

UYDU GÖRÜNTÜLERİNDE MTF VE GIQE DEĞERLERİNİN ÖLÇÜMÜ

Şule TUNAHAN, Mustafa TEKE, Kaan KALKAN

TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Ankara, Türkiye, sule.tunahan@tubitak.gov.tr, mustafa.teke@tubitak.gov.tr,
kaan.kalkan@tubitak.gov.tr

ÖZET

Günümüzde çok sayıda yer gözlem uydusu yörüngede görüntü almaktadır. Bu uyduların görüntülerini kullanım amaçlarına göre seçmek için kalite metriklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar içerisinde en yaygın olarak kullanılan yer örnekleme mesafesi (YÖM, İng: GSD)'dir. YÖM ile birlikte kullanılan diğer görüntü kalite metrikleri: sinyal gürültü oranı (SGO, İng: SNR), Modülasyon transfer fonksiyonu (MTF), genel görüntü kalite denklemi (GKGD, İng: GIQE) gibi terimlerle ifade edilir. Bu çalışmada uydu sisteminin kalite metriklerini yörüngedeyken elde etme amaçlı bir araç geliştirilmiştir. Geliştirilen bu araç ile simülasyon ve uydu görüntüleri kullanarak MTF, SNR ve GIQE değerleri ölçülmüştür. MTF değerinin elde edilmesi için ilk olarak Kenar Dağılım Fonksiyonu (Edge Spread Function-ESF) daha sonra Çizgi Dağılım Fonksiyonu (Line Spread Function – LSF) bulunur. GIQE değerinin elde edilmesi için ise GSD, Görelî Kenar Yanıtı (GKY, İng: RER), Kenar Aşımı (H), SNR ve Gürültü Kazancı (G) değerleri sağlanır. Geliştirilen Görüntü Kalitesi Uygulaması ile uydu görüntülerinin kalite metriklerinin ölçümün gerçekleştirilebilecektir.

Anahtar Sözcükler: Modülasyon Transfer Fonksiyonu, Yer Örnekleme Mesafesi, Sinyal-Gürültü Oranı, Genel Görüntü Kalite Denklemi

ABSTRACT

MEASUREMENT OF MTF AND GIQE VALUES IN SATELLITE IMAGES

Today, many Earth observation satellites take images on orbit. Quality metrics are needed to select the images of these satellites according to their intended use. The most widely used among these is the ground sampling distance (GSD). Other image quality metrics used with GSD are expressed in terms such as signal to noise ratio (SNR), Modulation transfer function (MTF), general image quality equation (GIQE). In this study, a tool has been developed to obtain the quality metrics of the satellite system while on orbit. With this developed tool, MTF, SNR and GIQE values were measured using simulation and satellite images. To obtain the MTF value, the Edge Spread Function (ESF) is first found, then the Line Spread Function (LSF). In order to obtain the GIQE value, GSD, Relative Edge Response (RER), Edge Overshoot (H), SNR and Noise Gain (G) values are provided. With the developed Image Quality Application, it will be possible to measure the quality metrics of satellite images.

Keywords: Modulation Transfer Function (MTF), Ground Sampling Distance (GSD), Signal to Noise Ratio (SNR), General Image Quality Equation

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde çok sayıda yer gözlem uydusu geliştirilmektedir. Geliştirilen uyduların görüntüleri farklı amaçlar için kullanılmakta olup sadece yersel çözünürlük ile görüntü kalitesine karar vermek yeterli olmamaktadır. Kullanım amacına uygun uydu görüntülerinin seçilmesinde ve uydu projelerinde kabul faaliyetlerinde kullanılmak üzere farklı görüntü kalitesi ölçüm metriklerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Çözünürlük ölçmek için Yer Örnekleme Mesafesi (YÖM, İng: GSD), gürültü seviyesi ölçümü için Sinyal Gürültü Oranı (SGO, İng: SNR), yakın nesneleri ayırt etmek ve görüntü uzamsal keskinliği için Görece Kenar Yanıtı (GKY, İng: RER) ve Modülasyon Transfer Fonksiyonu (MTF) metrikleri kullanılmaktadır. Tüm bu metrikler genel görüntü kalite denklemi (GKGD, İng: GIQE) ile ifade edilmektedir. NIIRS nesne ayırt etme skalasında farklı seviyelerde hangi nesnelerin görülmesi gerektiği belirlenmiştir.

Uydu elektro-optik sisteminin performansı genellikle MTF ile belirlenir. Çoğu zaman, MTF uydu fırlatılmadan önce ölçülür ancak fırlatma sırasındaki titreşim veya zaman içinde malzeme özelliklerindeki değişiklikler nedeniyle değişebilir. Bu nedenle, yörüngede görüntüye yönelik temel gereksinimleri doğrulama kapsamında, MTF değeri yeniden incelenmelidir.

