

[1089]

# AÇIK KAYNAK KOD TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK YER YÜZEY SICAKLIĞININ BELİRLENMESİNDE YENİ BİR EKLENTİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Milton Isaya NDOSSI<sup>1</sup>, Uğur AVDAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Milton Isaya Ndossi, Anadolu Üniversitesi, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri, 26555, Eskişehir, [milton\\_issaya@hotmail.com](mailto:milton_issaya@hotmail.com)

<sup>2</sup>Uğur Avdan, Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, 26555, Eskişehir, [uavdan@anadolu.edu.tr](mailto:uavdan@anadolu.edu.tr)

## ÖZET

*Bu çalışmada, açık kaynak kodlu bir CBS yazılımı olan Quantum GIS yazılımında çalışabilen ve Landsat 8 uydusunun termal bant çözümlemesini yapan bir eklenti geliştirilmiştir. Bu eklenti Python programlama dilinde kodlanmıştır. Geliştirilen eklenti ile, Landsat 8 uydusunun elektromanyetik spektrumun görülebilen bantları, yakın kızıl ötesi ve termal kızıl ötesi bantları kullanılarak, yer yüzey sıcaklığı haritaları üretilebilmektedir. Ayrıca, geliştirilen eklenti ile yer yüzey yayımı (land surface emissivity), sensördeki radyans, sensördeki sıcaklık ve normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) hesaplanabilmektedir. Sensördeki sıcaklık değerleri, atmosferik düzeltmeler yapıldıktan sonra Plank kanunu esas alınarak yer yüzey sıcaklığı üretilmiştir. Geliştirilen eklenti kullanılarak açık kaynak kod ile çalışabilen ve disiplinler arası çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılan yüzey sıcaklıkları üretilebilmiştir.*

**Anahtar Sözcükler:** Landsat 8, Python Quantum GIS, Radyans, Sensördeki sıcaklık.

## ABSTRACT

### DEVELOPMENT OF A NEW OPEN SOURCE PLUGIN TO DETERMINE LAND SURFACE TEMPERATURE

*In this study, a plugin which has the ability to work in an open source GIS software; Quantum GIS (QGIS) and a one which can provide solutions to the production of land surface temperature maps through Landsat 8's thermal infrared bands has been developed. This plugin has been written in Python. Through it, land surface temperature maps can be produced through the use of the visible, near infrared and thermal infrared bands of the Landsat 8 sensor. The developed plugin can calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), land surface emissivity, at sensor radiance, brightness temperature and can correct brightness temperature against land surface emissivity through the use of the Planck function. With the use of the developed plugin, land surface temperature maps which can be used in different disciplines can be produced easily.*

**Keywords:** Landsat 8, Python, Quantum GIS, Radiance, Brightness Temperature

## 1.GİRİŞ

Günümüzde yüksek çözünürlüklü uydular aracılığı ile insanoğlunun yaşamadığı yerlerden bile veriler elde edilebilmektedir. Uydulardan elde edilen bu veriler, düşük maliyetli olması ve geniş alanları kaplamasından dolayı başta Coğrafi Bilgi Sistemleri projeleri olmak üzere birçok alanda veri kaynağı olarak kullanılmaktadır. Uydular aracılığı ile insan gözünün gördüğü ve insan gözünün görmediği dalga boyu aralıklarında algılama yapılarak yeryüzüne ait birçok veri elde edilebilmektedir. Yer yüzey sıcaklığı (Land Surface Temperature (LST)) verileri, uzaktan algılama uyduları aracılığı ile elde edilen ve birçok amaç için kullanılabilen önemli verilerden biridir.

