

SENTINEL-2 TABANLI ALBEDO TAHMİNİ İÇİN YENİ DÖNÜŞÜM KATSAYILARININ BELİRLENMESİ VE DOĞRULUK ANALİZİ

Stefania BONAFONI¹, Aliihsan ŞEKERTEKİN²,

¹Perugia Üniversitesi, Mühendislik Bölümü Elektromanyetik Alanlar, 06123, Perugia, stefania.bonafoni@unipg.it

²Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 76002, Iğdır, alihsan_sekertekin@hotmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, Sentinel-2 yüzey yansıtım (surface reflectance) görüntülerine uygulanan dardan geniş banda dönüşüm algoritması ile albedo tahmini için yeni dönüşüm katsayıları belirlenmiş ve yersel veriler kullanılarak doğruluk analizleri yapılmıştır. Doğruluk analizleri iki farklı ortamda yersel ölçümlerle test edilmiş ve sonuçlar literatürde tanıtılan başka bir algoritma ile karşılaştırılmıştır. İlk test alanı olarak, Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'ne bağlı Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından kurulan Yüzey Radyasyon Dengesi Ağı (SURFRAD)'na ait 6 saha istasyonunun verileri kullanılmıştır. İkinci test alanı olarak, Perugia (İtalya)'da kentsel alanda yersel ölçümler yapılmıştır. İki test alanı için elde edilen karesel ortalama hata (KOH), önerdiğimiz katsayıların özellikle daha yüksek albedo değerleri için daha iyi performans göstermesi ile birlikte her iki algoritma için de iyi sonuçlar (yaklaşık 0.02) elde edilmiştir. Kentsel alanda, Sentinel-2'den 10 m piksel boyutunda elde edilen albedo önemli ölçüde iyi sonuçlar sağlayarak heterojen ortamlarda daha iyi bir çözünürlük kullanmanın yararı da ortaya konmuştur.

Anahtar Sözcükler: Albedo, Sentinel-2, dardan geniş banda dönüşüm, SURFRAD, kentsel alan

ABSTRACT

DETERMINATION OF NEW CONVERSION COEFFICIENTS FOR SENTINEL-2-BASED ALBEDO RETRIEVAL AND ACCURACY ANALYSIS

In this study, new transformation coefficients were determined with the narrow-to-broadband conversion algorithm applied to Sentinel-2 reflectance images and in-situ (ground-based) measurements were used to test the accuracy of satellite-based results. Accuracy assessments were tested with ground-based measurements in two different environments and compared with another algorithm introduced in the literature. In order to better evaluate the effect of spatial resolution on albedo prediction, data from 6 stations belonging to the SURFace RADiation Budget Network (SURFRAD), established by the United States (USA) National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), were used as the first test area. As the second test area, ground measurements were made in an urban area in Perugia (Italy). Root mean squared error (RMSE) obtained for the two test areas presented very good values (about 0.02) for both algorithms, with the coefficients we suggested in the study performed slightly better, especially for higher albedo values. In the urban area, the albedo obtained from Sentinel-2 at a pixel size of 10 m provides significantly better results, which also demonstrates the benefit of using a better resolution in heterogeneous environments.

Keywords: Albedo, Sentinel-2, narrow-to-broadband conversion, SURFRAD, urban environment

1. GİRİŞ

Albedo, herhangi bir nesnenin yüzeyinin, elektromanyetik ışıını yansıtma oranı olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle, güneşten gelen ışıının (radyasyonun) nesne tarafından yansıtılan kısmıdır. Yüzey albedosu, Dünya yüzeyinin ışıını miktarının ve dolayısıyla Dünya Radyasyon Dengesinin ölçülmesinde temel bir itici güçtür (Dickinson, 1983). Albedo ölçümleri, kara yüzeyi ile atmosfer arasındaki enerji transferinin araştırılması ve modellenmesinde kullanılmaktadır (Liang vd., 2010). Yüzey albedosu, güneş ışığı, kar yağışı, sel, bitki örtüsünün büyümesi ve arazi örtülerinin doğal veya antropojenik değişikliklerinin bir sonucu olarak değişir. Uzay tabanlı uzaktan algılama teknikleri, çeşitli konumsal ve zamansal çözünürlüklerle yüzey geniş bant albedosunu elde etmek ve izlemek için etkili bir araçtır (Bonafoni vd., 2017). Uydu gözlemlerinden yüzey geniş bant albedo tahminine yönelik algoritmalar genel olarak şu şekilde sıralanabilir: a) dardan geniş banda dönüşümler, b) çift yönlü yansıma dağılım fonksiyonu (BRDF) açısız modelleme, c) doğrudan tahmin algoritması, ve d) yer sabit uydu verileri için kullanılan algoritmalar (Qu vd., 2015). Halihazırda ilk iki kategori literatürde en sık kullanılan algoritmalarıdır.

