

# UZAKTAN ALGILAMA UYDU GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ İÇİN SİNYAL GÜRÜLTÜ ORANI HESAPLAMA YÖNTEMİ

**Mustafa TÜRKMEÑOĞLU\*, Orhan ŞENGÜL\* ve Erdem DEMİRCİOĞLU\*\***

\*TUBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, ODTÜ Yerleşkesi, 06531, ANKARA

\*\*Ankara Üniversitesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, Tandoğan, ANKARA

[mustafa.turkmenoglu@uzay.tubitak.gov.tr](mailto:mustafa.turkmenoglu@uzay.tubitak.gov.tr), [drorhansengul@gmail.com](mailto:drorhansengul@gmail.com), [demircioglu@ankara.edu.tr](mailto:demircioglu@ankara.edu.tr)

(Geliş/Received: 06.03.2013; Kabul/Accepted: 08.04.2013)

## ÖZET

Sinyal Gürültü Oranı (SGO) uydu görüntüleme sistemlerinde görüntü kalitesi ile radyometrik performansı birbirine bağlayan bir ölçüt olarak kullanılır ve uzaktan algılama uydu görüntüleme sistemlerinde görüntü kalitesini gösteren parametrelerden birisidir. Uzaktan algılama uydu görüntü sistemi tasarım aşamasında SGO hesaplamalarının ve analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu hesaplama ve analiz çalışmaları tasarıma yön verilmesi ve tasarımın doğrulanması için önem taşımaktadır. Tasarlanan optik görüntüleme sistemine kaliteli bir görüntü oluşturabilecek ışık akısının ulaştığı ve ulaşan bu ışık akısının sensör üzerinde yeteri kadar elektron oluşturduğu gösterilmelidir. Bu çalışmada alçak irtifa yörüngesinde görev alan yakın kızıl ötesi bantta çalışan bir uydu görüntüleme sisteminin spektral ve toplam ışık akı miktarı hesaplaması yapılarak SGO analizi sunulmuştur. Optik sistemin görüntü kalitesinin tasarım aşamasında tahmin edilebilmesi ve optik giriş açıklık çapının belirlenmesi için sensöre gelen ışık miktarının hesaplanması ve SGO analizinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada uzaktan algılama uydu görüntüleme sistemleri için yer yüzünden yansıyor atmosferi geçerek görüntüleme sensörünün bir pikseline oluşan toplam elektron sinyali miktarı hesaplama yöntemi verilmiş ve SGO analizi yapılmıştır. Önerilen SGO analiziyle optik görüntüleme sisteminin 2,5 milisaniye görüntü alma süresince düşük kapasitans modda çalıştırılmasıyla sensörün bir pikselinin %28,2'i elektronlarla dolduğu, kazancın 0,56 V ve SGO'nun 861 olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Uzaktan algılama, Optik görüntüleme, Sinyal gürültü oranı (SGO), Uydu alt-sistemi

## SNR CALCULATION METHOD FOR REMOTE SENSING SATELLITE IMAGING SYSTEMS

### ABSTRACT

Signal to Noise Ratio (SNR) is a metric used to link the image quality and radiometric performance of the remote sensing imaging systems. It is one of the remote sensing imaging system's design parameters that represents the image quality. SNR calculation and analysis should be carried out at design phase of remote sensing imaging systems. This calculation and analysis are crucial for confirmation of design success. It is important to show that the light flux reaching the sensor and the generated electrons on sensor is enough to create a high quality image. In this paper, the spectral and total light flux power calculations are presented and SNR analysis in near infrared wavelength region for a remote sensing imaging system used at low earth orbit is demonstrated. Light flux power calculation and SNR analysis are necessary for designing an optical imaging system. The amount of light flux entering to the sensor should be calculated. SNR should also be analyzed to determine the entrance baffle diameter and estimate the image quality of the optical imaging system. The proposed method provides 28.2% electrons filling ratio per pixel, 0.56 V gain and the SNR of 861 for the 2.5 ms operation of the optical system.

