

Procjena dnevne promjene temperature površine tla u Jamuu i Kašmiru, Indija

Suraj Kumar Singh

Sveučilište Suresh Gyan Vihar, dr. sc., suraj.kumar@mygyanvihar.com

Shruti Kanga

Sveučilište Central University of Punjab, dr. sc., shruti.kanga@cup.edu.in

Bojan Đurin

Sveučilište Sjever, dr. sc., bojan.durin@unin.hr

Nikola Kranjčić

Sveučilište u Zagrebu, dr. sc., nikola.kranjic@gfv.unizg.hr

Bhartendu Sajan

Sveučilište Suresh Gyan Vihar, doktorand, bhartendu.sajan@mygyanvihar.com

Ankita Sengar

Sveučilište Suresh Gyan Vihar, mr. sc., sengarankita90@gmail.com

Sažetak: Temperatura površine tla odnosi se na izračun temperature tla koji se vrši s posebnim faktorima. Promjena temperature površine tla u području utječe i na klimu i vegetaciju. Vegetacijski indeks normalizirane razlike (NDVI) služi kao pokazatelj bujnosti vegetacije za procjenu vegetacijskog odnosa temperature površine tla (LST). Za proučavanje promjena LST-a u području istraživanja (Jamu i Kašmir) koriste se slike Landsat 7 ETM+ i Landsat 8 OLI TIRS za četiri godine (2005., 2010., 2015. i 2020.). Izračunavaju se korelacije između NDVI i LST. Kroz studiju je jasno da vegetacijski indeks normalizirane razlike ima glavnu ulogu u izračunu temperature površine tla. U ovom istraživanju, zabilježena promjena više temperature 2005. godine je bila 20°C, a 2020. godine najviša temperatura je bila 25°C. Ako govorimo o nižoj temperaturi, promjena je 1°C. I Jamu i Kašmir imaju polulistopadnu vegetaciju koja uključuje subtropske borove šume.

Ključne riječi: LST, klimatske promjene, lokalna klima, daljinsko ispitivanje, GIS, omjer pojasa

Assessment of diurnal change in land surface temperature of the Union Territory (UT) of Jammu and Kashmir, India

Abstract: Land Surface Temperature refers back to the calculation of ground temperature that is made with extraordinary factors. Due to changes in the land surface temperature of the area, the climate and vegetation are also affected. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) serves as an indicator of vegetation abundance to estimate the land surface temperature (LST) vegetation relationship. Landsat 7 ETM⁺ and Landsat 8 OLI TIRS images for four years (2005, 2010, 2015, and 2020) are used to study the LST changes in the research area (Jammu & Kashmir). Correlations between NDVI and LST are calculated. Through the study, it is clear that the Normalized Difference Vegetation Index plays a major role in the calculation of land surface temperature. In this study, the change in the higher temperature noted in the year 2005 was 20°C, and in the year 2020, the highest temperature was 25°C. If we talk about the lower temperature, the change is 1°C. Both Jammu and Kashmir have semi-deciduous vegetation that includes subtropical pine forests.

Keywords: LST, climate change, local climate, remote sensing, GIS, band ratio

1. UVOD

Zemljin sustav je kompliciran ciklus s mnogo međusobno povezanih komponenti, poput Zemljine površine i njezine unutrašnjosti. Zemljina površina je prirodno prekrivena različitim vrstama zemljišnog pokrova, koji su uglavnom raspoređeni na temelju klimatskih obrazaca. Dodavanje više ljudi i njihovih potreba ovom uravnoteženom sustavu uzrokovat će mnogo problema zbog toga kako mijenjamo način korištenja zemljišta za zadovoljenje naših potreba, bez obzira kako to utječe na okoliš.

Klimatske promjene su jedna od najvažnijih i najzahtjevnijih situacija s kojima se životna sredina suočava. Prethodna istraživanja su pokazala da promjene vremenskih uvjeta imaju značajan utjecaj na temperaturu površine tla i njezine različite parametre. Rast gradskih područja je uzet u obzir kao značajan element povećanja korištenja zemljišta i temperature površine tla. Prethodna istraživanja su pokazala da u Kini nagli porast gradova i promjene vremenskih prilika, skupa s promjenama temperatura, predstavljaju ozbiljne probleme kao rezultat financijskog i društvenog razvoja. Stoga je nužno analizirati metode od kojih se očekuje iznalaženje promjene temperature tla (LST). Temperatura površine tla (eng. Land Surface Temperature, LST) je temperatura površine zemljine kore, određena satelitskim podacima ili izravnim mjerenjima. LST je precizan pokazatelj ravnoteže razmjene energije između Zemlje i atmosfere [1]. Prostorna heterogenost LST-a je dosta velika. Značajke površine tla, na koje uvelike utječu nadmorska visina, nagib i aspekt, imaju izravan utjecaj na dolazno sunčevo zračenje, utječući na stupanj LST-a [2]. Nadalje, topografija je jedna od značajki koje utječu na raspodjelu vlage u tlu, koja ima utjecaj na temperaturu površine tla. Smjena godišnjih doba, doba dana, morski povjetarac, površinska temperatura zraka, vlažnost, brzina vjetera i korištenje tla svi mogu utjecati na LST [3,4].

Temperatura površine tla (LST) je ključno pitanje u alternativnim istraživanjima vremenskih prilika u svijetu, za procjenu zračenja u istraživanju stabilnosti topline i kao faktor upravljanja za alternativne modele vremenskih prilika. Stručne spoznaje o temperaturi tla su ključne za niz problema i pitanja u znanostima o zemlji, vremenu i ljudskim interakcijama s okolišem. Temperatura površine tla se prva koristi u utvrđivanju kako su se vrijeme i glacijalno područje promijenili. To je predmet ove studije. Temperatura površine tla je temperatura na površini Zemlje. To je topla temperatura koja dolazi iz tla krajolika. LST se opisuje kao temperatura koja se osjeća, dok mogu postojati promjene u dugovalnom zračenju i turbulentnim tokovima topline na sučelju tla i ekosustava [5]. Sve više puta LST se koristi za procjenu vremenskih promjena u gradskim zonama. Satelitske slike se koriste kao sredstva za statistiku tendencija i varijabilnosti temperature tla.