Bu çalışmada dardan geniş banda dönüşüm (narrow-to-broadband conversion) yöntemi ele alınmıştır. Söz konusu yöntem ilk olarak Landsat verileri kullanılarak geliştirilmiştir (Brest ve Goward, 1987). Daha sonra bu yöntem Gelişmiş Çok Yüksek Çözünürlüklü Radyometre (AVHRR) (Saunders, 1990) ve Meteosat (Valiente vd. 1995) verilerine uygulanmıştır. Liang (2001), farklı uydu sensörleri ile albedo tahmini için kullanımı kolay dönüşüm katsayıları sunarak önceki çalışmaları iyileştirmiştir. Liang'ın dardan geniş banda dönüşüm katsayıları, kapsamlı ışıınısal transfer simülasyonları ve spektral yansıtım kütüphaneleri kullanılarak regresyonlarla hesaplanmıştır. Bu katsayılar yaygın olarak kullanılmaktadır ve Liang (2001)'in çalışması bu konuda bir dönüm noktası olarak kabul edilebilir. Landsat sensörleri ve Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (MODIS) için bir başka dardan geniş banda albedo dönüşümü, Tatsumi vd. (2008)'nin yaptığı çalışmada yayınlanmıştır. Bu çalışmada her bir uydu

spektral bandındaki solar ışıının fraksiyonunu temsil eden ağırlık katsayıları ile yüzeydeki dar bant yansıtımlarını entegre eden bir yaklaşım uygulamışlardır. Liang (2001) ve Tatsumi vd. (2008)'deki denklemler, Sentinel-2 uydu verileri henüz kullanıma hazır/işler vaziyette olmadığı için Sentinel-2 verileri için kullanımları uygun değildir. Son zamanlarda, bazı çalışmalar, Liang (2001)'in çalışmasında önerdiği Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) için hesaplanan aynı katsayıları kullanarak Sentinel-2'den albedo alımını önermiş ve doğrudan Sentinel-2 bantlarına uygulamışlardır (Naegeli vd., 2017; Franch vd., 2019). Ancak bu yaklaşım, iki uydunun sensör kanallarının farklı bant genişliklerinden ve merkezi dalga boylarındaki farklılıklardan dolayı bir kısıtlamaya sahiptir. Bu çalışmaların aksine, Li vd. (2018), Liang (2001)'in kullandığı aynı regresyon yöntemini uygulayarak Sentinel-2 Multispektral Sensörü (MSI) için dardan geniş banda katsayılarını hesaplamıştır.

Bu çalışmanın amacı Sentinel-2 MSI verileri ile albedo tahmini için yeni dönüşüm katsayılarının belirlenmesi ve sonuç ürünlerin doğruluğunun analiz edilmesidir. Bu kapsamda, açık gökyüzü koşullarında Sentinel-2 albedo tahmini için yeni dardan geniş banda dönüşüm katsayıları Tasumi vd. (2008) tarafından MSI bantları için önerilen metodoloji uygulanarak hesaplanmıştır. Doğrulukları iki farklı ortamda zemin ölçümleri ile test edilmiş ve Li vd. (2018)'nin yaklaşımı ile de karşılaştırılmıştır. En iyi MSI uzamsal çözünürlüğü (10 m) kullanılmış ve daha düşük çözünürlüklü MSI görüntülerine bir çözünürlük geliştirme yöntemi (süper çözünürlük) uygulanmıştır (Brodu, 2017).