**Keywords:** Remote sensing, Optical imaging, Signal to noise ratio, Satellite subsystem

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son zamanlarda güvenlik ve savunma ihtiyacı gereği dünya üzerindeki hedef bölgeleri gözlemlemek amacıyla uzaktan algılama uydu görüntüleme sistemlerine ilgi artmıştır. Bu tür görüntüleme sistemlerini tasarlarırken yapılması gereken ilk ve en önemli adım optik sisteme ulaşan ışık miktarının hesaplanması ve görüntüleme sisteminin SGO analizinin yapılmasıdır. Sisteme ulaşan ışık miktarı ve sistemin SGO değeri sistemin performansının belirlenmesine yardımcı olur. SGO elektro-optik görüntüleme sistemlerinin performanslarının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla ışık miktarı hesaplamaları ve SGO analizi literatürde incelenmiştir [1-3]. Sistem SGO'nu hesaplamak için, simule edilmiş atmosferden gelen sinyal miktarı, optik geçirgenlik ve elektronik gürültü dikkate alınmalıdır [4-6].

Uzaktan algılama sistemlerinde SGO'nu tanımlarken yapılması gereken ilk adım sinyal ve gürültü miktarlarını analiz etmektir. Bu analiz için optik sistemin, optik kısım ve odak düzlemi üzerinde yer alan dijital lineer sensörden oluştuğu varsayılmıştır. Dijital görüntüde oluşan aydınlanma güneşten gelen ve yeryüzünden yansıyan ışınların spektral radyansından türetilir. Sensör üzerindeki her pikselin dijital değeri hedef radyans tarafından üretilen sinyal miktarına bağlıdır [1]. Hedef radyans hesaplaması aydınlanma geometrisine bağlı ve karmaşık olduğu için spektral radyans hesaplamalarında genellikle MODTRAN [7,8] (MODerate resolution atmospheric TRANsmision) ve 6S [9] (Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum) gibi programlar kullanılır [10,11]. Hedefin spektral radyansı güneşin hedefi aydınlatma miktarına ve hedefin kara cisim (blackbody) ışımasına bağlıdır. Sinyal güç oranı elektro-optik görüntüleme sistemlerinde sistem performansını belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir parametredir. Optik görüntüleme sisteminin performans ihtiyaçları aynı zamanda SGO ile birlikte modülasyon transfer fonksiyonu (MTF) ile de tanımlanır [12,13] ve bu iki parametre tasarım aşamasında sistem ihtiyaçlarına göre dikkate alınır. Işık miktarı hesaplaması ve SGO analizi doğrudan sinyal miktarını belirleyen optiğin giriş açıklığına, optik sistemde oluşan optik kayıplara (geçirgenlik, yansıma ve engeller) ve sensörün kuantum verimliliğine bağlıdır.

Bu çalışmada, yakın dünya yörüngesinde görev yapacak yakın kızıl ötesi bantta çalışan bir optik görüntüleme sistemi için ışık miktarının hesaplaması ve SGO analizi tasarımı aşamasında gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntem ile optik sistem tasarımcılarının yüksek doğruluk oranıyla basit ve hızlı analiz yapılabilmesini sağlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEMLER (MATERIAL AND METHODS)

Işık miktarı hesaplaması ve SGO analizi yapılan optik sistem, yakın kızıl ötesi bantta çalışan ve odak düzlemi lineer çizgi dedektörden oluşan Ritchey Chretien tipi bir teleskoptan oluşmaktadır. Optik ve dedektör tasarım parametreleri simulasyonda kullanılan görüntüleme koşullarıyla birlikte Tablo 1'de verilmiştir. Optik görüntüleme sistemi 20 m yer örnekleme mesafesi (Ground Sampling Distance, GSD) sağlayacak ve güneş eş zamanlı dairesel yörüngede görev yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Optik sistemde piksel büyüklüğü 25 x 25 µm olan ve 1024 pikselden oluşan lineer sensör kullanılmıştır. Sensörün piksel miktarı optik şerit (swath) uzunluğunu belirlemektedir. Uydunun hareketi boyunca bu optik şerit alanından görüntü alınmaktadır. Görüntü alma (integration) süresi bir görüntü çizgisinin taranma frekansı ile ters orantılıdır.