Yer yüzey sıcaklığı kabaca, araziye dokunduğumuz zaman ellerimiz ile hissedilen sıcaklık olarak tanımlanabilmektedir. Başka bir ifade ile yer yüzey sıcaklığı, yer kabuğu sıcaklığıdır (Zhang, Wang, ve Li 2006). Yer yüzey sıcaklığı verileri meteoroloji, buharlaşma, çölleşme, bitki değişim analizleri, arazi kullanımı ve küresel ısınma çalışmaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Ancak uydu görüntülerinden yer yüzey sıcaklığının elde edilmesi çok zahmetli ve zor bir iştir (Zhang, Wang, and Li 2006). Yer yüzey sıcaklığı, Dünyanın kritik bir enerji bileşenidir. Hidroloji, meteoroloji ve iklim çalışmalarında gerekli verileri sağlar (Pandya vd., 2014). Geniş alanların yüzey sıcaklıklarının belirlenmesi söz konusu olduğunda, yer yüzeyindeki karmaşıklıklardan dolayı, yer yüzeyinden yapılan nokta bazlı ölçümler yer yüzey sıcaklığını tam olarak verememektedir. Uzaktan algılama uydularının gelişmesi sayesinde, bütün dünyanın yüksek çözünürlüklü sıcaklık verilerini toplamak mümkün hale gelmiştir (Li vd., 2013). Geçmişte askeri amaçlı kullanılan termal kızılötesi görüntüler son yıllarda sivil ve ticari uygulamalarda da kullanılmaya başlanmıştır. Bu sayede arazi

ölçümlerinde, buz kalınlığı çalışmalarında, bitki sağlığı belirleme ve orman yangınlarının tespitinde yer yüzey sıcaklığı verileri kullanılır hale gelmiştir (Parker ve Warner 1973).

Bu çalışmada, Python programlama dilinde, açık kaynak kod kütüphaneleri kullanılarak, yer yüzey sıcaklığı haritalarını üretmek için QGIS yazılımında çalışan bir eklenti (plugin) geliştirilmiştir. Eklentinin geliştirilmesinde Python programlama dili ve onu destekleyen diğer mekânsal işlemleri yapabilen açık kaynak kodlu kütüphanelerden (PyQt4, GDAL/OGR) faydalanılmıştır. Geliştirilen eklenti; Landsat 8 uydusuna ait termal bantları işleme kapasitesine sahiptir. Çalışma kapsamında geliştirilmiş eklenti kullanılarak; araştırmacılar, ilgili bantları ve diğer değişkenleri eklentiye girerek çalıştıkları alana ait yer yüzey sıcaklık haritalarını otomatik olarak üretebileceklerdir. Eklenti, diğer araştırmacılar tarafından da kullanılabilmesi için açık kaynak kod teknolojisi ile çalışan QGIS yazılımında kullanılacak şekilde geliştirilmiştir.

## 2. VERİ VE MATERYAL

### 2.1. Landsat uydu görüntüleri

Landsat uyduları, dünyanın en uzun süreli gözlem yapan uydularıdır. Bu uydular yaklaşık kırk yıldır dünyayı izlemektedir. Bu yüzden, dünyadaki değişim analizi çalışmalarında en çok kullanılan veriler Landsat uydularından elde edilmiştir. Günümüzde Landsat uydu görüntüleri ücretsiz olarak “United States Geological Survey (USGS; <http://www.earthexplorer.usgs.gov>)” web sitesinden indirilebilmektedir. Landsat Uyduları ile elektromanyetik spektrumun görünür ve kızılötesi bölgelerinde algılama yapılmaktadır. Landsat 8 uydusunun termal kızılötesi bölgeye ait bantların mekânsal çözünürlüğü 100 metredir. Bu bantlar 30 metreye yeniden örneklendirilerek kullanıcılara sunulmaktadır.

### 2.2. Python programlama dili

Python; açık kaynak kodlu bir programlama dilidir. Aynı zamanda, konumsal verilerin işlenmesine yönelik Python dilini destekleyen birçok kütüphane bulunmaktadır. Python programlama dili, kullanıcılara birden fazla işletim sisteminde (Windows, Mac Os ve UNIX) çalışma imkanı sunduğu için, birçok yazılımcı, yapmış oldukları çalışmalarda Python’u kullanmaktadır. Ayrıca, bu programlama dili esnek, güçlü (birçok kütüphane tarafından desteklenme) ve öğrenmesi oldukça kolay bir dildir. Aynı zamanda Python programlama dili, QGIS yazılımına eklenti üretilmesinde de kullanılabilir. Bu sebeplerden dolayı, bu çalışmada eklentinin geliştirilmesinde Python programlama dili seçilmiştir.