2. YÖNTEM

2.1 Dardan Geniş Banda Dönüşüm ile Albedo Tahmini

Bu çalışmada, Sentinel-2 MSI ile alınan yüzey yansıtım (BOA reflectance) verileriyle albedo tahmini için kullanımı kolay bir algoritma için yeni katsayılar geliştirilmiştir. Bu algoritma bulutsuz, karsız, düşük puslu koşullar ve 20° den küçük sensör bakış açısıyla alınan veriler için kullanılan bir varsayımı ele alır. Geniş bant yüzey albedosu α , kısa dalga spektrumu boyunca dar bant yansımalarının entegrasyonu ile (1) nolu denklem kullanılarak tahmin edilebilir.

$$\alpha = \sum_{B=1}^N \rho_B \cdot w_B \quad (1)$$

Burada ρ_B , MSI'nin belirli bir B bandı için yüzey yansımasıdır ve w_B (2) nolu denklem ile hesaplanan ağırlık katsayısıdır:

$$w_B = \frac{\int_{L_B}^{U_B} R_{s\lambda} \cdot d\lambda}{\int_{0.3}^3 R_{s\lambda} \cdot d\lambda} \quad (2)$$

Burada $R_{s\lambda}$, dalga boyu λ (μm) olan yüzeydeki spektral güneş ışıını (solar radiation), U_B ve L_B , Sentinel-2'nin seçilen bandına atanan üst ve alt dalga boyu limitleridir (**Çizelge 1**). Denklemdaki yüzeydeki bulutsuz güneş ışıını seviyelerinin hesaplanması için Güneş Işığının Atmosferik Işıını Transferinin Basit Modeli (The Simple Model of the Atmospheric Radiative Transfer of Sunshine: SMARTS) yazılımından faydalanılmıştır.

Çizelge 1. MSI spektral bandlar için U_B ve L_B limitleri ile ağırlık katsayıları w_B

MSI Channels	Central wavelength (μm)	Bandwidth (μm)	U_B and L_B (μm)	w_B
B2	0.492	0.066	0.3 – 0.533	0.2266
B3	0.559	0.036	0.533 – 0.614	0.1236
B4	0.665	0.031	0.614 – 0.730	0.1573
B8	0.833	0.106	0.730 – 1.226	0.3417
B11	1.612	0.092	1.226 – 1.880	0.1170
B12	2.194	0.180	1.880 – 3.00	0.0338

Ağırlık katsayısı, w_B , belirli bir bant B'nin spektral aralığını kapsayan yüzeydeki güneş ışıının ağırlığını temsil etmektedir. Entegrasyon başlangıç ve bitiş noktaları, neredeyse tüm yüzey güneş ışıını kapsayan 0,3-3 μm olarak seçilmiştir. En iyi konumsal çözünürlükten (10 m) yararlanmak için, VNIR spektral aralığı (B2, B3, B4 ve B8) ve SWIR (B11 ve B12) bantları seçilmiştir. SWIR bantları 20 m piksel boyutuna sahip olduğundan, Brodu (2017) tarafından önerilen ve Sentinel Uygulama Platformu (SNAP)'nın bir eklentisi olan çözünürlük geliştirme yöntemi ile bu bandlar 10 m çözünürlüğe örneklenmiştir.

Sentinel-2 için Li vd. (2018) tarafından önerilen diğer dardan geniş banda dönüşüm yöntemi ile elde edilen albedo değerleri ile bizim elde ettiğimiz değerler yersel veriler ile kıyaslanarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Li vd. (2018) tarafından önerilen bu yöntem, ışıını transferi simülasyonlarına ve çeşitli yüzey tiplerinin spektral yansıma imzalarına dayalı regresyon katsayılarını kullanmıştır.

2.2 Yersel Ölçümler

Önerdiğimiz ve karşılaştıracığımız yöntemlerinin doğruluğunun değerlendirilmesi için iki test alanı ele alınmıştır. İlk test alanı olarak, 2018-2019 döneminde yüzey albedosu için iyi kalibre edilmiş zemin ölçümlerini toplayan bir ABD ağı olan SURFRAD'ın altı (6) istasyonu kullanılmıştır. Bu istasyonlara ait bilgiler ve her bir istasyon için kullanılan Sentinel-2 uydu görüntüsü sayıları **Çizelge 2**'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. 2018-2019 döneminde Sentinel-2 verileri ile albedo tahmininin doğruluk değerlendirmesi için kullanılan SURFRAD istasyonlarına ait bilgiler ve her bir istasyon için kullanılan Sentinel-2 uydu görüntüsü sayıları.

İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Arazi Örtüsü	Görüntü Sayısı
Bondville, Illinois	BND	40.05192° N	88.37309° W	Tarla	7
Fort Peck, Montana	FPK	48.30783° N	105.1017° W	Otlak/Çayır	8
Goodwin Creek, Mississippi	GWN	34.25470° N	89.87290° W	Çayır, Doğal Bitki Mozaiği	11
Table Mountain, Boulder, Colorado	TBL	40.12498° N	105.2368° W	Seyrek Çayır	6
Penn. State Univ., Pennsylvania	PSU	40.72012° N	77.93085° W	Tarla	3
Sioux Falls, South Dakota	SXF	43.73403° N	96.62328° W	Otlak/Çayır	7

Küresel yukarı yönlü ve aşağı yönlü güneş ışınlam akıları (fluxes) (W/m^2), 10 m yükseklikteki kulelere yerleştirilen yukarı ve aşağı bakan piranometreler (pyranometer) ile kaydedilmektedir. Aşağı doğru piranometreler, yaklaşık 120 m çapında bir dairesel zemin ayak izine sahiptir. Bu nedenle, uydu albedo alımlarını SURFRAD ölçümleriyle karşılaştırmak için, piranometre ayak izini kapsayacak şekilde Sentinel-2'nin 10 m piksellerinin 11x11 pencere boyutu ele alınmıştır. Shuai vd. (2011)'de olduğu gibi, 11x11 penceresinde her pikselin albedo değerlerini α toplamak için bir kosinüs faktörü yükseltme (upsaling) kullanılmıştır. Böylece, yüzey albedo α_{av} , 10 m çözünürlükte Sentinel-2 α 'nın ağırlıklı ortalaması ile aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

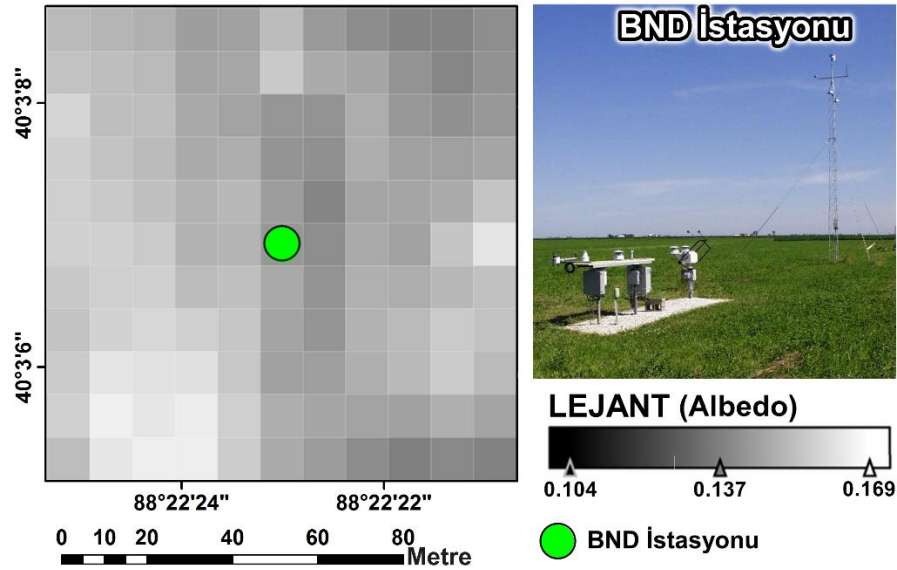
$$\alpha_{av} = \frac{\sum_{i=1}^{121} \cos(\beta_i) \cdot \alpha(i)}{\sum_{i=1}^{121} \cos(\beta_i)} \quad (3)$$

Burada β_i , kulenin düşeyi ile 11x11 grid alanı içindeki piranometrelerden i . pikselin merkezine doğru olan çizgi arasındaki açıdır.