**Tablo 1.** Optik ve dedektör parametreleri

<b>Optik açıklık çapı</b>	135 mm
<b>Spektral Bant</b>	0,75 µm- 1,7 µm
<b>Geçirgenlik</b>	0,75 (engellemeler dahil)
<b>Dedektör Piksel Boyutu</b>	25 µm x 25 µm
<b>Yörünge Yüksekliği</b>	700 km
<b>Bakış Açısı</b>	0° (nadir açısı, yer yüzüne dikey)
<b>Atmosfer</b>	US Standard 62 Model, 23 km görünürlük
<b>Yer Örnekleme Mesafesi (GSD)</b>	20 m
<b>Swath</b>	20480 m
<b>Biriktirme (Integration) süresi</b>	2,5 ms

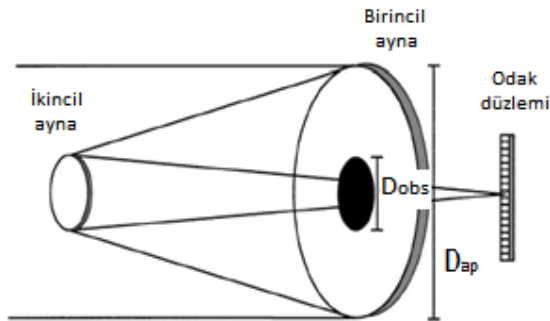
Sinyal ve gürültü miktarının hesaplanabilmesi için, dedektöre ulaşan sinyal miktarı ve sistemin içinden kaynaklanan gürültünün hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışmada sinyal miktarı 6S programı kullanılarak hesaplanmıştır. 6S programı atmosferik spektral sönmülemeleri ve sensör ile hedef arasındaki görüş mesafesini dikkate alarak atmosferik modelleme yapan bir programdır. Kullanıcı giriş parametreleri kullanılarak belirlenmiş senaryoların radyansları 6S programının çıktısı olarak hesaplanabilir. Görüntülenecek hedef bölgenin spektral radyansı güneşin açısı, atmosferik geçirgenlik, uzaktan algılama sisteminin görüş geometrisi ve hedef yansıtıcılık değeri gibi parametrelere bağlıdır [1]. 6S programı bulutsuz bir atmosferde 0,25 ile 4 mikrometre bant aralığında uyduya ulaşan sinyalleri öngörebilmektedir. Bu program su buharı ve karbon

diyoksit gazları tarafından emilen ışık miktarı ve ozon moleküllerinden yansıyan ışık miktarı gibi atmosferik etkileri göz önünde bulundurarak radyans hesaplaması yapmaktadır. Aynı zamanda düzgün olmayan yüzeyleri ve çift yönlü yansımaları dikkate alarak hesaplama yapmaktadır. Radyans hesaplaması için kullanılan girdi parametreleri aşağıda verilmiştir.

- Geometrik durumlar
- Gaz bileşenler için atmosferik model
- Aerosol model (tipi ve yoğunluğu)
- Spektral durum
- Hedef ve sensör irtifası
- Yer yüzü yansıtıcılık değeri (tipi ve spektral değişimi)

Spektral mutlak radyans değerinin elde edilip, optiğin giriş açıklığına karşılık gelen katı açı ve görüş alanı (FOV) ile çarpılmasıyla giriş açıklığına ulaşan spektral ışık miktarı elde edilir. Spektral mutlak radyans, katı açı ve yer örnekleme mesafe alanıyla çarpıldığında sensörün bir pikseline ulaşan spektral ışık miktarı hesaplanır.

Optik görüntüleme sistemi 20 m x 20 m yer örnekleme mesafesi sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. 400 m<sup>2</sup> lik yer örnekleme mesafesi alanından yansıyan ışınlar sensörün bir pikseline ulaşmaktadır. Bu alandan gelen ışınlar atmosferi ve optik sistemi geçerek Şekil 1'de gösterildiği gibi sensörün bir pikseline ulaşır.



