi ilçesi sınırları içinde kalan ve yer gerçeği bilinen bir bölge seçilmiştir. Burada 40 tane karışık pikselin hata oranları belirlenmiş ve ortalama piksel değerindeki hata 14.35 olarak bulunmuştur. Bunun oluşturacağı en büyük işaret hata oranı (PSNR) 25 dB olarak elde edilmiştir.

Atmosferik Etkiler:

Bu konuda aşağıdaki şekilde tanımlanan doğrusal model literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır.

$$\underline{L} = \tau_a \underline{L}_s + \underline{L}_p \quad (1)$$

Burada, N-spektral bant kullanıldığında \underline{L} , \underline{L}_s ve \underline{L}_p N boyutlu vektörler olup, \underline{L} algılayıcıya ulaşan ışımaya, τ_a atmosferik iletim, \underline{L}_s pikselin gerçek ışımaya değeri ve \underline{L}_p uydu yörüngesindeki yansımalarıdır. Bu model doğrusal dönüşüm şeklinde olduğundan En Çok Benzerlik sınıflandırması yöntemine bir hata eklemeyiz. Bunu aşağıdaki şekilde gösterebiliriz :

Herhangi bir sınıf w_j 'in atmosferik bozulmalardan sonraki ışımalarının L_{s_j} olasılık dağılımı $N(M_i, \Sigma_i)$ şeklinde tanımlanabilecek normal bir dağılımı olsun. O halde

$$P(L_s/w_j) = N(M_i, \Sigma_i) \quad (2)$$

Burada, M_i ortalama beklenen değer (mean) vektörü ve Σ_i özilinti (covariance) matrisini göstermektedir.

Gerçek ışımaların olasılık dağılımı, denklem (2)'yi denklem (1)'deki doğrusal dönüşümle beraber ele aldığımızda, $N(\tau_a M_i + L_i, \tau_a \Sigma_i \tau_a^T)$ şeklinde ifade edilecek normal bir dağılımı olur. İki dağılım arasındaki ilişki

$$P(L/w_j) = \frac{1}{|\tau_a|} P(L_s/w_j) \quad (3)$$

Buradan görüldüğü gibi iki olasılık dağılımı birbirine bir sabit çarpanla bağlıdır. Bu model için atmosferik bozulmalar sınıflama üzerine ek bir hata getirmemektedir. Gerçekte elektromagnetik dalgalar atmosferden geçerken hem dağılır (scattering), hem de zayıflar (attenuation). Bu etkiler kontrast ve ayırımı azaltıcı ve gürültü katıcıdır. Bu etki atmosferdeki o andaki su buharı ve başka faktörlere bağlı olduklarından önceden kestirilemez. 3-14 Mikron dalga boyuna kadar bu birinci dereceden doğrusal model uygun olmaktadır.

Algılayıcı Kaynaklı Bozulmalar:

Algılayıcı, üzerine düşen ışık enerjisini elektriksel değere çeviren elemandır. Algılayıcının elektronik tasarımından oluşan gürültü shot ve ısı gürültü olmak üzere iki temel başlıkta toplanabilir. Shot gürültüsü, yarı iletkenlerdeki yüklerin oluşturulması ve toplanması sırasındaki yüklerdeki rastgele salınımlar (random fluctuation) şeklinde ortaya çıkar. Özellikle orta frekanslarda en etkili gürültü kaynağıdır. Isıl gürültü ise, elektronların ısı etkileri dolayısıyla yaptıkları rastgele hareketler (random motion) şeklinde ortaya çıkar. Deneysel olarak yapılan çalışmalarda

$$\bar{v}^2 = 4KTR\Delta f \quad (4)$$

şeklinde modellenmiştir. Burada K Boltzman sabiti, T Kelvin cinsinden sıcaklık, R direnç, Δf ise devrenin frekans bant genişliğidir. Geniş bant genişliklerinde gürültü normal dağılıma sahip olduğundan, işaretin seviyesinden bağımsızdır. Sadece sıcaklığa, dirence ve bant genişliğine bağlıdır.