## 3. YÖNTEM

### 3.1. Parlaklık değerinin spektral radyans değerlerine dönüştürülmesi

Termal uydu görüntülerindeki sıcaklık değerleri, yayılan veya yansıtılan elektromanyetik enerjinin kayıt edilmesi yani parlaklık değerinde sayısal numaralar olarak saklanmaktadır. Bu numaralar işlenmemiş ham değerlerdir. Sayısal numaraları işlenmeden önemli bir analizi için kullanılamazlar. Sayısal numaraların değerleri, farklı farklı radyans yoğunluğunu ifade eder. Bu çalışmada üretilen eklentiyle, Landsat 8 uydusundan elde edilen termal kızılötesi görüntüler kullanılarak, bu dönüşüm yapılabilmektedir. Sayısal numaraların spectral radyans değerlerine dönüşümünü yapmak için, Eşitlik 1 kullanılmıştır.

(1)

$$L\lambda = MLQ_{cal} + AL - O_i$$

Burada  $L\lambda$  - Sensördeki spektral radyansı,  $ML$ - banda özel ölçekleme çarpan faktörünü,  $AL$  - banda özel ölçekleme toplam faktörünü,  $Q_{cal}$  - kuantize ve kalibre edilmemiş standart piksel değerlerini (sayısal numaraları) ve  $O_i$  - termal kızıl ötesi bandın denkleme kalibrasyon değerini ifade eder.

Landsat 8 uydusunda iki adet termal kızıl ötesi bant olmasına rağmen, bant 11’in belirsiz olmasından dolayı, yer yüzey sıcaklığı çıkarılması için sadece bant 10’dan elde edilen veriler kullanılabilir (Montanaro vd., 2014; Survey 2015; Barsi vd., 2014). Çizelge 1’de, Landsat 8 uydusunda bulunan 10. bandın sıcaklık değerini hesaplamak için kullanılan sabitler değerler gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** Sensördeki sıcaklık değerini hesaplama sabitleri (Wang et al. 2015)

M10	A10	O10
0.0003342	0.1	0.29

Çizelge 1'deki, M10; bant spesifik çarpımsal yeniden ölçümlendirme faktörü, O10; termal kızıl ötesi bandın denklendirme kalibrasyon değeri, K1 ve K2 Meta verideki Landsat 8 uydusunun 10. bant radyans değerlerinden sensördeki sıcaklık değerine dönüştürme sabitlerini göstermektedir. Şekil 1'de, üretilen eklentinin sayısal numaralarından spektral radyans değerlerine dönüştürülme arayüzü gösterilmiştir.

Şekil 1. Sayısal numaraların spektral radyans değerlerine dönüştürülmesin arayüzü.

### 3.2. Radyans değerlerinin parlaklık sıcaklığı değerlerine dönüştürülmesi

Landsat 8 uydusun sensördeki radyans değerleri, sensördeki sıcaklık (parlaklık sıcaklık) değerlerine dönüştürmek için Eşitlik 2 kullanılır (USGS 2013). Ayrıca  $K_1$ ,  $K_2$  ve diğer sabitler sensöre göre değişim göstermektedir. Eşitlikte kullanılan değişkenler meta veri dosyasında bulunur.

$$T_{sen} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

Burada;  $T_{sen}$  – sensördeki parlaklık sıcaklık değerini,  $L_\lambda$  – sensördeki spektral radyans değerini,  $K_1$  ve  $K_2$  – meta veriden banda ait spesifik termal dönüşüm sabitlerini ifade eder. Şekil 2'de, üretilen eklentinin radyans değerlerinden parlaklık sıcaklık değerlerine dönüştürülme arayüzü gösterilmiştir.

Şekil 2. Radyans değerlerinden parlaklık sıcaklık değerlerine dönüştürülme arayüzü.