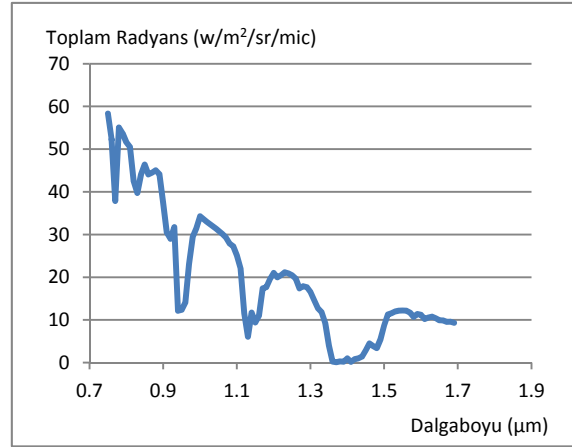
**Şekil 1.** Birincil, ikincil ayna ve lineer sensörden oluşan optik görüntüleme sistemi. ( $D_{obs}$ = optik engel çapı,  $D_{ap}$ = optik giriş açıklığı çapı) (Primary, secondary mirror and the linear sensor of optical imaging system,  $D_{obs}$ = optical obstruction radius,  $D_{ap}$ = optical entrance radius)

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Bu bölümde optik görüntüleme sisteminin giriş açıklığına ulaşan spektral ışık miktarı hesaplanarak, optik sensörün bir pikseline ulaşan spektral ışık akı gücü belirlenmiştir. Akabinde görüntü alma süresince sensörün bir pikseli üzerinde oluşan enerji

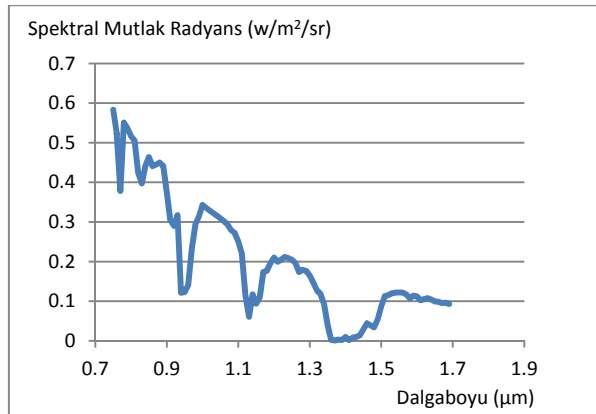
hesaplanarak bu piksel üzerindeki foton ve elektron sayıları bulunmuştur. Bulunan bu değerler SGO analizi için kullanılmıştır.

Radyans hesaplaması için kullanılan girdi parametreleri 6S programında kullanılarak 0,01  $\mu\text{m}$  aralıklarda 0,75  $\mu\text{m}$  ile 1,7  $\mu\text{m}$  dalga boyları arasında spektral radyans hesaplaması yapılarak Şekil 2'de sunulmuştur.



**Şekil 2.** Dalga boyuna göre toplam radyans (Total radiance vs. wavelength)

Şekil 2, 0,75  $\mu\text{m}$  ile 1,7  $\mu\text{m}$  dalga boyları arasındaki watt, birim yansıma alanı, katı açı, ve birim dalga boyu cinsinden spektral radyans değerini göstermektedir. Şekil 2'nin 0,01  $\mu\text{m}$  aralıklarla integrali alınarak hesaplanan mutlak radyans, Şekil 3'de verilmiştir.



**Şekil 3.** Spektral mutlak radyans (Spectral absolute radiance)

135 mm giriş açıklığına sahip optik sistemin, optik giriş açıklık alanı kullanılarak katı açı değeri  $2,92 \times 10^{-14}$  sr olarak hesaplanmıştır. Şekil 2'de verilen spektral mutlak radyansın, optik görüntüleme sisteminin katı açısı ve görüş alanı (FOV) ile

çarpılmasıyla optik giriş açıklığına ulaşan spektral ışık miktarı Şekil 4'de verilmiştir.