Örnekleme (Quantization) Gürültüsü:

Algılayıcıya gelen işaret önce bir kuvvetlendirici (amplifier) devresinden geçtikten sonra analog/sayısal çevirici yardımıyla sayısal değerlere dönüştürülür. Sistemin çalışma yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Bu işlem zamanda eşit aralıklarla yapıldığında düzgün (uniform) örnekleme olarak tanımlanmaktadır. Düzgün örneklemeden oluşan hata

$$\underline{q} = \underline{x} - \underline{y} = \underline{x} - Q(\underline{x}) \quad (5)$$

olarak verilir. Örnekleme hatasının varyansı

$$\sigma_q^2 = \int_{-\infty}^{\infty} q^2 P_p(q) dq \quad (6)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} [x - Q(x)]^2 P_x(x) dx \quad (7)$$

olarak bulunur. Düzgün örnekleme için hata fonksiyonu düzgün bir olasılık dağılımına sahiptir. Burada $\Delta = y_k - y_{k-1}$ şeklinde tanımlanır. Buradan denklem (6) yardımıyla

$$\sigma_q^2 = \int_{-\Delta/2}^{\Delta/2} q^2 \frac{1}{\Delta} dq = \Delta^2/12 \quad (8)$$

bulunur. Uydu verilerinde düzgün örnekleme kullanılmaktadır.

Örneklemede piksel başına genellikle sekiz (0-255 grilik seviyesi) ve daha fazla bit sayısı yeterli olurken dört (0-15 grili seviyesi) ve daha az bit kullanımı gözle açıkça görülen örnekleme gürültüsü oluşturmaktadır. Uzaktan algılama uygulaması için yapılan bir çalışmada bit sayısı ile hata olasılığı arasındaki ilişki Şekil 2'de verilmiştir.

Uzaktan Algılamada Gürültü Modeli ve Performans Kriteri:

Şimdiye kadar tanımladığımız gürültü çeşitlerini bir model altında toplarsak, Şekil 3'te verilen bir sistem gürültü modeli elde edilir. Şekil 3'den görüldüğü gibi sistem denklemini

$$\underline{z} = \underline{x}(L) + \underline{u} + \underline{q} \quad (9)$$

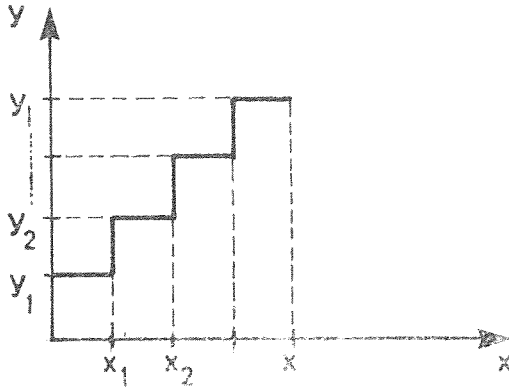
olup, \underline{x} , \underline{u} , \underline{q} bağımsız vektörlerdir. \underline{z} işaret ve gürültünün toplamından oluşan sistem çıkışı, \underline{L}_s yer gerçeğinden bulunmuş parlaklık değeridir. \underline{L} ise denklem (1)'de tanımlanmıştır. Burada tanımlanan $\underline{x}(L)$ fotoalgılayıcının çıkışı olup, normal dağılımlı iki rastgele değişkenin toplamı şeklinde yazılabilir.

$$x(L) = N(\tau_a M_i + L_p, \tau_a \Sigma_i \tau_a^T) + N(0, K \sqrt{\tau_a L_s + L_p}) \quad (10)$$