U jeziku daljinskog istraživanja, LST je površinska radiometrijska temperatura koju zrače kopnene površine i detektiraju senzori pod neposrednim kutom gledanja. LST se izvodi iz različitih platformi, npr. Terra/Aqua-MODIS, Terra-ASTER, NOAA-AVHRR i Meteosat-MVIRI. Površinske temperature na planinskim ledenjacima su neposredna zrcalna slika tople temperature na dnu ledenjaka, koja kontrolira stupanj ablacije. Podaci o temperaturama na dnu su stoga od vitalnog značaja za simulaciju evolucije planinskih ledenjaka i za poznavanje reakcija ledenjaka na vremenske promjene. Promatranja *in situ* upućuju na to da kada je položaj jednak 75° , u odnosu na zenitni položaj, pri $\lambda = 12,5 \mu\text{m}$ u golom ledu emisivnost iznosi dobrih 0,24. Međutim, studije koje se odnose na otkrivanje temperatura dna planinskih ledenjaka pomoću daljinskih senzora obično ne uzimaju u obzir topografiju (tj. prisutni položaj), i nedostaje provjera valjanosti strategija daljinskog očitavanja kroz korištenje površinskih mjerenja vremenskih prilika na planinskim ledenjacima. Globalno najtoplije zabilježeno petogodišnje razdoblje je bilo od 2011. do 2015. godine. U posljednjih nekoliko desetljeća, tehnologija daljinskog istraživanja je prilično doprinijela proučavanju temperature površine tla. Jedna od najranijih primjena mjerenja iz svemira bila je površinska temperatura i njezin odnos s učinkom urbanog toplinskog otoka i klimom. Od tada je

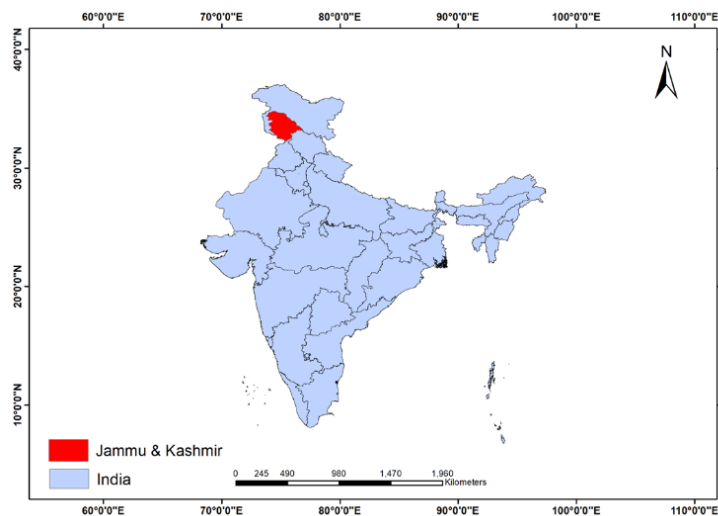
Singh, S. K., Kanga, S., Đurin, B., Kranjčić, N., Sajan, B., Sengar, A.

Procjena dnevne promjene temperature površine tla u Jamuu i Kašmiru, Indija

daljinsko istraživanje postalo ključno u području proučavanja temperature površine tla, uključujući proučavanje klime. [6-7] su koristili satelitska mjerenja površinske temperature kako bi istražili odnos između korištenja urbanog zemljišta i obrazaca zagrijavanja. Tijekom godina od 2006. do 2010. i od 2011. do 2015. globalne srednje godišnje temperature zraka bile su 0,5 i 0,57°C iznad prosjeka za razdoblje 1961.–1990. Globalni porast temperature zraka pojačan je na visokim geografskim širinama. Ciljevi ove studije su uključiti procjenu temperature površine tla u razdoblju od 2005. do 2020. godine i analizirati utjecaj temperature površine tla na lokalnu klimu. Podaci daljinskog istraživanja su korišteni za provjeru podataka LST-a sa stvarnim očitanjima temperatura na tlu, konkretno za pomoć u modeliranju površinskih temperatura. Ovisno o broju korištenih pojaseva, toplinski infracrveni (TIR) senzori mogu prikupiti kvantitativne, kvalitetne podatke o površinskoj temperaturi za evapotranspiraciju, klimatske promjene, hidrološki ciklus, praćenje vegetacije, urbanu klimu i ekološke studije pomoću metode jednog infracrvenog kanala ili metode podijeljenog prozora [8]. Sada je pomoću satelitskih podataka visoke razlučivosti moguće pratiti globalne klimatske promjene i njihove učinke na kriosferu kako na kontinentalnoj tako i na globalnoj razini, što je teško učiniti mjerenjima na licu mjesta. Provedeno je nekoliko studija i predloženi su različiti načini dobivanja LST-a pomoću satelitskih TIR podataka [9-11]. Satelitska promatranja su bolja od rezultata koji dolaze iz interpolacije podataka o temperaturi iz malog broja meteoroloških opservatorija.