Diğer metrik olan Sinyal-Gürültü Oranı (SNR), görüntü yoğunluğunun rastgele değişimine oranıdır. SNR'ın hesaplanması için görüntünün beyaz ve siyah pikselleri arasındaki DN farkı ve standart sapmaları kullanılır. SNR, GIQE denklemlerinde yer almaktadır. GIQE ise GSD, SNR, RER gibi metrikleri kullanarak Ulusal Görüntü Yorumlanabilirlik Derecelendirme Ölçeğini (National Imagery Interpretability Scale-NIIRS) tahmin etmeyi sağlayan analitik bir araçtır. NIIRS, 1970'lerde ABD Görüntü Çözünürlük Değerlendirmeleri ve Raporlama Standartları (IRARS) Komitesinin himayesi altında geliştirilen görüntülerden elde edilebilecek bilgi miktarını belirtmek için kullanılan 10 dereceli ölçeklerdir. GIQE denkleminin GIQE 3,4,5 olmak üzere bilinen 3 versiyonu vardır. Tüm GIQE

versiyonları, regresyon analizi ile elde edilir; bilinen yakalama ve işleme parametrelerine sahip sensörler tarafından elde edilen bir dizi görüntü seçilir ve her görüntüye görüntü analistleri tarafından bir NIIRS derecesi atanır. Daha sonra, yakalama ve işleme parametrelerinin bir fonksiyonu olarak bu derecelendirmeleri modelleyen bir genel denklem türetilir (Valenzuela, Reyes, 2019).

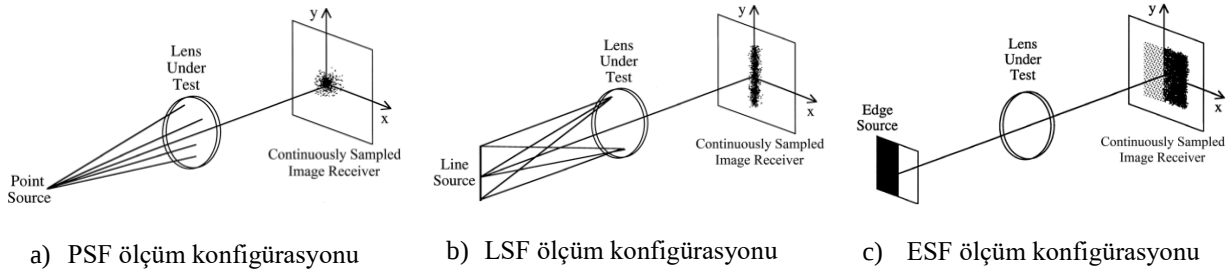
Bu kapsamda yapılan çalışmalarda RASAT, Göktürk 1 ve Göktürk 2 uyduları için metrik değerleri elde edilmiştir. (Atak vd. 2015, Turkmenoglu vd. 2013, Polat vd. 2019, Yalçın vd. 2017)

Bu çalışmada uydu elektro-optik sisteminin kalite metriklerini elde etme amacıyla MATLAB ortamında arayüz geliştirilmiştir. MTF ölçmek için Eğik Kenar Yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin detaylarına Bölüm 2.1.1'de yer verilmiştir. Uygulama CEOS CalVal Portalı (<http://calvalportal.ceos.org/>) tarafından sağlanan hem yapay hem de gerçek uydu kenar görüntülerinden oluşan veri seti üzerinde test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Bölüm 4'te açıklanmıştır.

2. METRİKLER

2.1 Modülasyon Transfer Fonksiyonu (MTF)

Mükemmel bir optik sistem bir nokta nesnenin nokta görüntüsünü oluşturma yeteneğine sahiptir. Gerçek görüntüleme sistemi bulanıklaştırma etkileri nedeniyle nokta olmayan dürtü yanıtına sahiptir. Nokta Dağılım Fonksiyonu (Point Spread Function-PSF), nokta kaynak girişine karşılık gelen görüntü düzlemi ışımasıdır (bkz. Şekil 1.a.). İdeal görüntü fonksiyonunun PSF ile konvolüsyonu görüntüleme sürecinin doğasında bulunan ayrıntı kaybını tanımlar. PSF ölçümünün en büyük dezavantajı, nokta kaynaklı nesnelerin algılanamayacak kadar az ışık akısı sağlamasıdır. Bu yüzden nokta kaynak yerine çizgi kaynak ile ölçüm yapılabilir. Eğer nokta yerine çizgi kaynaklı nesne kullanılırsa, karşılık gelen ışım Çizgi Dağılım Fonksiyonu (Line Spread Function-LSF) olacaktır (bkz. Şekil 1.b.). Çizgi kaynağındaki her nokta, görüntü düzleminde bir PSF üretir ve bunların toplamı LSF'yi verir. Kenar Dağılım Fonksiyonu (Edge Spread Function-ESF)'nda da nesne olarak bıçak kenarı olarak adlandırılan adım fonksiyonu kullanılır (bkz. Şekil 1.c.). PSF, LSF, ESF arasında en fazla ışık akısı sağlayan ESF yöntemidir (Boreman, 2001).



Şekil 1. PSF, LSF ve ESF için ölçüm konfigürasyonları (Boreman, 2001)

Bu çalışmada MTF'i ölçmek için kenar hedefi kullanıldığı için ilk olarak ESF elde edilir. ESF'den Optik Transfer Fonksiyonu (OTF) elde edilir. OTF hem büyüklüğe hem de faz kısmına sahip karmaşık bir fonksiyondur. OTF'nin büyüklüğüne MTF, faz kısmına ise Faz Transfer Fonksiyonu (PTF) denir. Bu çalışmada MTF üzerine yoğunlaşılmıştır.