### 3.3. Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI)

NDVI çalışma alanındaki yeşil bitki örtüsünün yoğunluğunun basit bir şekilde belirlenmesini ifade eden bir indekstir. Uydular tarafından elde edilen verilerin atmosferik düzeltilmesinin yapılabilmesi için, çalışma alanının NDVI değerinin hesaplanması gerekmektedir. NDVI değeri yer yüzey sıcaklık değerinin hesaplanmasında kullanılacaktır. NDVI değerini hesaplamak için Eşitlik 3 kullanılmıştır (Vandegriend vd., 1992).

$$NDVI = \frac{YKÖ - K}{YKÖ + K} \quad (3)$$

Burada; YKÖ – Yakın Kıızıl Ötesi bant, K – Kırmızı bantı ifade etmektedir. Şekil 3’te, üretilen eklentinin NDVI hesaplama arayüzü gösterilmiştir.

Şekil 3. NDVI hesaplama arayüzü.

### 3.4. Yer yüzey yayılım (Land surface emissivity) hesabı

Yer yüzey kinetik enerjisinden radyans enerjisine dönüşüm yapılmasını ifade eden değer yayılım olarak tanımlanabilmektedir. Dalga boyu  $\lambda$  ve siyah cismin aynı dalga boyunda yayılmış kinetik enerjiye oranını ifade eden bir değerdir. Yer yüzey sıcaklık değerini hesaplamak için atmosferik düzeltme yapılması gerekmektedir. Yer yüzey yayılımı değerini hesaplamak için, genel olarak kullanılan üç yöntem vardır. Sınıflandırmaya dayalı yöntem (Classification Based Emissivity Method (CBEM)) (Gillespie vd., 1998; Peres ve DaCamara 2005)), NDVI'ya dayalı yöntem (NDVI based emissivity method), ve gece-gündüz sıcaklık indisi (Temperature Independent Spectral Indices (TISI)) yöntemidir. Bir cismin termal fiziksel özellikleri yayılıma bağlıdır. Bir maddenin yayılım değeri dalga boyuyla değişir. NDVI yayılım hesaplama yöntemleriyle, farklı yer yüzeylerinin 10-12  $\mu\text{m}$  dalga boyu arasında olan yayılım değerleri hesaplanabilmektedir (Wang vd., 2015).

Bu çalışmada, yer yüzey yayılımının belirlenmesi için NDVI eşik algoritması (NDVI threshold algorithm) kullanılmıştır (Sobrino ve Raissouni 2000). Bu algoritmada, toprak ( $NDVI < NDVI_T$ ) ve bitki örtüsü ( $NDVI > NDVI_B$ ) alanlarını ayırmak için belirli NDVI değerleri kullanılmaktadır. Daha önce yapılmış olan çalışmalarda dünya çapında  $NDVI_T = 0.2$  ve  $NDVI_B = 0.5$  olarak kullanılması önerilmiştir (Sobrino ve Raissouni 2000). Bu algoritma uygulanarak, üç senaryo olabilmektedir.

$NDVI < NDVI_S$  - Bu koşulda, analiz edilen pikselin yayılım değeri kayaç ve toprak olan alanları ifade ettiği kabul edilir. Bu durumda, kayaç yayılım değeri kullanılmaktadır.

$NDVI > NDVI_S$  - Bu koşulda, analiz edilen pikselin yayılım değeri bitki olan alanları ifade ettiği kabul edilir. Bu durumda, bitki yayılım değeri kullanılmaktadır.

$NDVI_T \leq NDVI \leq NDVI_B$  - Bu koşulda, analiz edilen pikselin yayılım karışık bitki örtüsü değeri (bitki ve kayaç olan alanları) ifade ettiği kabul edilir. Bu durumda, Eşitlik 4 kullanılır.

$$\epsilon_\lambda = \epsilon_B P_b + \epsilon_T (1 - P_b) + C_\lambda \quad (4)$$