2. PODRUČJE PROUČAVANJA

Savezni teritorij Jamua i Kašmira se nalazi na krajnjem sjeverozapadnom kraju Indije. Smješten je između 32°17' i 37°05' sjeverne geografske širine i 72°31' i 80°20' istočne geografske dužine. Više dijelove Kašmira pokrivaju planinski lanac Pir Panjal, lanac Karakorum i himalajski lanci. Državne šume su raspršene u tri velike geoklimatske zone, koje pokrivaju područja Jamua, Kašmira i Ladakha. Kašmirska dolina je uzdužna depresija u velikom sjeverozapadnom kompleksu himalajskih planinskih lanaca. To je značajno reljefno obilježje s ogromnim geografskim značajem. Dolina, koja je tektonski isklesana, ima snažnu genetsku vezu s himalajskim kompleksom, koji ima značajan utjecaj na njezinu geografsku cjelinu. Zauzima unutrašnjost države Jamu i Kašmir. Vegetacija i klima Jamua i Kašmira mogu se podijeliti u subtropsku, umjerenu i alpsku zonu, sa širokim rasponom divljih životinja i biljaka (slika 1.).

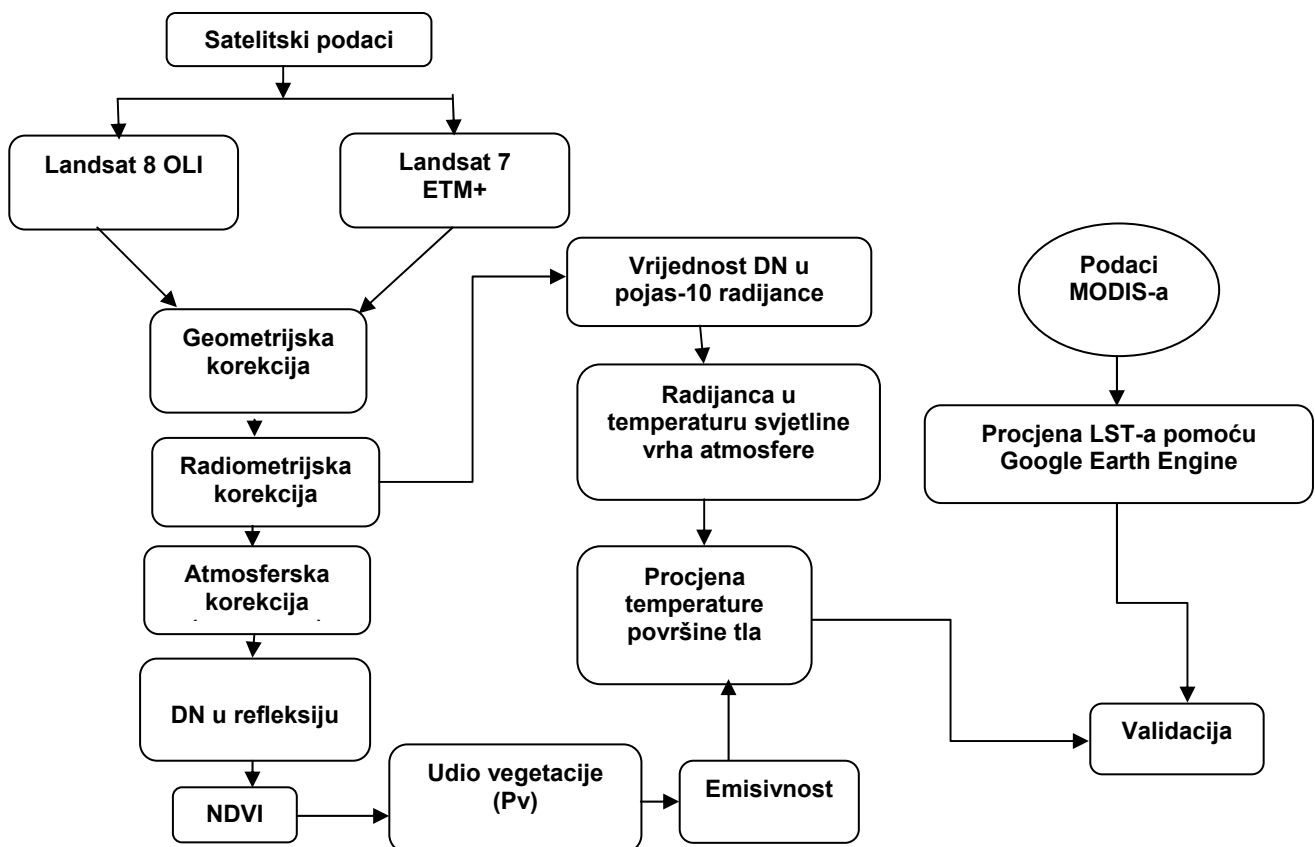


Slika 1. Karta područja proučavanja. Područje ispunjeno crvenom bojom je Savezni teritorij Jamua i Kašmira

Singh, S. K., Kanga, S., Đurin, B., Kranjčić, N., Sajan, B., Sengar, A.
Procjena dnevne promjene temperature površine tla u Jamuu i Kašmiru, Indija

3. MATERIJALI I METODE

Povećana dostupnost slika s platformi za daljinsko očitavanje s odgovarajućom prostornom i vremenskom točnošću, usporedivom s globalnim obuhvatom i niskim financijskim troškovima, omogućuje da se procjena parametara ledenjaka proširi na šire oblasti i dulja vremenska razdoblja. U vidljivom (VIS) i bliskom infracrvenom (NIR) pojasu elektromagnetskog spektra (0,35–2,5 mm) i zračenju koje emitira površina u toplinskom infracrvenom (TIR) (8–14 mm) mjereno kao temperatura svjetline senzora, optički senzori detektiraju sunčevo zračenje koje apsorbira površina Zemlje [12 – 19]



Slika 2. Dijagram toka - metodologija studije

Za ovu studiju korišteni su višesenzorski podaci daljinskog istraživanja sa Landsat-8 (OLI) i Landsat-7 ETM+. Za izračun temperature koristit će se toplinski infracrveni pojas. Landsat-8–TIRS ima dva pojasa, no mi koristimo pojas 10, čija spektralna razlučivost je od 10,60 m do 11,19 m. Spektralno svojstvo pojasa 10 je da izbjegava atmosfersko svojstvo prirodne apsorpcije, pa su slike Landsat-8 preuzete iz Geološkog instituta SAD-a, što je besplatno (<https://glovis.usgs.gov>). Na različitim valnim duljinama elektromagnetskog spektra Landsat senzori bilježe reflektiranu i emitiranu energiju sa Zemlje. Od mikroskopskih gama zraka i x-zraka do masivnih radio valova, elektromagnetski spektar obuhvaća sve vrste odaslane energije [20, 21]. Vidljive valne duljine ovog spektra su vidljive ljudskom oku.