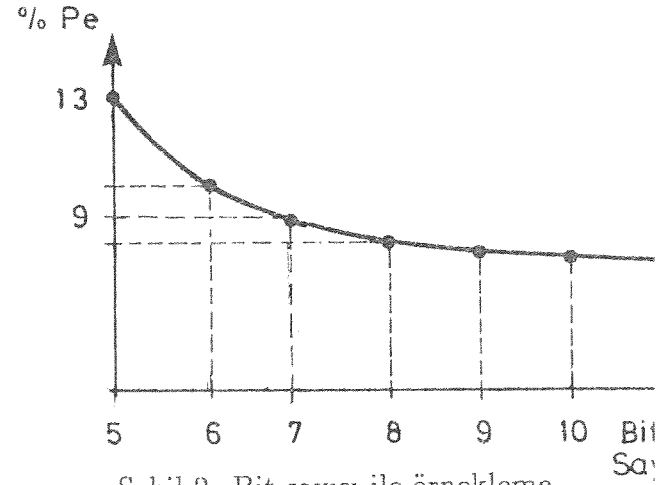
Burada K algılayıcıya bağlı bir sabittir. u ısı gürültüye karşılık gelen vektör olup $N(0, \Sigma_u)$ şeklinde normal bir dağılımı vardır. Σ_u köşegen özilinti matrisidir. Benzer şekilde örnekleme gürültüsü $N(0, \Sigma_q)$ şeklinde tanımlanabilecek ve $\Sigma_q = \frac{\Delta^2}{12} I$ şeklinde özilinti matrisine sahip sıfır ortalama değerli normal bir dağılıma sahiptir. Buradan çıkış işaretinin beklenen ortalama değeri $E\{\underline{z}\}$ ve özilinti matrisi Σ_z aşağıdaki gibi elde edilir.

$$E\{\underline{z}\} = E\{\underline{L}\} = \tau_a E\{\underline{L}_s\} + \underline{L}_p \quad (11)$$

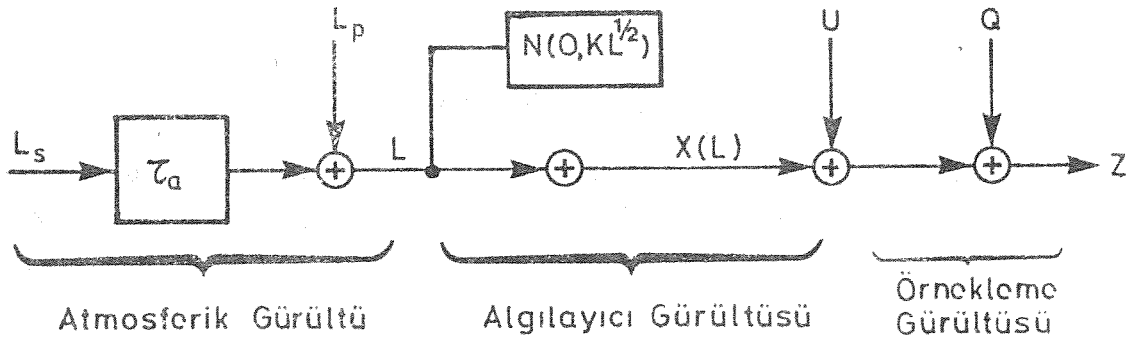
$$\Sigma_z = \begin{bmatrix} \sigma_{L_1}^2 + k_1^2 L_1 + \sigma_{u_1}^2 + \sigma_{q_1}^2 & \vdots & \vdots & \vdots \\ \rho_{L_1} \rho_{L_2} \sigma_{L_1} \sigma_{L_2} & \sigma_{L_2}^2 + k_2^2 L_2 + \sigma_{u_2}^2 + \sigma_{q_2}^2 & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \rho_{L_1} \rho_{L_N} \sigma_{L_1} \sigma_{L_N} & \rho_{L_2} \rho_{L_N} \sigma_{L_2} \sigma_{L_N} & \vdots & \sigma_{L_N}^2 + k_N^2 L_N + \sigma_{u_N}^2 + \sigma_{q_N}^2 \end{bmatrix}$$