**Şekil 4.** Optiğin giriş açıklığına ulaşan spektral ışık gücü (Spectral light power reached to optical aperture entrance)

Optik görüntüleme sistemine sadece görüş alanından yansıyan ışınların ulaştığı kabul edilmiştir. Optik sistemin giriş açıklığına ulaşan toplam ışık miktarı Şekil 4'den 0,177 mW olarak hesaplanmıştır. Şekil 5'de optik görüntüleme sisteminde kullanılan sensörün bir pikseline ulaşan spektral ışık akı gücü verilmiştir.



**Şekil 5.** Sensörün bir pikseline ulaşan spektral ışık akı gücü (Spectral light power intensity reached at sensor per pixel)

Görüntü alma süresince sensörün bir pikseli üzerinde oluşan spektral enerji miktarının sensörün görüntü alma süresi ile çarpılmasıyla Şekil 6'da verilen sensörün bir pikseli üzerinde oluşan spektral enerji miktarı hesaplanabilir. Tasarlanan optik görüntüleme sistem sensörünün görüntü alma süresi 2,5 milisaniye olarak belirlenmiştir.



**Şekil 6.** Görüntü alma süresince sensörün bir pikseli üzerinde oluşan spektral enerji miktarı (Spectral energy generated per pixel during imaging)

Sensörün bir pikseli üzerinde oluşan fotonların spektral enerji miktarı fotonların spektral enerjisine bölündüğünde bir piksel üzerinde oluşan foton sayısı hesaplanabilir. Fotonların spektral enerjileri eşitlik 1 kullanılarak bulunabilir.

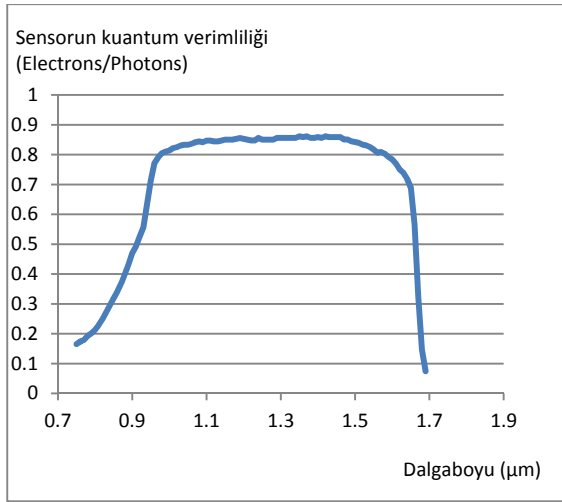
$$E(\lambda) = \frac{1,24}{\lambda} \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ joule} \quad (1)$$

Sensörün bir pikseli üzerinde oluşan spektral enerji miktarının spektral foton enerji değerlerine bölünmesiyle bulunan bir piksel üzerine düşen spektral foton sayıları Şekil 7'de verilmiştir.



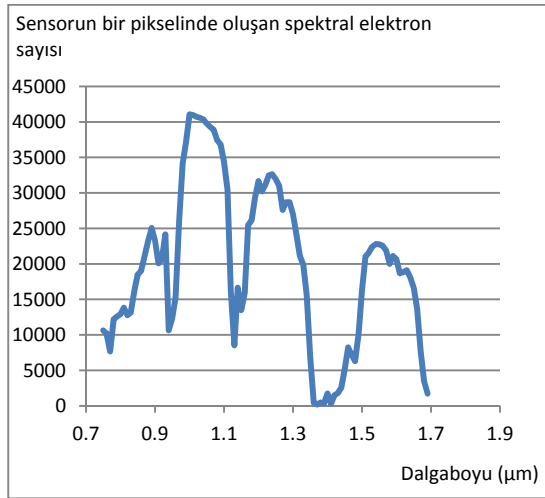
**Şekil 7.** Sensörün bir pikseli üzerinde oluşan foton sayısı (Number of photons generated over sensor per pixel)

Bir piksel üzerinde oluşan spektral foton sayısı ile sensörün kuantum verimliliği çarpıldığında sensörün bir pikselinde oluşan elektron sayısı hesaplanabilir. Bu tasarımda kullanılan sensörün kuantum verimliliği Şekil 8'de verilmiştir.