Program LANDSAT je konstelacija optičkih i infracrvenih satelita za daljinsko istraživanje, projektiranih za promatranje kopna. Nacionalna uprava za zrakoplovstvo i svemir (NASA) započela je program 1972. godine, a nakon što je postao operativan, predan je Nacionalnoj

Singh, S. K., Kanga, S., Đurin, B., Kranjčić, N., Sajan, B., Sengar, A.
Procjena dnevne promjene temperature površine tla u Jamuu i Kašmiru, Indija

upravi za oceane i atmosferu (NOAA). Od 1984. godine komercijalna tvrtka EOSAT bila je zadužena za satelitske operacije i upravljanje podacima [22]. S druge strane, podaci stariji od dvije godine idu u "javnu domenu". Ovi podaci dolaze iz podatkovnog centra Sustava za promatranje Zemljinih resursa (EROS) Geološkog instituta SAD-a. Prvi satelit u seriji, LANDSAT-1 (ranije poznat kao Earth Resource Technology Satellite ERTS-1) lansiran je 23. srpnja 1972. godine. Očekivalo se da će satelit trajati godinu dana, ali je prestao raditi tek u siječnju 1978. godine. LANDSAT-2 lansiran je 22. siječnja 1975. godine, nakon čega su uslijedile još tri svemirske letjelice LANDSAT 1978., 1982. i 1984. godine (LANDSAT-3, 4, odnosno 5). Satelit LANDSAT-6 lansiran je u listopadu 1993. godine, ali nikada nije stigao u orbitu. LANDSAT-7, novi satelit, lansiran je 15. travnja 1999. godine. Satelitski senzor LANDSAT 8 uspješno je lansiran 11. veljače 2013. iz Space Launch Complexa 3 u bazi zrakoplovnih snaga Vandenberg u Kaliforniji i pridružit će se orbitalnoj konstelaciji LANDSAT.

4. REZULTATI I RASPRAVA

Za procjenu temperature površine tla (LST) pomoću satelitskih podataka dostupni su različiti algoritmi kao što su algoritam podijeljenog prozora, algoritam mono-prozora, algoritam jednog kanala i jednadžba prijenosa zračenja. U ovom radu za procjenu LST-a koristili smo dva različita algoritma, algoritam podijeljenog prozora na Landsatu 8 (OLI) za godine 2015. i 2020. i algoritam mono-prozora na Landsatu 7 ETM+ za godine 2005. i 2010. Algoritam podijeljenog prozora (eng. Split Window Algorithm, SWA) zahtijeva vrijednost temperature svjetline i pojasa 10 (TIR 1) i pojasa 11 (TIR 2), kao i emisivnost. Najčešće korištena tehnika za dobivanje temperature površine tla (LST) iz satelitskih podataka je pristup podijeljenog prozora [23]. Kako bi se riješio skup jednadžbi prijenosa zračenja (eng. Radiative Transfer Equation, RTE), potrebno je prvo pojednostaviti Planckovu funkciju, što je ključni korak u razvoju SWA. To nam omogućuje izravno povezivanje radijance s temperaturom [24]. Kao i za procjenu LST-a za godine 2005. i 2010. algoritam mono-prozor (eng. Mono Window) je korišten na podacima Landsat ETM+. Predloženi algoritam izravno razmatra djelovanje atmosfere i emitiranog tla na prijenos toplinskog zračenja tla i traži pronalaženje tri ključna parametra: emisivnost, propusnost i prosječna atmosferska temperatura. Prema validaciji, točnost algoritma je visoka do 0,4°C za procjenu ključnih parametara bez pogrešaka i 1,1°C za procjenu sa značajnim pogreškama. Tehnika je poznata kao pristup mono-prozora jer je korištena s podacima daljinskog očitavanja koji imaju samo jedan toplinski pojas.

Validacija je važno pitanje za prihvaćanje i nesigurnost podataka daljinskog očitavanja do kojih se dolazi nakon ispitivanja ili promatranja. U ovoj studiji, MODIS dnevni toplinski podaci procijenjeni su pomoću Google Earth Enginea prikazanog na slikama 3c, 4c, 5c i 6c. MODIS LST korišten je za usporedbu s termalnim podacima izračunatim Landsatom. Validacija pokazuje da se temperatura neznatno razlikuje između MODIS dnevnih podataka o temperaturi i skupova podataka o izračunatoj temperaturi.

Proces izračuna temperature površine tla sastoji se od šest koraka koji uključuju izračunavanje DN radijance, temperature radijance, NDVI, udjela vegetacije i temperature površine tla (slike 3.-6.):

Korak 1.