MTF'i doğru bir şekilde tanımlamak için, önce çözünürlük ve kontrast terimlerini tanımlamak gereklidir. Çözünürlük, bir görüntüleme sisteminin nesne ayrıntılarını ayırt etme yeteneğidir. Sadece optiğe değil dijital görüntülemelerde kullanılan pikselin boyutuna ve bir sistemin ne kadar odaklandığına (bulanıklığa) da bağlıdır. Genellikle milimetre başına çizgi çiftleri cinsinden ifade edilir. Şekil 2'de gösterildiği gibi bir çizgi çifti, bir siyah çizgi ve bir beyaz çizgi dizisidir.

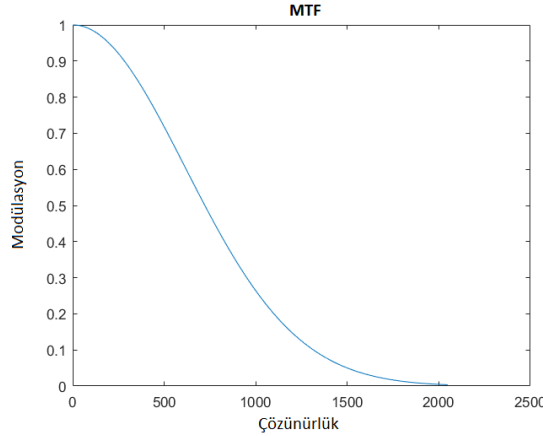


Şekil 2. Çizgi çiftleri

Kontrast, belirli çözünürlükte siyahın beyazdan ne kadar iyi ayırt edilebileceğidir. Kontrast maksimum ve minimum piksel yoğunluğu kullanarak Denklem 1'deki gibi hesaplanır.

$$\% \text{ Kontrast} = \frac{(I_{\max} - I_{\min})}{(I_{\max} + I_{\min})} \times 100 \quad (1)$$

MTF görüntüleme sisteminin kontrast iletim yeteneğinin ölçüsüdür. Bir merceğin MTF'i, adından da anlaşılacağı gibi, belirli bir çözünürlükte kontrastı nesneden görüntüye aktarma yeteneğinin bir ölçümüdür. Başka bir deyişle, MTF, Şekil 3'teki grafikte görüldüğü gibi çözünürlüğü ve kontrastı tek bir değerlendirmede birleştirmenin bir yoludur.



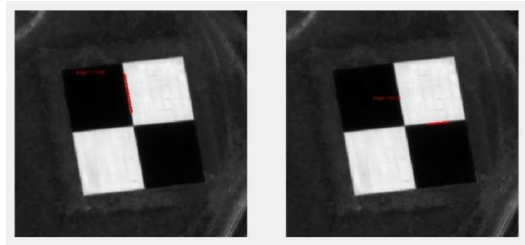
Şekil 3. Modülasyon-Çözünürlük eğrisi, MTF

2.1.1 Eğik Kenar Yöntemi

MTF yani görüntü keskinliğini ölçmek için %10-90 yükselme mesafesi tekniği, eğik kenar algoritması gibi çeşitli yöntemler kullanılır. %10-90 yükselme mesafesi tekniğindeki yükselme mesafesi değeri, piksel değerinin %10'undan %90'ına gitmesi için gereken değerdir. Bu teknik yetersiz görüldüğü için bu çalışmada Eğik Kenar Yöntemi uygulanmıştır. Eğik Kenar Yöntemi, ISO 12233 ve IEEE dahil olmak üzere uluslararası standartlar tarafından benimsenen bir yöntemdir. ISO 12233, geleneksel dijital kameralarda çözünürlük ölçümleri yapmak için terminolojiyi, test çizelgelerini ve test yöntemlerini tanımlayan standarttır.

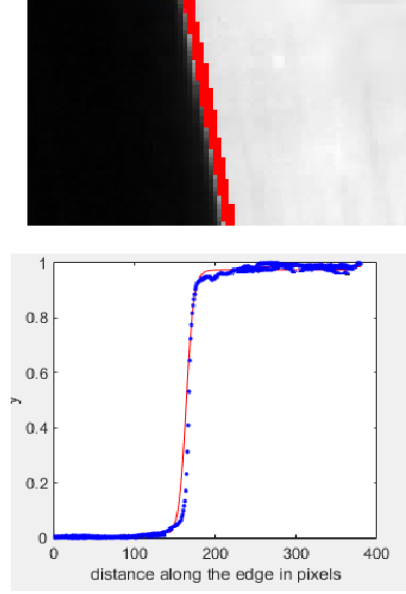
Bu yöntemin adımları sırasıyla şu şekildedir (Crespi ve Vendictis, 2009):