**Şekil 8:** Sensörün kuantum verimliliği (Elektron/Foton) (Quantum efficiency of the sensor, electron/photon)

Sensörün bir pikseli üzerinde oluşan foton sayısının, kuantum verimliliği ile çarpılmasıyla pikselde oluşan spektral elektron sayısı hesaplanmaktadır. Bu değer Şekil 9'da gösterilmiştir.



**Şekil 9:** Sensörün bir pikselinde oluşan spektral elektron sayısı (Spectral electron number on sensor per pixel)

Sensörün bir pikselinde oluşan toplam elektron sayısı Şekil 9'dan 1.883.134 olarak hesaplanmıştır. Optik geçirgenlik, optik yansıtıcılık ve optik engeller gibi kayıpların %25 olduğu dikkate alınarak. Sensörün bir pikselindeki toplam sinyal elektron sayısı 1.412.350 olarak hesaplanmıştır.

Sensörün yüksek ve düşük olmak üzere iki kapasitans modu bulunmaktadır. Yüksek kapasitans modda bir pikselin doyum yükü  $130 \times 10^6$  elektron, kazanç 15,4 nV/elektron ve okuma gürültüsü 10.000

elektron/ $\sqrt{\text{tarama}}$  olmaktadır. Düşük kapasitans modda bir pikselin doyum yükü  $5 \times 10^6$  elektron, kazanç 400 nV/elektron ve okuma gürültüsü 800 elektron/ $\sqrt{\text{scan}}$  olmaktadır.

Bu çalışmada SGO analizi düşük kapasitans moda göre gerçekleştirilmiştir. SGO analizinde elektronik ve çekim gürültüsü olmak üzere iki farklı çeşit gürültü dikkate alınmıştır. Çekim gürültüsü eşitlik 2 ile hesaplanabilir.

$$\text{ÇG} = \frac{N}{\sqrt{N}} = \sqrt{N} \quad (2)$$

ÇG: Çekim gürültüsü,

N: Elektron sayısını ifade etmektedir.

Toplam gürültü eşitlik 3 kullanılarak bulunur.

$$\text{TG} = \sqrt{\text{ÇG}^2 + \text{EG}^2 + \text{M}^2} \quad (3)$$

TG: Toplam gürültü,

EG : Elektronik gürültü,

M: Marjin olarak tanımlanmıştır.

SGO eşitlik 4 kullanılarak hesaplanır.

$$\text{SGO} = \frac{\text{Sinyal\_Elektron\_Miktarı}}{\text{Toplam\_Gürültü}} \quad (4)$$

Yapılan SGO analizine göre optik görüntüleme sisteminin 2,5 milisaniye görüntü alma süresince düşük kapasitans modda çalıştırılmasıyla sensörün bir pikselinin %28,2'i elektronlarla dolmaktadır. Kazanç 0,56 V ve SGO 861 olmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada yakın dünya yörüngesinde görev alabilecek yakın kızıl ötesi bantta görüntü alma kabiliyetine sahip optik görüntüleme sistemi için spektral ve toplam ışık gücü miktarı hesaplaması ve SGO analizi yapılmıştır. Sırasıyla, optik sistemin giriş açıklığına ulaşan yakın kızıl ötesi bantta spektral ve toplam ışık miktarı, sensörün bir pikseline ulaşan spektral ışık miktarı, görüntü alma süresince sensörün bir pikseline ulaşan spektral foton sayısı ve optik kayıplar dikkate alınarak sensörün bir pikselinde oluşan toplam elektron sayısı hesaplanmıştır. Son olarak SGO analizi gerçekleştirilmiş ve sunulmuştur. Sistemin SGO, optiğin giriş açıklığı alanı, bir piksele karşılık gelen yer örnekleme mesafe alanı, sensörün

görüntü alma süresi ve görüntülenen bölgenin radyansı ile orantılıdır.