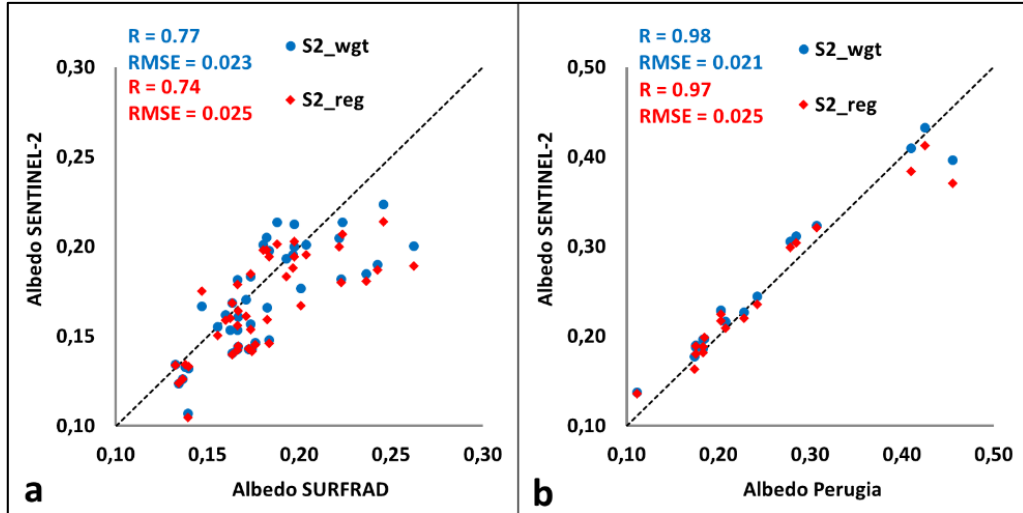
İkinci test alanı olarak, 2016 yazında Perugia kentsel alanında yürütülen bir arazi çalışmasında seçilen 18 yer noktası üzerinde ölçümler yapılmıştır. İki yukarı ve aşağı piranometreli bir LP PYRA 05 albedometre 1,5 m yüksekliğe yerleştirilmiştir. Aşağı doğru olan piranometreler, yaklaşık 7 m yarıçaplı dairesel bir zemin ayak izine sahiptir. Seçilen noktalar, Baldinelli vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada detaylandırıldığı gibi (farklı asfalt, kum, çakıl, çimen, bitüm, beyaz fayans türleri) farklı türde yapay ve doğal kentsel yüzeyleri temsil eden oldukça homojen yüzeyler olarak ele alınmıştır. Ölçülen albedo değerleri 0.111 ile 0.455 arasında olup geniş bir aralığı kapsamaktadır.

3. BULGULAR

Şekil 1 elde ettiğimiz örnek bir Sentinel-2 albedo haritasını temsil etmektedir. **Şekil 2**'de hem SURFRAD hem de Perugia'da alınan yersel ölçümlere karşılık gelen Sentinel-2 verilerinden üretilen albedo değerlerinin iki yöntem için de sonuçları sunulmuştur. Şekilde bizim önerdiğimiz katsayı tabanlı yöntem "S2_wgt" olarak adlandırılırken diğer yöntem regresyon temelli olduğundan "S2_reg" olarak adlandırılmıştır. **Şekil 2a**'da SURFRAD ölçümlerine göre her ikisi de 10-m piksel boyutu kullanan iki yöntemin doğruluk sonuçları verilmiştir. Uydu bazlı albedo sonuçları ile piranometre tabanlı albedo sonuçları arasındaki Karesel Ortalama Hata (KOH) ve korelasyon katsayısı (R), iki dardan geniş banda dönüşüm yönteminin iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. S2_wgt 0.77 R ve 0.023 KOH değeri ile S2_reg'e göre biraz daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak her iki yöntemin de 0,2'den yüksek albedo değerleri için olduğunda daha düşük hesaplama eğiliminde olduğu görülmüştür. **Şekil 2b**, S2_wgt ve S2_reg yöntemleri için Perugia test alanındaki albedo sonuçlarını göstermektedir. İlk test alanında olduğu gibi bu alanda da, S2_wgt, S2_reg'den biraz daha iyi performans ortaya koymuştur.



Şekil 1. 25 Temmuz 2019 tarihli Sentinel-2'nin BND piranometre ayak izini kapsayan 10 m piksellerinin 11 × 11 boyutlu albedo haritası.