- 1) Algoritmada ilk olarak hedefteki her satır için DN (Digital Number) değerleri kullanılarak satır satır kenar konumları belirlenir. Yaklaşık olarak kenarın bulunduğu pikseli saptamak için maksimum eğimi hesaplamak gerekir. Bu pikseller belirlendikten sonra En Küçük Kareler yaklaşımı ile kenar konumları bir düz çizgi ile sabitlenir. Şekil 4'teki gösterilen görüntüde kenar tespit edilmiş ve görüntü üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. Kenar Tespiti

- 2) Bulunan kenara dik bir çizgi oluşturulur. Kenar geçişi etrafındaki her nokta dik çizgiye yansıtılır. Bu işlem her satır için tekrarlanır. Bunun sonucunda ESF elde edilir ve sigmoid fonksiyonu ile fit edilir. Şekil 5'teki ESF grafiğinde mavi ile gösterilen noktalar kenar geçişi etrafındaki noktaları gösterirken kırmızı ile gösterilen eğri, sigmoid fonksiyonu ile fit edilmiş halini gösterir.

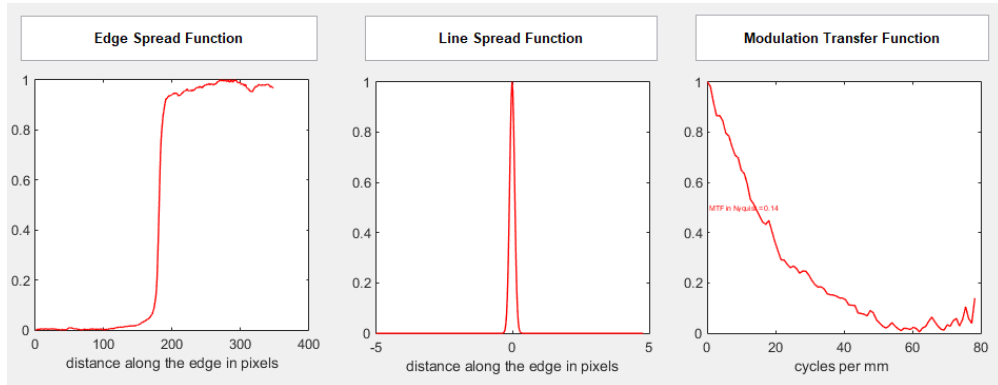


Şekil 5. ESF'nin elde edilmesi

- 3) ESF'nin Denklem 2'deki gibi türevi sonucu Çizgi Dağılım Fonksiyonu (Line Spread Function-LSF) elde edilir.

$$LSF(x) = \frac{d [ESF(x)]}{dx} \quad (2)$$

- 4) LSF'nin Fourier dönüştürülmesi ve sıfır uzaysal frekansta bir birim değere sahip olacak şekilde normalize edilmesiyle MTF elde edilir. Fourier dönüşümü ile uzaysal frekanslar açısından hangi frekansların bulunduğu saptanır. Şekil 6'da ESF, LSF ve MTF grafikleri verilmiştir.



Şekil 6. ESF, LSF, MTF grafikleri

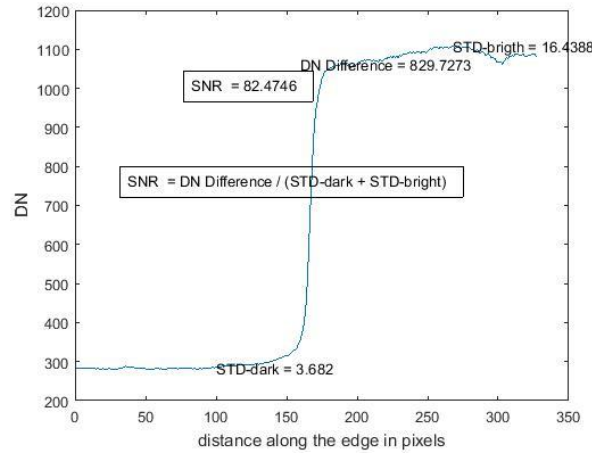
MTF'in değeri olarak, bir sensör tarafından çözülebilen en yüksek frekans olan Nyquist frekansındaki değeri alınır. Nyquist frekansı Denklem 3'teki gibi hesaplanır. Örnekleme uzamsal frekansı, piksel aralığının karşılığına eşittir ve Nyquist frekansı tanım olarak örnekleme uzamsal frekansının yarısıdır. Uzaysal frekans birimleri, lp/mm (mm başına çizgi çiftleri), LW/PH (resim yüksekliği başına çizgi genişlikleri), C/P (piksel başına döngü) gibidir. Nyquist frekansı 0.5 döngü/piksel'dir.

$$f = \frac{1}{(2 * p)}, \quad p: \text{piksel aralığı} \quad (3)$$

2.2 Sinyal-Gürültü Oranı

Gürültü, görüntü yoğunluğunun rastgele bir değişimidir. Genellikle görüntü gürültüsü, bir tip yüzeyin piksellerinin aynı Dijital Sayıya (Digital Number-DN) sahip olması gereken homojen alanlarda DN'nin standart sapması alınarak tahmin edilir. SNR, gürültü türünden bağımsız bir ölçüdür, ancak parametrenin kullanılabilirliği gürültü türüne çok bağlıdır. SNR, rastgele ve düzgün dağılmış gürültüde yararlıdır, ancak diğer doğrusal olmayan gürültülere sahip görüntülerde kötü sonuçlar verebilir.