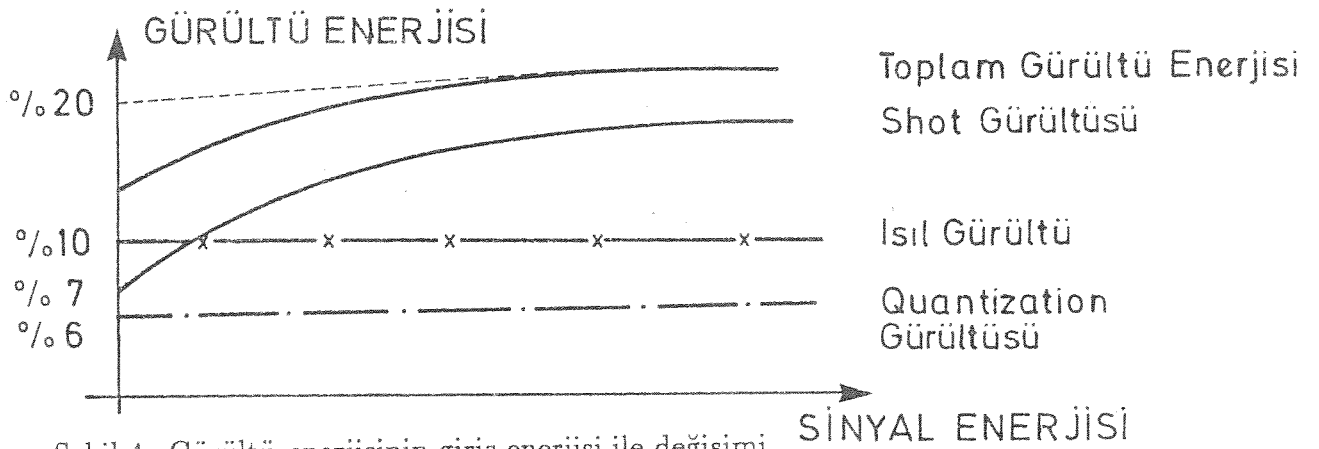
Şekil 1. Örnekleme sisteminin çalışma yapısı.



Şekil 2. Bit sayısı ile örnekleme hatasının değişimi.



Şekil 3. Uzaktan algılama sisteminin gürültü modeli.



Şekil 4. Gürültü enerjisinin giriş enerjisi ile değişimi

(Band aralığı: 0.52-0.6 μ).

Buradan çıkışın iki bandındaki korelasyon katsayısı

$$\rho_{z_i} \rho_{z_j} = \rho_{L_i} \rho_{L_j} \left[\frac{\sigma_{L_i} \sigma_{L_j}}{[(\sigma_{L_i}^2 + k_i^2 L_i + \sigma_{u_i}^2 + \sigma_{q_i}^2)(\sigma_{L_j}^2 + k_j^2 L_j + \sigma_{u_j}^2 + \sigma_{q_j}^2)]^{1/2}} \right] \quad (12)$$

i^{th} banttaki giriş ve çıkış işaretleri arasındaki özilinti katsayısı ise

$$\rho_{z_i L_{s_i}} = \frac{\tau_a \sigma_{L_{s_i}}}{[\tau_a^2 \sigma_{L_{s_i}}^2 + k_i^2 (\tau_a L_{s_i} + L_p) + \sigma_{u_i}^2 + \sigma_{q_i}^2]^{1/2}} \quad (13)$$

olarak elde edilir. Burada işaretin enerjisinin gürültüye oranı şeklinde tanımlanan performans kriteri SNR (Signal to Noise Ratio) aşağıdaki gibi tarif edilebilir.

$$SNR = \frac{\rho_{z_i L_{s_i}}^2}{1 - \rho_{z_i L_{s_i}}^2} \quad (14)$$

Yapılan bir çalışmada değişik frekans bantlarındaki hatalara ait simülasyon sonuçlarının grafikleri Şekil 4-6'de verilmiştir.