SGO değeri, optiğin görüntü alma süresi, optiğin giriş açıklık çapı ve bir piksele karşılık gelen yer örnekleme mesafesinin artırılması ile geliştirilebilir. Optiğin giriş çapı azaltıldığında, doldurma faktörü (fill factor) ve sistemin genel ağırlığı azalmaktadır, fakat bu aynı zamanda sistemin SGO'nı da azaltmaktadır. Dolayısı ile görüntü kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Fırlatmadan sonra faydalı yükün kalitesini doğrulamak, gözlem verisinin kalitesini değerlendirmek, elde edilen verilere dijital filtreleme uygulamak ve verileri sayısal olarak analiz etmek için SGO hesaplamaları yüksek doğruluk ile uygulanmalıdır. Optik sistemin SGO analiz sonucuna göre optik sistem mühendisi optik görüntüleme sistemini tasarlayarak optiğin giriş açıklık çapını belirler ve görüntü işleyici optik sistemin görüntü kalitesini yorumlar.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Fiete, R. D. ve Tantaló, T., "Comparison of SNR Image Quality Metrics For Remote Sensing Systems", **Optical Engineering**, Cilt 40, No 4, 574-585, 2001.
2. Kim, T., Kim, H. ve Kim, H., "Image-Based Estimation and Validation of Niirs for High Resolution Satellite Images", Technical Note, **Department of Geoinformatic Engineering**, Inha University, Korea Aerospace Research Institute, Republic of Korea, 2012.
3. Hofér, S., Neumann, C. ve Skrbek, W., "SNR Estimation for Advanced Hyperspectral Space Instrument", **Proceedings of SPIE, Infrared Spaceborne Remote Sensing**, Cilt 5883, No 3, 1-7, 2005.
4. Braun, D. ve Alperovich, V., "Electro-Optical System Performance Analysis for Airborne and Spaceborne Photography", **Proceedings of SPIE, Airborne Reconnaissance**, Cilt 24, No 4127, 85-96, 2000.
5. Oh, E., Cho, S., Ahn Y-H., Park, Y., Ryu J-H ve Kim S-W, " In-orbit Optical Performance Assessment of Geostationary Ocean Color Imager", **Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**, 4750 - 4753, 2012.
6. Xinhong, W., Lingli, T., Chuanrong, L., Bo, Y. ve Bo, Z., "A Practical SNR Estimation Scheme for Remotely Sensed Optical Imagery", **Proceedings of SPIE**, Cilt 7384, No 34, 1-6, 2009.
7. Berk, A., Bernstein, L.S. ve Robertson, D.C., "MODTRAN: A Moderate Resolution Model for LOWTRAN7", **Technical Report GL-TR-89-0122, Geophysics Lab.**, Bedford, USA, 1989.
8. Kneisys, F.X., Abreu, L.W., Anderson, G.P., Chetwynd, J.H., Shettle, E.P. ve Berk, A., "The MODTRAN 2/3 and LOWTRAN Model", **Technical Note, Ontar Corporation**, North Andover, MA, 1995.
9. Vermote, E., Tanre, D., Deuze, J.L., Herman, M. ve Morcette, J.J., "Second Simulation Of The Satellite Signal In The Solar Spectrum, 6s User Guide Version 0", **Technical Note, NASA-Goddard Space Flight Centre**, Greenbelt, USA, 1994
10. Schott, J. R., **Remote Sensing, The Image Chain Approach, 2<sup>nd</sup> Edition**, Oxford University Press, New York, 2007.
11. Schowengerdt, R. A., **Remote Sensing, Models and Methods for Image Processing, 3<sup>rd</sup> Edition**, Academic Press, New York, 2006.
12. Easton, R. L., **Fourier Methods in Imaging**, John Wiley & Sons, New York, 2010.
13. Güler, N. F. ve Navruz İ., "The Optical Grating Based Solutions for Dispersion Compensation in Optical Communication Systems", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 21, No 1, 129-136, 2006.