Bu çalışma da SNR'ın elde edilmesinde MTF tahmini için kullanılan kenar görüntüsü kullanıldı. Şekil 7'de gösterildiği gibi görüntüden seçilen kenarın siyah ve beyaz pikselleri arasındaki DN farkı hesaplanıp siyah kısmının ve beyaz kısmının standart sapmasının toplamına bölünmesiyle SNR değeri elde edildi (Choi ve Helder, 2005).



Şekil 7. SNR tahmini

2.3 Genel Görüntü Kalite Denklemi

GIQE, Yer Örnekleme Mesafesi (GSD), Göreceli Kenar Yanıtı (RER), Kenar Aşımı (H), Sinyal- Gürültü Oranı (SNR) ve Gürültü Kazancı (G) değerlerini kullanarak Çizelge 1'de gösterilen NIIRS seviyesini belirler.

Çizelge 1. NIIRS derecelendirme seviyelerinin özeti (NIIRS)

NIIRS Seviyesi	Açıklama
Seviye 0	Görüntünün yorumlanabilirliği, bozulma veya çok düşük çözünürlük nedeniyle engellenmiştir. (Yorumlanamaz.)
Seviye 1	Orta büyüklükteki bir liman tesisini tespit edilebilir ve büyük bir havaalanındaki taksi yolları ile pistleri ayrt edilebilir.
Seviye 2	Hava alanlarındaki büyük hangarları, askeri eğitim alanları, hastaneler, fabrikalar gibi büyük binalar tespit edilebilir.
Seviye 3	Demiryolundaki trenleri veya standart vagon dizileri tespit edilebilir. Limandaki büyük bir yüzey gemisini türüne göre tanımlanabilir.
Seviye 4	Savaş uçakları türüne göre tanımlanabilir. Büyük bireysel radar antenlerinin varlığı tespit edilebilir.
Seviye 5	Tek tek vagonları türe göre tanımlanabilir.
Seviye 6	Küçük-orta helikopter modelleri arasında ayrım yapılabilir. Otomobiller sedan veya istasyon vagonu olarak tanımlanabilir.
Seviye 7	Savaş uçağı boyutundaki bir uçaktaki donanımlar ve kaplamalar tanımlanabilir. Tanksavar güdümlü füzeler için yuva tespit edilebilir.
Seviye 8	Bir araç ön cam silecekler kadar tanımlanabilir.
Seviye 9	Füze bileşenlerindeki vidalar ve civatalar tanımlanabilir. Araç kayıt numaraları tanımlanabilir.

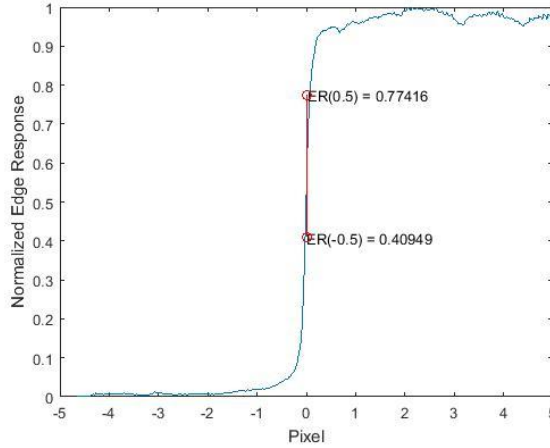
GSD, bir pikselin yer yüzünde ifade ettiği alanı göstermektedir. GSD değeri ne kadar büyükse, görüntünün çözünürlüğü o kadar düşük olur, ayrıntılar daha az görünür. Denklem 4'te verildiği gibi hesaplanır (Valenzuela ve Reyes, 2019).

$$GSD = \frac{(d * H)}{(F)}$$

d : dedektörün piksel aralığı,
 H : uçuş yüksekliği,
 F : odak uzaklığı

(4)

RER, kenardan yarım piksel uzaklıkta bulunan iki nokta arasında ölçülen normalleştirilmiş sistem Kenar Yanıtı (ER) eğimidir. Bir görüntüleme sisteminin bir piksel üzerindeki kontrast değişikliğine nasıl tepki verdiğini temsil eder yani görüntünün keskinliğini ölçer. Şekil 8’de gösterildiği ilk olarak hem yatay hem dikey yönde ER (0.5) ve ER (-0.5) hesaplanır.



Şekil 8. ESF’den RER tahmini için ER eldesi

Daha sonra Denklem 5’de verildiği gibi RER hesaplanır.

$$RER_{GM} = \sqrt{[ERx(0.5) - ERx(-0.5)] * [ERy(0.5) - ERy(-0.5)]} = \sqrt{RERx * RERy}$$

ERx : yatay kenar için ER değeri,

ERy : dikey kenar için ER değeri,

RER_{GM} : göreceli kenar yanıtının geometrik ortalaması

(5)