Karışık Piksel Hataları:

Birden fazla sınıfın arakesitlerine düşen pikseliere karışık piksel denir. Bu pikseller sınıfların tek tek gösterdiği özelliklerden farklı özellikler gösterirler. Karışık piksellerin sayısı, uydu verisinin ayırım gücü ile ters orantılıdır. İki sınıf arası karışım oranı

$$f_i = \left| \frac{M_{ix} - M_{i1}}{M_{i1} - M_{i2}} \right| \quad (15)$$

Burada M_{ix} , M_{i1} , ve M_{i2} sırasıyla karışık piksellerin değeri, birinci sınıfın ortalama parlaklık değeri ve ikinci sınıfın ortalama parlaklık değeridir. Burada N - spektral bantlı ve k - farklı sınıfın f_i oranında karışımından oluşan bir pikseli aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & \vdots & M_{1k} \\ M_{21} & M_{22} & \vdots & M_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ M_{N1} & M_{N2} & \vdots & M_{Nk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_N \end{bmatrix} \quad (16)$$

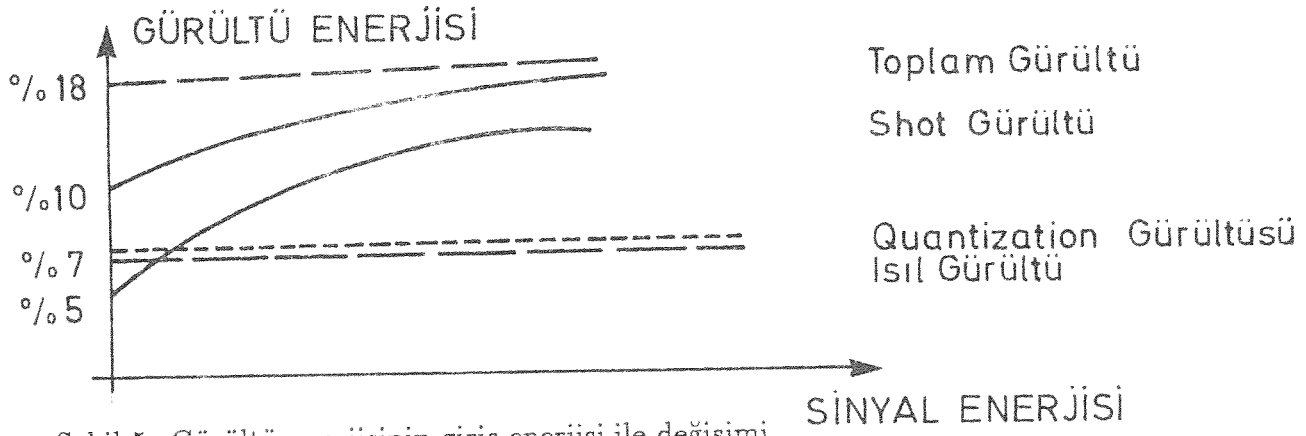
$$\underline{x} = \underline{Mf} + \underline{e}$$

Burada e , ortalama beklenen değeri sıfır olan bir gürültü terimidir. Bu piksellerden gelecek hata