Za analizu i izračun LST-a potrebni su samo pojas 10 i pojas 11. Vrijednosti u preuzetim neobrađenim Landsat slikama su takozvani digitalni brojevi (eng. Digital Numbers, DN) senzora. Prvo ih je potrebno pretvoriti u vrijednosti refleksije vrha atmosfere pomoću sljedeće jednadžbe:

$$R_{TOA} = \frac{\pi * L}{\frac{1}{d^2} * I_{Sun} * \cos\theta_{Sun}} \quad (1)$$

Singh, S. K., Kanga, S., Đurin, B., Kranjčić, N., Sajan, B., Sengar, A.
Procjena dnevne promjene temperature površine tla u Jamuu i Kašmiru, Indija

gdje je:

L = zračenje nagore

d = udaljenost Zemlja - Sunce

I_{Sun} = srednja vanzemaljsko sunčevo zračenje

Θ_{Sun} = zenitni kut Sunca

Konverzija u radijancu vrha atmosfere:

Landsat podaci mogu se konvertirati u spektralnu radijancu vrha atmosfere pomoću faktora skaliranja radijance navedenih u datoteci metapodataka:

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

gdje je:

L_{λ} = Spektralna radijanca

M_L = Multiplikativni faktor skaliranja radijance za pojas (RADIANCE_MULT_BAND_n iz metapodataka)

A_L = Aditivni faktor skaliranja radijance za pojas (RADIANCE_ADD_BAND_n iz metapodataka)

Q_{cal} = L1 vrijednost piksela u DN

Korak 2.

Konverzija vrha atmosfere u temperaturu svjetline

$$BT = (K2 / (\ln(K1 / L) + 1)) - 273,15 \quad (3)$$

gdje je:

K_1 = Konstanta termalne konverzije specifična za pojas iz metapodataka ($K1_CONSTANT_BAND_x$, gdje je x broj termalnog pojasa).

K_2 = Konstanta termalne konverzije specifična za pojas iz metapodataka ($K2_CONSTANT_BAND_x$, gdje je x broj termalnog pojasa).

L_{λ} = vrh atmosfere

Stoga, za dobivanje rezultata u Celzijevim stupnjevima, temperatura zračenja se podešava dodavanjem apsolutne nule (približno $-273,15^{\circ}\text{C}$).

Korak 3.

Za izračun NDVI (vegetacijski indeks normalizirane razlike)

$$NDVI = (Pojas\ 5 - Pojas\ 4) / (Pojas\ 5 + Pojas\ 4) \quad (4)$$

Korak 4.

Za izračun udjela vegetacije P_v

$$P_v = \text{Kvadrat}((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})) \quad (5)$$

minimalne i maksimalne vrijednosti NDVI slike mogu se prikazati na slici (i u ArcGIS-u, QGIS-u, ENVI-u, i Erdas Imagine-u), ili za dobivanje tih vrijednosti možete otvoriti svojstva rastera.

Korak 5.

Za izračunavanje emisivnosti ϵ

$$\epsilon = 0,004 * P_v + 0,986 \quad (6)$$

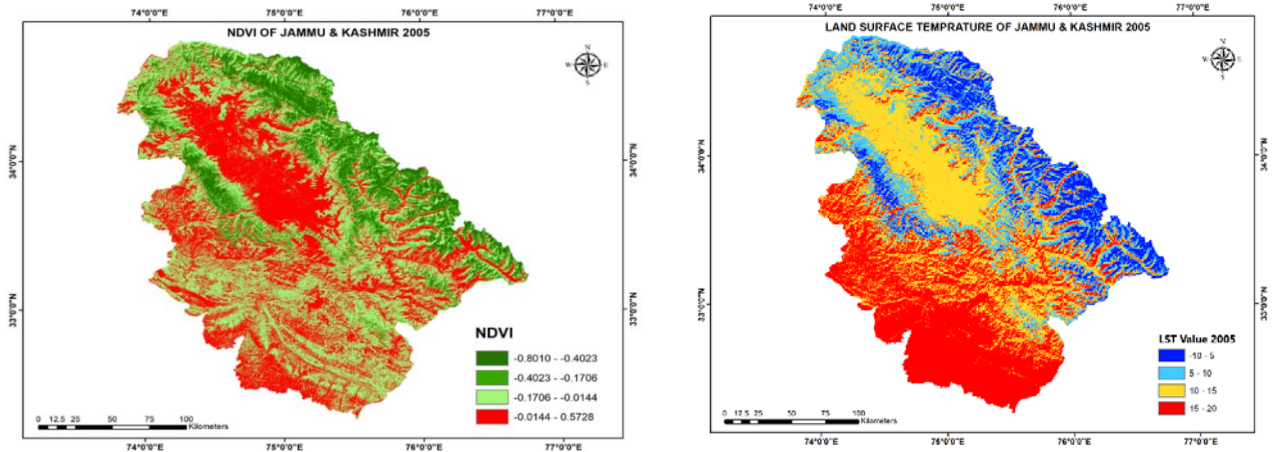
Ako se jednadžba primijeni u rasterskom kalkulatoru, vrijednost 0,986 odgovara vrijednosti korekcije jednadžbe.

Singh, S. K., Kanga, S., Đurin, B., Kranjčić, N., Sajan, B., Sengar, A.
Procjena dnevne promjene temperature površine tla u Jamuu i Kašmiru, Indija

Korak 6.