Atmosferik saçılma ve elektronik gibi etkilerin neden olduğu MTF kaymasını düzeltmek için Modülasyon Transfer Fonksiyonu Telifisi (MTF Compensation – MTFC) uygulanarak görüntünün keskinleştirilmesi sağlanır. MTFC görüntünün keskinliğini artırırken gürültüyü de artırır. H yani kenar aşımı, görüntü keskinleştirme sonrası normalize edilmiş kenar yanıtının tepe değeri olarak bulunur. G , görüntü keskinleştirmenin gürültüyü artırması sonucunda bulunur. Denklem 6’da verildiği gibi uygulanan filtre kullanarak hesaplanır.

$$G = \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (kernel_{ij})^2}$$

(6)

GIQE 3, GIQE 4 ve GIQE 5 gibi farklı versiyonları vardır. GIQE 4, RER_{GM} değerinin 0.9’den küçük olduğu durumda 4a, büyük ve eşit olduğu durumda 4b şeklinde ayrılmıştır. Bu çalışmada tüm versiyonları hesaplanmıştır. GIQE 3 ve GIQE 4 için NIIRS Denklem 7a, GIQE 5 için Denklem 7b’deki gibidir (Valenzuela, Reyes, 2019).

$$NIIRS = A + B * \log(GSD_{GM}) + C * \log(RER_{GM}) + (D * H_{GM}) + \left(E * \frac{G}{SNR}\right)$$

(7a)

$$NIIRS = A + B * \log(GSD_{GM}) + C * \left[1 - \exp\left(-\frac{D}{SNR}\right)\right] * \log(RER_{GM}) + E * \log(RER_{GM})^4 + \left(\frac{F}{SNR}\right)$$

(7b)

Yukarıda verilen denklemlerdeki A, B, C, D, E değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Denklem de GSD, RER ve H’nin geometrik ortalaması kullanılmıştır. GSD değeri inç cinsindendir.

Çizelge 2. GIQE denklemleri için katsayılar (Valenzuela ve Reyes, 2019).

Denklem	A	B	C	D	E	F
GIQE 3	11.81	-3.32	3.32	-1	-1.48	-
GIQE 4a	10.25	-3.16	2.88	-0.344	-0.656	-
GIQE 4b	10.25	-3.32	1.56	-0.344	-0.656	-
GIQE 5	4.274	-3.32	3.32	-1.9	-2.0	-1.8

GIQE tahminlerinde GSD ve RER parametreleri baskın rol oynar. Diğer H, G ve SNR parametrelerinin GIQE değerinde az etkileri vardır. Bu parametrelerin alabileceği minimum ve maksimum değerler Çizelge 3’te verilmiştir (Valenzuela ve Reyes, 2019).

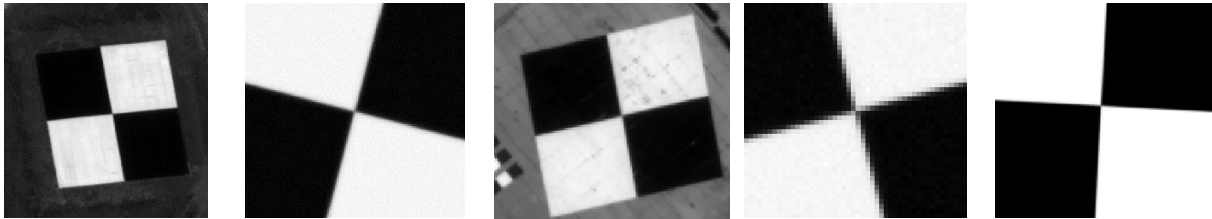
Çizelge 3. GIQE parametreleri için minimum ve maksimum değerler (Valenzuela ve Reyes, 2019).

Parametre	Minimum	Maksimum
GSD	3 inç	80 inç
RER	0.2	1.3
G	1	19
SNR	2	130
H	0.9	1.9

3. VERİ VE UYGULAMA

3.1 Veri Seti

MTF belirlenmesinde sinüs dalgası hedefi, çubuk hedefi, kenar hedefi kullanılabilir. Her hedef tipinin kendi avantajları ve dezavantajları vardır. Bu çalışmada yapılan testlerde Şekil 9’da gösterildiği gibi siyah beyaz kare panellerden oluşan kenar hedefleri CEOS CalVal Portalı (<http://calvalportal.ceos.org/>) görüntüleri kullanılmıştır. Bu görüntüler gerçek uydu görüntülerinden elde edilen görüntüler ve yapay simüle edilmiş görüntülerden oluşur.