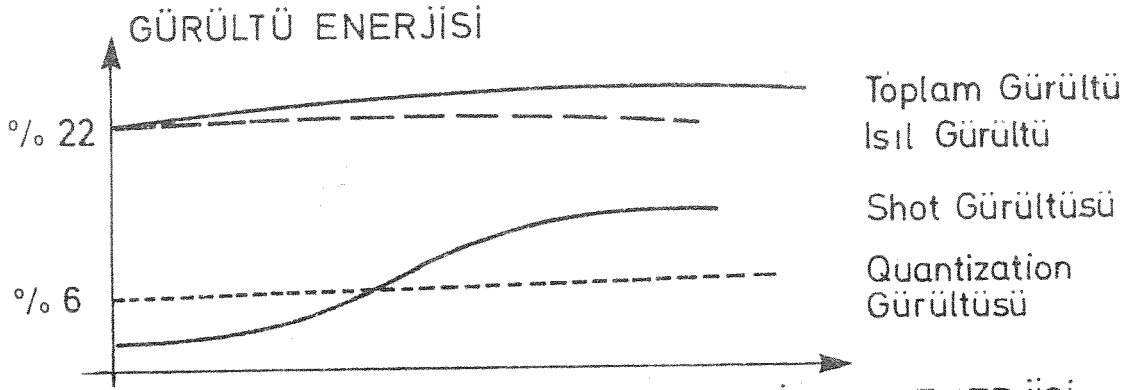
$$\epsilon_k^2 = (\underline{x} - \underline{Mf})^T \underline{C} (\underline{x} - \underline{Mf}) \quad (17)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada C gürültü ifadesinin özilinti matrisidir.

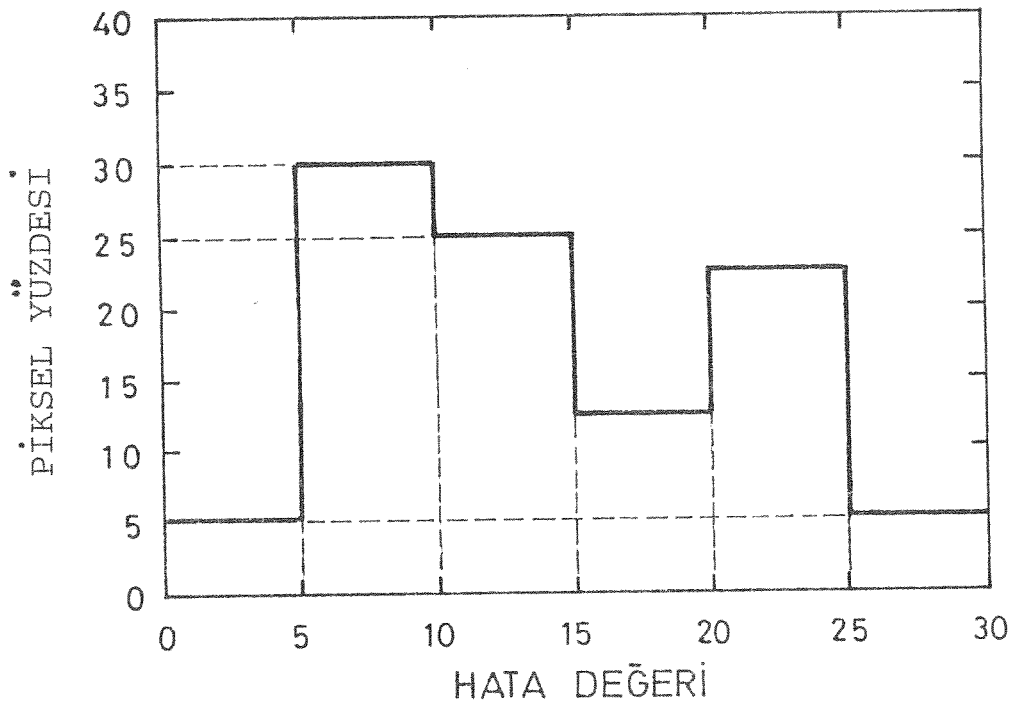
Bu çalışmada, Tekirdağ ili Marmara Ereğlisi ilçesinde seçilen ve yer gerçeği bilinen bir bölgede karışık piksellerden gelen hata oranları bulunmuştur. Burada karışık piksellerin



Şekil 5. Gürültü enerjisinin giriş enerjisi ile değişimi
(Band aralığı: 0.75-0.9 μ).