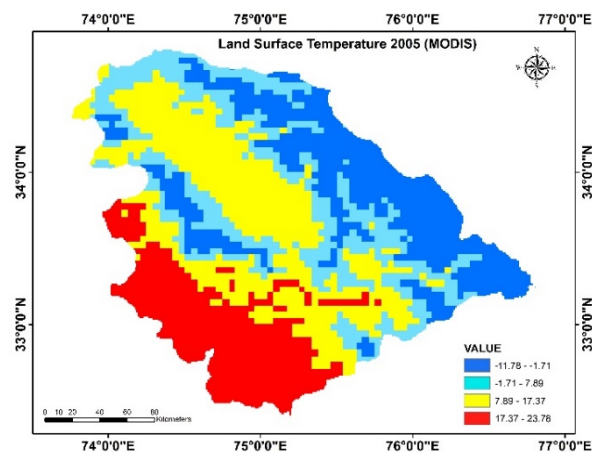
Za izračunavanje temperature površine tla

$$LST = (BT / (1 + (0,00115 * BT / 1,4388) * Ln(\epsilon))) \quad (7)$$

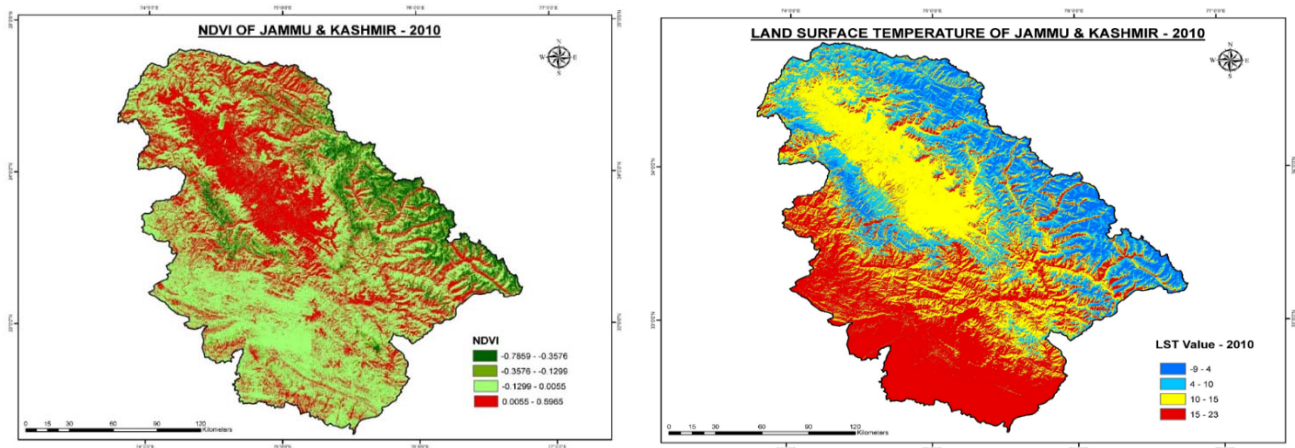


Slika 3. (a) NDVI 2005

(b) LST 2005



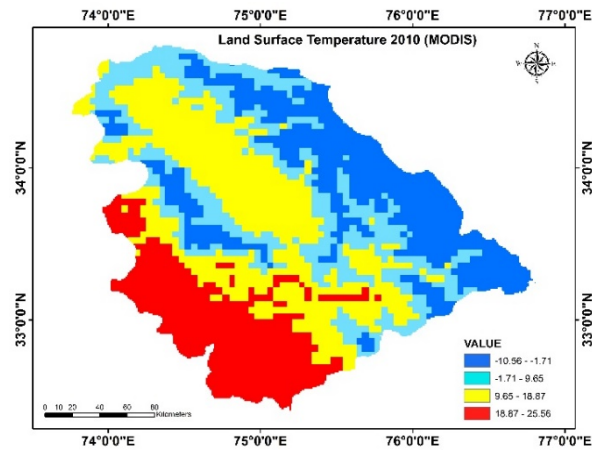
(c) MODIS LST 2005



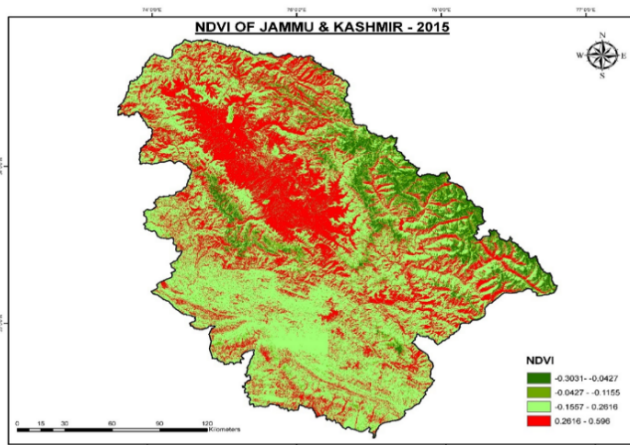
Slika 4. (a) NDVI 2010

(b) LST 2010

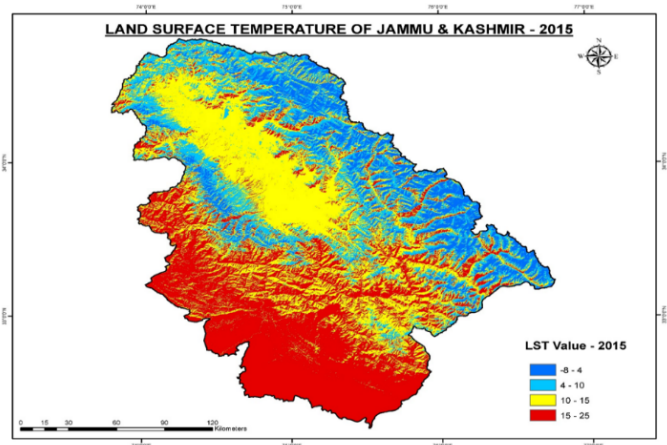
Singh, S. K., Kanga, S., Đurin, B., Kranjčić, N., Sajan, B., Sengar, A.
Procjena dnevne promjene temperature površine tla u Jammu i Kašmiru, Indija