Şekil 9. CEOS CalVal Portalı referans veri seti

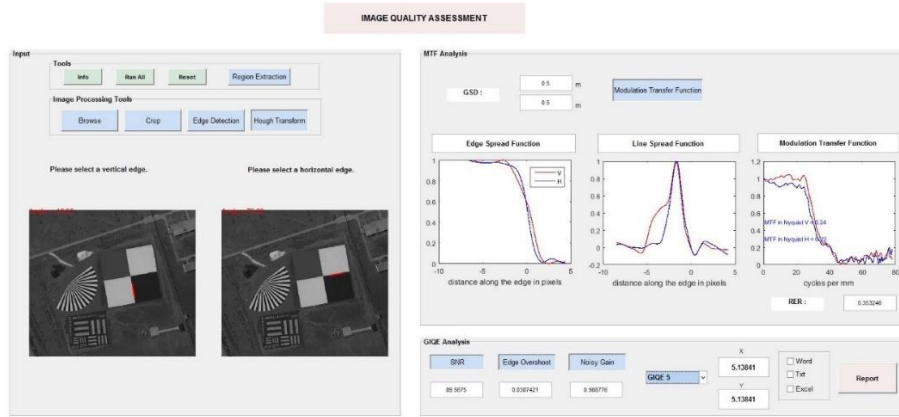
Fırlatma sonrası hedef tiplerinde MTF ölçümü yapılabilmesi için genellikle Yer Gözlem Uyduları Komitesi (CEOS)’nin belirlediği test sahaları kullanılmaktadır (Spatial Sites Catalog). Bu test sahalarının bazıları Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10. Google Earth’den elde edilmiş sırasıyla Bautou, Big Spring, Salon de Provence, Shadnagar, Stennis görüntüsü

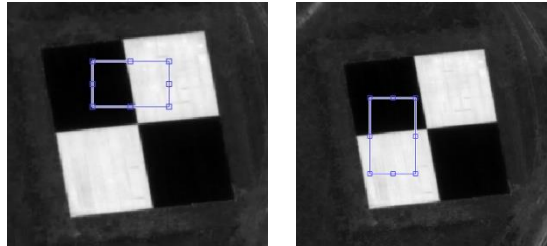
3.1 Uygulama

Bu çalışma kapsamında, uydu elektro-optik sisteminin kalite metriklerini elde etme amacıyla geliştirilen uygulamanın arayüzü Şekil 11'deki gibidir. Arayüzde görüldüğü gibi ESF, LSF, MTF, SNR, GIQE, RER, H ve G değerlerinin tahmini sağlanmıştır.



Şekil 11. Uygulama Arayüzü

Arayüzde görüntü seçiminden sonra kullanıcıdan analiz edilecek görüntüden dikdörtgen bir ilgi alanı (ROI) seçmesi beklenir. Şekil 12'deki gibi ROI, yatay ve dikey eksenle seçilerek görüntüden yeteri kadar örneklenmiş bir kenar görüntüsünü kapsamalıdır. ROI seçimi bu bağlamda çok önemlidir ve her değişik seçimde farklı sonuçlar almamıza sebep olmaktadır. ROI seçiminden sonra "Edge Detection" butonu ile görüntü kenar tespiti için filtreden geçirilir ve "Hough Transform" ile tam kenarın olduğu yer bulunup işaretlenir. Daha sonra girilen piksel aralığı değerlerine göre ESF, LSF, MTF grafikleri çizdirilir ve girilen GSD değerine göre GIQE gibi diğer parametreler hesaplanıp arayüzde sonuçları yazılır.



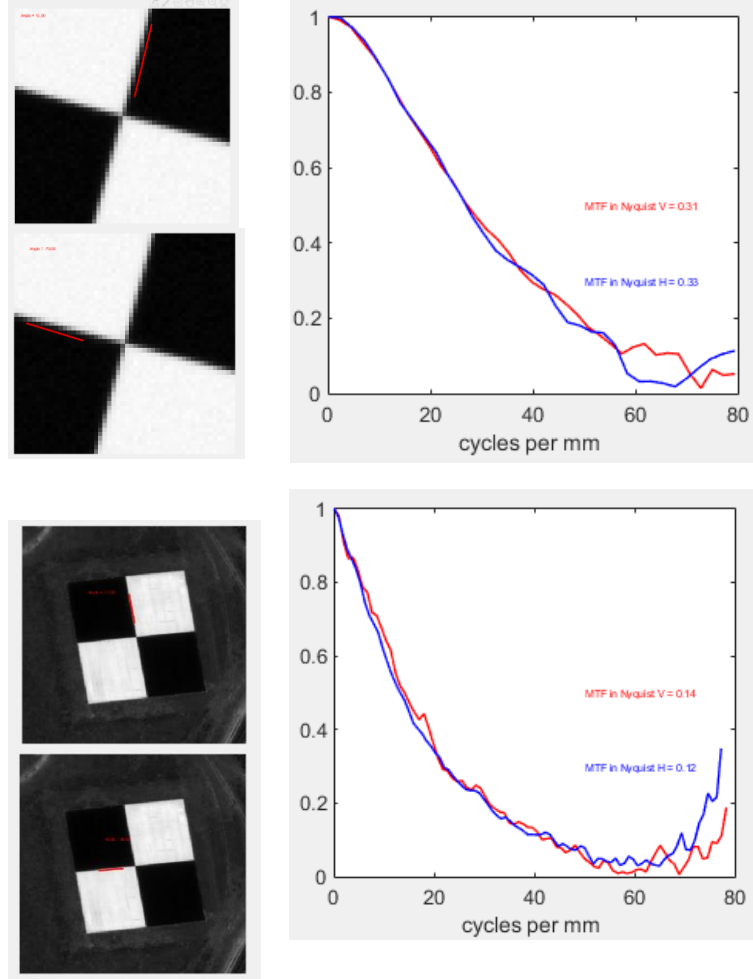
Şekil 12. ROI seçimi

GIQE değeri için önemli bir parametre olan GSD değerinin elde edilen sabit SNR ve RER sonuçlarına göre GIQE'nin değerine etkisi Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelge 4'te verilen ölçümler ön işlemesi yapılmış görüntüler ile gerçekleştirildiği için ham görüntülerde farklı sonuçlar alınabilir.