Burada;  $\epsilon_b$  - Bitki yayılımını,  $\epsilon_T$  - Toprak yayılımını,  $P_b$  - bitki örüntüsü oranını (Proportion of vegetation),  $C_\lambda$  - Arazi pürüzlülüğünü ifade etmektedir (Düz araziler için  $C = 0$ ). Literatürde, C değerini hesaplamak için, Eşitlik 5 kullanılmıştır (Sobrino, Caselles, ve Becker 1990).

$$C_{\lambda} = (1 - \varepsilon T_{\lambda}) \varepsilon B_{\lambda} F'(1 - P_b) \quad (5)$$

F'; arazi pürüzlülüğüne göre 0 ve 1 arasında değişen geometrik bir faktördür. Yakın kızıl ötesi ve görünebilen bölgelerin sahip olduğu verilerden F' değeri hesaplanmasının zor olmasından dolayı, ortalama bir değer kullanılmaktadır. Wang ve arkadaşları (Wang vd., 2015) çalışmasında, Landsat 8 uydusunda, arazi yüzey yayılımını hesaplamak için, Çizelge 2'de gösterilen değerleri kullanmıştır. Sobrino (Sobrino vd., 2008) çalışmasında C değerinin 0.005 olarak kullanılmıştır.

**Çizelge 2.** Yeryüzüne ait olan maddelerin yayılım değerleri

Yeryüzü madde	Su	Binalar	Toprak	Bitki
Yayılım	0.991	0.962	0.966	0.973

Piksel seviyesinde, NDVI kullanılarak, karışık bitki örtüsü hesaplamak için Eşitlik 6 kullanılır (Yu, Guo ve Wu 2014).

$$P_v = \left[ \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2 \quad (6)$$

Burada;  $NDVI_{max}$  – Maksimum NDVI değeri,  $NDVI_{min}$  – Minimum NDVI değeri.  $P_v$  değerleri, analiz edilen görüntüden elde edilir.

## Planck Kanununun Ters Çevirmesi

Elektromanyetik spektrumun termal kızılötesi bölgesinde çalışan sensörlerden yer yüzey sıcaklığı çıkarılması için tasarlanmış birçok algoritma vardır. Bütün algoritmalar sensöre göre değişir ve bütün algoritmalarda etkiler ve sınırlar bulunmaktadır. Yer yüzey yayılımı ve termal radyans hesaplandıktan sonra, atmosferik ve yayılım düzeltmesi yapılması gerekmektedir. Sensördeki ölçülmüş sıcaklık verilerinde, yer yüzey yayılım düzeltmesi yapmak için Eşitlik 7 kullanılır (Artis ve Carnahan 1982).

$$T_s = \frac{BT}{\left\{ 1 + \left[ \frac{\lambda \cdot BT}{\rho} \right] \cdot \ln \varepsilon \right\}} \quad (7)$$

Burada;  $T_s$  – yer yüzey sıcaklığı (K),  $BT$  – sensördeki sıcaklık değerini,  $\lambda$  – dalga boyunu,  $\varepsilon$  – spektral yayılımı,  $\rho = (h \times c / \sigma) = 1.438 \times 10^{-2} = 14380 \text{mK}$  'yi ifade eder. Şekil 4'te, üretilen eklentinin Planck kanunu arayüzü gösterilmiştir.

**Şekil 4.** Planck kanununun arayüzü.

## 4.SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında üretilen eklentiyle Landsat 8 TIRS uydu görüntülerini kullanılarak, kolay ve doğru bir şekilde yer yüzey sıcaklığı haritaları üretilebilmektedir. Çalışma kapsamında geliştirilen eklenti açık kaynak kod teknolojisi ile çalışan QGIS programına entegre edilmiş ve <http://plugins.qgis.org/plugins/> adresinde ücretsiz olarak yüklenmektedir. Geliştirilen eklenti yüzey sıcaklıkları ile çalışan geomatik, peyzaj, çevre, hidroloji, iklim, jeoloji, enerji vb. meslek disiplinlerinde yapılacak çalışmalara ve araştırmacılara öncülük teşkil edecektir. Üretilebilecek yer yüzey sıcaklığı haritaları, değişim analizinde kullanılarak; iklim,

meteoroloji, orman yangını, jeotermal, buharlaşma ve tarımı çalışmaları yapılabilecektir. Geliştirilen eklenti açık kaynak kod teknolojilerine dayalı olduğu için, algoritma farklı araştırmacılar tarafından geliştirme olanağına sahiptir. Böylece teknolojinin gelişmesi ile birlikte (yeni uydular ve algoritmalar) eklentide de birtakım gelişmeler olacaktır.