Şekil 2. S2_wgt (mavi) ve S2_reg (kırmızı) yöntemleriyle elde edilen ve test alanlarında (1a:SURFRAD ve 1b:Perugia) ölçülen Albedo sonuçlarının saçılım grafiğinde gösterimi.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada önerilen dardan geniş banda dönüşüm katsayıları, Sentinel-2 verileri ile gerçekleştirilen albedo tahmininde iyi performans sağlamıştır. Doğruluğun, özellikle daha yüksek albedo değerleri için, regresyonla hesaplanan yöntemle kıyasla biraz daha iyi olduğu belirlenmiştir. Daha düşük çözünürlüklü SWIR piksellerine uygulanan çözünürlük geliştirme yöntemiyle 10 m piksel boyutunda albedo tahmini yapılmış ve uydu görüntüleriyle BRDF modellemesinin tavsiye edilmediği kentsel ortamlarda da güvenilir ve doğru sonuçlar elde edilmiştir. Farklı ortamlarda albedo tahmini için kullanımı kolay algoritmaların mevcudiyeti, zaman içinde sürekli olarak yüzeyin güneş yansıma/yansıtım özelliklerini ölçmek ve takip etmek için oldukça faydalıdır.

KAYNAKLAR

- Baldinelli, G., Bonafoni, S., & Rotili, A.** 2017, Albedo retrieval from multispectral landsat 8 observation in urban environment: Algorithm validation by in situ measurements. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(10), 4504-4511.
- Bonafoni, S., Baldinelli, G., Verducci, P.,** 2017, Sustainable strategies for smart cities: Analysis of the town development effect on surface urban heat island through remote sensing methodologies. *Sustainable Cities and Society*, 29, 211-218.
- Brest, C. L., Goward, S. N.,** 1987, Deriving surface albedo measurements from narrow band satellite data. *International Journal of remote sensing*, 8(3), 351-367.
- Brodu, N.,** 2017, Super-resolving multiresolution images with band-independent geometry of multispectral pixels.

IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 55(8), 4610-4617.

Dickinson, R.E., 1983, Land surface processes and climate—Surface albedos and energy balance. *Advances in Geophysics*, 25, 305–353.

Franch, B., Vermote, E., Skakun, S., Roger, J. C., Masek, J., Ju, J., Villaescusa-Nadal, J. L., & Santamaria-Artigas, A., 2019, A method for Landsat and Sentinel 2 (HLS) BRDF normalization. *Remote Sensing*, 11(6), 632.

Li, Z., Erb, A., Sun, Q., Liu, Y., Shuai, Y., Wang, Z., ... Schaaf, C., 2018, Preliminary assessment of 20-m surface albedo retrievals from sentinel-2A surface reflectance and MODIS/VIIRS surface anisotropy measures. *Remote sensing of environment*, 217, 352-365.

Liang, S., 2001, Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I: Algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 76(2), 213–238.

Liang, S., Wang, K., Zhang, X., Wild, M., 2010, Review on estimation of land surface radiation and energy budgets from ground measurement, remote sensing and model simulations. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3(3), 225-240.

Naegeli, K., Damm, A., Huss, M., Wulf, H., Schaepman, M., Hoelzle, M., 2017, Cross-comparison of albedo products for glacier surfaces derived from airborne and satellite (Sentinel-2 and Landsat 8) optical data. *Remote Sensing*, 9(2), 110.

Qu, Y., Liang, S., Liu, Q., He, T., Liu, S., Li, X., 2015, Mapping surface broadband albedo from satellite observations: A review of literatures on algorithms and products. *Remote Sensing*, 7(1), 990-1020.

Saunders, R. W., 1990, The determination of broad band surface albedo from AVHRR visible and near-infrared radiances. *International Journal of Remote Sensing*, 11(1), 49-67.

Shuai, Y., Masek, J. G., Gao, F., Schaaf, C. B., 2011, An algorithm for the retrieval of 30-m snow-free albedo from Landsat surface reflectance and MODIS BRDF. *Remote Sensing of Environment*, 115(9), 2204-2216.

Tasumi, M., Allen, R. G., & Trezza, R., 2008, At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface energy balance. *Journal of hydrologic engineering*, 13(2), 51-63.

Valiente, J. A., Nunez, M., Lopez-Baeza, E., Moreno, J. F., 1995, Narrow-band to broad-band conversion for Meteosat-visible channel and broad-band albedo using both AVHRR-1 and-2 channels. *Remote Sensing*, 16(6), 1147-1166.