Şekil 6. Gürültü enerjisinin giriş enerjisi ile değişimi
(Band aralığı: 1.55-1.75 μ).



Şekil 8. Karışık piksellerin hata olasılık dağılımı.



Şekil 7. Çalışma Bölgesi.

iki sınıfın ara kesitine düştüğü kabul edilmiştir. Çalışma bölgesi Şekil 7’de verilmiş ve buğday alanı sınır piksellerinden seçilen 40 adet piksel karışık piksel olarak alınmıştır. Landsat-TM uydu verisi 5-4-3 bant bileşimi kullanılmıştır. Buğday ve toprak sınıfları için seçilen bant bileşimlerindeki ortalama beklenen değerler aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

	Bant 5	Bant 4	Bant 3
Buğday	55.46	105.07	24.84
Toprak	90.18	62.82	46.82

Burada seçilen 40 karışık piksele karşı gelen parlaklık değerleri, M_{ix} , her üç bantta bulunmuştur. Denk.(15) yardımıyla karışma oranları olan f_i değerleri hesaplanmıştır. Buradan her bir karışık piksele karşı gelen \underline{x} vektörü için Denk.(16) yardımıyla \underline{e} gürültü vektörü hesaplanmış ve buna karşı gelen özilinti matrisi aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

$$C = E\{\underline{e} \underline{e}^T\}$$

Karışık piksellerden gelecek hata oranı Denk.(17)’den elde edilmiştir. Seçilen karışık pikseller için ortalama hata 14.35 olarak bulunmuş ve hata olasılık dağılım eğrisi Şekil 8’de verilmiştir. Burada en büyük hata işaret oranı (PSNR)

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{255^2}{\frac{1}{N} \sum_i \epsilon_{ik}^2} \right) \quad (18)$$

şeklinde tanımlandığında 25 dB olarak bulunmuştur.

Sonuçlar:

Bu çalışmada uydu verileri üzerindeki hata kaynakları incelenmiştir. Sınıflandırmanın başarımı açısından düşünüldüğünde hata kaynakları iki temel guruba ayrılabilir. Atmosferik etkiler, algılayıcı kaynaklı bozulmalar ve örnekleme gürültüsü genellikle normal bir dağılıma sahip olduğu kabul edilebileceğinden, En Çok Benzerlik sınıflandırma yönteminin başarımına önemli bir hata eklemesiz. Diğer sınıflandırma yöntemleri kullanıldığında bu hatalar sınıflandırmanın başarımını etkileyecektir. Karışık piksellerden gelen hatalar ise bu başarımı direkt olarak olumsuz yönde etkilemektedir. Karışık piksellerin toplam pikseller üzerindeki oranı büyük ölçüde uydu verisinin çözünürlüğü ile ters orantılıdır. Yüksek çözünürlüklü uydu verilerinin kullanımı sınıflandırmanın başarımını arttıracaktır. Bunun yanında çalışılan bölgede sınıfların küçük alanlardan oluşması karışık piksellerin toplam piksellere olan oranını arttıracığından sınıflandırmanın başarımını olumsuz yönde etkileyecektir. Küçük sınıf alanlarının bulunduğu bölgelerde karışık piksellerden doğan hatalar oldukça önemli oranda sınıflandırma başarımını düşürecektir. Bunun yanında su yüzeylerinde yapılan özellikle kirlilikle ilgili çalışmalarda çok daha dikkatli olunması gerekmektedir. Çünkü burada kullandığımız modelde kullanılan gürültü kaynaklarının dışında ve özellikle de sığ yüzeylerde yansımalar sadece su yüzeyinden olmayıp, dipten veya alt katmanlardan gelebildiğinden bu tür çalışmalarda gürültü işaret oranı %30 – 40'lara çıkabilmektedir.