## KAYNAKLAR

**Artis, David A, Walter H Carnahan.,** 1982., 'Survey of emissivity variability in thermography of urban areas', *Remote Sensing of Environment*, 12: 313-29.

**Barsi, Julia A, John R Schott, Simon J Hook, Nina G Raqueno, Brian L Markham, and Robert G Radocinski.,** 2014, 'Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Vicarious Radiometric Calibration', *Remote Sensing*, 6: 11607-26.

**Gillespie, Alan, Shuichi Rokugawa, Tsuneo Matsunaga, J Steven Cothorn, Simon Hook, Anne B Kahle.,** 1998, 'A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images', *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 36: 1113-26.

**Li, Zhao-Liang, Bo-Hui Tang, Hua Wu, Huazhong Ren, Guangjian Yan, Zhengming Wan, Isabel F. Trigo, José A. Sobrino.,** 2013. 'Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives', *Remote Sensing of Environment*, 131: 14-37.

**Montanaro, Matthew, Aaron Gerace, Allen Lunsford, Dennis Reuter.,** 2014, 'Stray light artifacts in imagery from the Landsat 8 Thermal Infrared Sensor', *Remote Sensing*, 6: 10435-56.

**Pandya, Mehul R, Dhiraj B Shah, Himanshu J Trivedi, Nikunj P Darji, R Ramakrishnan, Sushma Panigrahy, Jai Singh Parihar, AS Kirankumar.,** 2014., 'Retrieval of land surface temperature from the Kalpana-1 VHRR data using a single-channel algorithm and its validation over western India', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 94: 160-68.

**Parker, Alan Keith, Dwight Allen Warner.,** 1973, "METHOD AND APPARATUS FOR MAKING A TEMPERATURE-REFERENCED COLOR STRIP MAP OF THERMAL VARIATIONS." In.: US Patent 3,752,915.

**Peres, Leonardo F, Carlos C DaCamara.,** 2005, 'Emissivity maps to retrieve land-surface temperature from MSG/SEVIRI', *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 43: 1834-44.

**Sobrino, JA, V Caselles, F Becker.,** 1990, 'Significance of the remotely sensed thermal infrared measurements obtained over a citrus orchard', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 44: 343-54.

**Sobrino, JA, N Raissouni.,** 2000, 'Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to Morocco', *International Journal of Remote Sensing*, 21: 353-66.

**Sobrino, José A, Juan C Jiménez-Muñoz, Guillem Sòria, Mireia Romaguera, Luis Guanter, José Moreno, Antonio Plaza, Pablo Martínez.,** 2008, 'Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors', *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46: 316-27.

Survey, United States Geological. 2015. 'Landsat 8 (L8) Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) Calibration Notices'.

USGS. 2013. 'Landsat', USGS, Accessed 09th November 2014. [http://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php).

Vandegriend, AA, M Owe, HF Vugts, and GK Ramothwa. 1992. *Botswana water and surface energy balance research program. Part 1: Integrated approach and field campaign results* (Beleidscommissie Remote Sensing (BCRS) (Delft)).

**Wang, Fei, Zhihao Qin, Caiying Song, Lili Tu, Arnon Karnieli, Shuhe Zhao.,** 2015, 'An Improved Mono-Window Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 Thermal Infrared Sensor Data', *Remote Sensing*, 7: 4268-89.

**Yu, Xiaolei, Xulin Guo, Zhaocong Wu.,** 2014, 'Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS— Comparison between Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method', *Remote Sensing*, 6: 9829-52.

**Zhang, Jinqu, Yunpeng Wang, Yan Li.,** 2006, 'A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6', *Computers & geosciences*, 32: 1796-805.