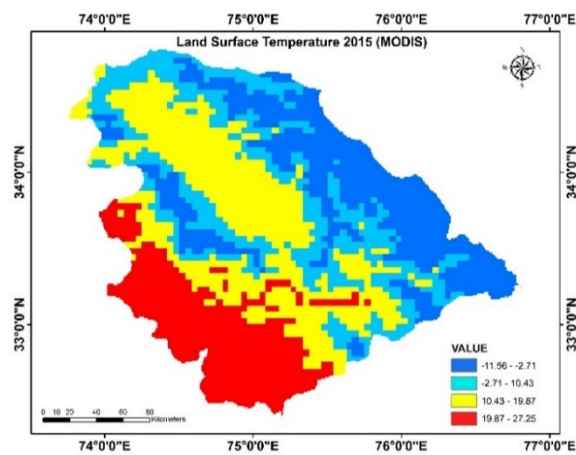
(c) MODIS LST 2010



Slika 5. (a) NDVI 2015

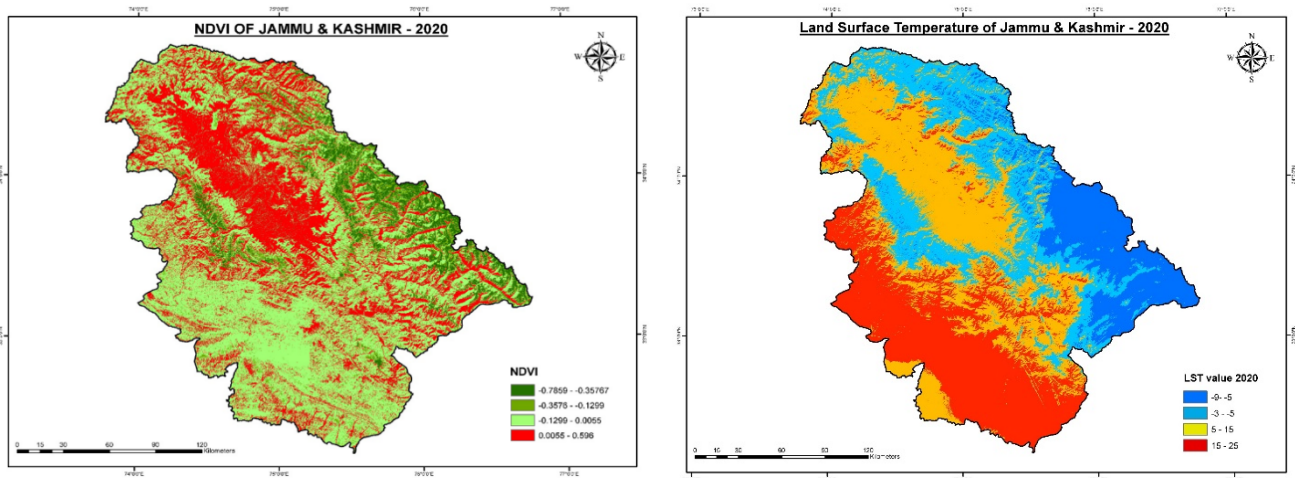


(b) LST 2015



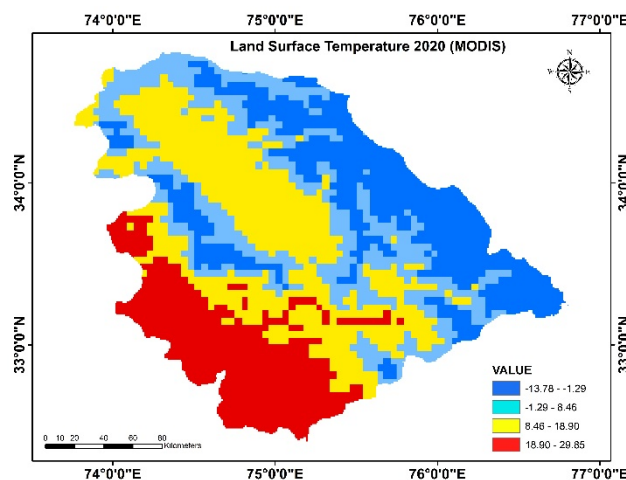
(c) MODIS LST 2015

Singh, S. K., Kanga, S., Đurin, B., Kranjčić, N., Sajan, B., Sengar, A.
Procjena dnevne promjene temperature površine tla u Jamuu i Kašmiru, Indija



Slika 6. (a) NDVI 2020

(b) LST 2020



(c) MODIS LST 2020

5. ZAKLJUČAK

Daljinsko istraživanje i GIS su korisni alati za izvođenje informacija o temperaturi površine tla i vegetacijskom indeksu normalizirane razlike. Primjena Landsat TM toplinskih infracrvenih podataka i Landsat OLI podataka za proučavanje temperatura površine tla na temelju daljinskog istraživanja LST-a određuje se iz toplinske emisije na valnim duljinama u infracrvenom pojasu. U istraživanju je potencijal daljinskog istraživanja za proučavanje temperature površine tla (LST) u Jamuu i Kašmiru predstavljen procjenom prostorne raspodjele. Studija je povezana s promjenjivim karakteristikama temperature površine tla kako na vremenskoj tako i na prostornoj razini. Slika nastala iz studije pokazuje da postoji promjena u vrijednostima LST-a za četiri godine. Vrijednosti su se ponešto promijenile u posljednjih 20 godina. Za studije urbanih toplinskih otoka, LST ima presudnu ulogu. Najviša zabilježena temperatura 2005. godine je bila 20°C. Najviša zabilježena temperatura 2020. godine je bila 25°C, s nešto manjim promjenama u nižoj temperaturi. Klimatski faktori poput brzine vjeta i padalina utječu na temperaturu površine tla. Povećanja LST-a služe kao pokazatelji stakleničkih plinova, a povećanje temperature površine tla dovodi do promjena u vegetaciji i površini ledenjaka. Sve veća urbanizacija jedan je

Singh, S. K., Kanga, S., Đurin, B., Kranjčić, N., Sajan, B., Sengar, A.
Procjena dnevne promjene temperature površine tla u Jamuu i Kašmiru, Indija

od faktora povećanja LST-a. Temperatura površine tla se može koristiti za predviđanje klime ili izradu klimatskih modela. Zajedno s temperaturom površine tla, emisivnost površine tla također ima važnu ulogu u otkrivanju karakteristika površine zemlje. Temperatura površine tla se koristi za nadziranje vegetacije i praćenje globalnog zatopljenja.