Çizelge 4. GSD değerinin GIQE değerine etkisi

Görüntü	SNR	RER	GSD (m)	GIQE 3	GIQE 4	GIQE 5
	89.9	0.39	0.1	8.44	7.20	7.49
			0.5	6.12	4.99	5.16
			1	5.12	4.04	4.17
			2	4.12	3.09	3.17

Piksel aralığı 13 µm alınarak elde edilen bazı sonuçlar Şekil 13'teki gibidir.



Şekil 13. MTF Sonuçları

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada uydu elektro-optik sisteminin kalite metrikleri hesaplanmıştır. Bu kapsamda görüntü keskinliğini değerlendirmek için MTF, gürültü oranını belirlemek için SNR, genel görsel algılama yeteneğini ölçmek için GIQE değerleri elde edilmiştir.

MTF, bir sistemin kontrast ve çözünürlük açısından genel görüntüleme performansını ifade eden önemli parametrelerdendir. MTF'i elde etmek için Eğik Kenar Yöntemi uygulanmıştır. Uygulama arayüzünde gösterildiği gibi bu yöntemde ROI seçimiyle eğik kenar görüntüsü kullanılır. Kenar görüntüsünden ilk olarak ESF elde edilir. ESF'nin türevi ile LSF ve LSF'nin Fourier dönüştürülmesi ve sıfır uzamsal frekansta bir birim değere sahip olacak şekilde normalize edilmesiyle OTF'nin büyüklüğü olan MTF elde edilir.

SNR değerinin elde edilmesi için kenar görüntüsünün siyah ve beyaz piksellerinin DN değerleri kullanılır. SNR ile görüntü gürültü oranı elde edilir.

GIQE değeri SNR, RER, GSD, H, G değerlerini kullanarak görüntünün, görüntülerden elde edilebilecek bilgi miktarının belirlendiği, NIIRS ölçeğini belirler.

TÜBİTAK UZAY Enstitüsü'nde geliştirilen görüntü kalitesi yazılımı ile uydu görüntülerine ait çeşitli metrikler ölçülebilmekte olup bunların analizi yapılabilmektedir. Bu yazılım ile MTF, SNR, GSD, GIQE ölçülebilmekte ve raporlanabilmektedir. Bu metrikler uzaktan algılama uygulamaları için uygun görüntü seçimi sürecinde kullanılarak en optimum görüntü seçimi sağlanabilir. Geliştirilen yazılım uydu görüntü kabul testlerinde kullanılabilecektir.

KAYNAKLAR

- Atak, V. O., Erdoğan, M., Yılmaz, A.,** 2015. Göktürk-2 uydu görüntü testleri. *Harita Dergisi*, 81(2), 18-33.
- Boreman, G. D.,** 2001. *Modulation Transfer Function in Optical and Electro-Optical Systems*, 1.basım, SPIE PRESS, USA. 118
- Choi, T., Helder, D.,** 2005. Generic Sensor Modeling For Modulation Transfer Function (MTF) Estimation
- Choi, T.,** 2002. IKONOS Satellite On Orbit Modulation TransferFunction Measurement using Edge and pulse Method. *Doktora Tezi*. South Dakota State Üniversitesi, Brookings, USA.
- Crespi, M., Vendictis L.D,** 2009. A Procedure for High Resolution Satellite Imagery Quality Assessment, *Sensors*
- MTF**, Introduction to Modulation Transfer Function, <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/optics/introduction-to-modulation-transfer-function/> [Erişim tarihi: 10.08.2021].
- NIIRS**, National Image Interpretability Rating Scales, <https://irp.fas.org/imint/niirs.htm> [Erişim tarihi: 10.08.2021].
- Polat, H. C., Atak, V. O., Turkish, İ. E. K., Gürçay, E., Gültekin, F. G., Yanteri, E. E.,** 2019. Satellite imagery calibration and quality assessment tests: Göktürk-L case study. 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST) (pp. 805-811). IEEE.
- Spatial Sites Catalog**, https://calval.cr.usgs.gov/apps/spatialsites_catalog/ [Erişim tarihi: 10.08.2021].
- Turkmenoglu, M., Yaglioglu, B.,** 2013. On-Orbit Modulation Transfer Function Estimation for RASAT, 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), Istanbul, Türkiye.
- Valenzuela, A. Q., Reyes, J. C. G.,** 2019. COMPARATIVE STUDY OF THE DIFFERENT VERSIONS OF THE GENERAL IMAGE QUALITY EQUATION. *ISPRS Kongresi - International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Informaton Sciences, Enschede, Hollanda*
- Valenzuela, A. Q., Reyes, J. C. G.,** 2019. Basic Spatial Resolution Metrics for Satellite Imagers. *IEEE Sensors*, 19(13): 4914-4922.
- Yalçın, İ., Kocaman, S.,** 2017. Investigations on the Radiometric and Geometric Quality of RASAT Pan Imagery.