LITERATURA

1. Carlson, T. N., Ripley, D. A.: On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62, 241–252, 1997.
2. Chavez, P. S.: Image-based atmospheric correction—revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(9), 1025–1036, 1996.
3. Gillespie, A. R., Rokugawa, S., Hook, S., Matsunaga, T., Kahle, A. B.: A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36, 1113–1126, 1998.
4. Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A.: A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research*, 108, NO. D22, 4688, (doi: 10.1029/2003JD003480), 2003.
5. Meraj, G.: Ecosystem service provisioning—underlying principles and techniques. *SGVU J. Clim. Chang. Water*, 7, 56-64, 2020.
6. Qin, Z., Karnieli, A., Berliner, P.: A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel–Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 22(18), 3719–3746, 2001.
7. Rahman, H., Dedieu, G. SMAC: A simplified method for the atmospheric correction of satellite measurements in the solar spectrum. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 123–143, 1994.
8. Van de Griend, A. A., Owe, M.: On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, 14(6), 1119-1131, 1993.
9. Lambin, F. F., Ehrlich, D.: Combining vegetation indices and surface temperature for land-cover mapping at broad spatial scales, *International Journal of Remote Sensing*. 17, 573-579, 1996.
10. Wang Yongqian, Zhang Dejun, Sun Liang, Yang Shiqi, Shihao Tang, Gao Yanghua, Ye Qinyu, Zhu Hao: Evaluating FY3C-VIRR reconstructed land surface temperature in cloudy regions. *European Journal of Remote Sensing*, 54 (1), 266-280, 2021.
11. Meraj, G., Kanga, S., Kranjčić, N., Đurin, B., Singh, S. K.: Role of natural capital economics for sustainable management of earth resources. *Earth*, 2(3), 622-634, 2021.
12. Rozenstein, O., Qin, Z., Derimian, Y., Karnieli, A.: Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm. *Sensors* 2014, 14, 5768–5780.
13. Jimenez-Munoz, J. C., Sobrino, J. A., Skokovic, D., Matter, C., Cristobal, J.: Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 Thermal Infrared Sensor data. *IEEE Geosci. Remote Sens.* 2014, 11, 1840–1843
14. El-Hamid, H. T. A., Caiyong, W., Yongting, Z.: Geospatial analysis of land use driving force in coal mining area: Case study in Ningdong, China. *GeoJournal*, 2019 <https://doi.org/10.1007/s10708-019-10078-2>.
15. El-Zeiny, A., El-Kafrawy, S.: Assessment of water pollution induced by human activities in Burullus Lake using Landsat 8 operational land imager and GIS. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20, S49–S56., 2017, <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.10.002>.

Singh, S. K., Kanga, S., Đurin, B., Kranjčić, N., Sajan, B., Sengar, A.

Procjena dnevne promjene temperature površine tla u Jamuu i Kašmiru, Indija

16. El-Zeiny, A. M., Effat, H. A.: Environmental monitoring of spatiotemporal change in land use/land cover and its impact on land surface temperature in El-Fayoum governorate, Egypt. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2017 8, 266–277. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.10.003>.
17. Kanga, S., Meraj, G., Johnson, B. A., Singh, S. K., PV, M.N., Farooq, M., Kumar, P., Marazi, A., Sahu, N.: Understanding the Linkage between Urban Growth and Land Surface Temperature—A Case Study of Bangalore City, India. *Remote Sens.* 2022, 14, 4241. <https://doi.org/10.3390/rs14174241>
18. Nimish, G., Chandan, M., Bharath, H.: Understanding current and future land use dynamics with land surface temperature alterations: A case study of Chandigarh. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial information Sciences*, 2018, 4(5), 79–86.
19. Hereher, M. E.: Effect of land use/cover change on land surface temperatures—The Nile Delta, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 2017, 126, 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.11.027>.
20. Singh, Sachchidanand, Harikesh Singh, Vishal Sharma, Vaibhav Shrivastava, Pankaj Kumar, Shruti Kanga, Netrananda Sahu, Gowhar Meraj, Majid Farooq, and Suraj Kumar Singh: Impact of forest fires on air quality in Wolgan Valley, New South Wales, Australia—a mapping and monitoring study using Google Earth engine, *Forests* 13, no. 1 (2021): 4.
21. Chen, J. M., Liu, J.: Evolution of evapotranspiration models using thermal and shortwave remote sensing data, *Remote Sens. Environ.*, 2020, vol. 237.
22. Hugonnet, R., McNabb, R., Berthier, E., Menounos, B., Nuth, C., Girod, L., Farinotti, D., Huss, M., Dussaillant, I., Brun, F., Käab, A.: Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century, *Nature*, 2021, 592, 726–731, <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03436-z>.
23. Yao, R., Wang, L., Wang, S., Wang, L., Wei, J., Li, J., Yu, D.: A detailed comparison of MYD11 and MYD21 land surface temperature products in mainland China, *Int. J. Digit. Earth*, 2020, a, b, 1–17, <https://doi.org/10.1080/17538947.2019.1711211>.
24. Zhang, W., Zhang, B., Zhu, W., Tang, X., Li, F., Liu, X., Yu, Q.: Comprehensive assessment of MODIS-derived near-surface air temperature using wide elevation-spanned measurements in China, *Sci. Total Environ.*, 2021 800, 149535, <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.149535>.