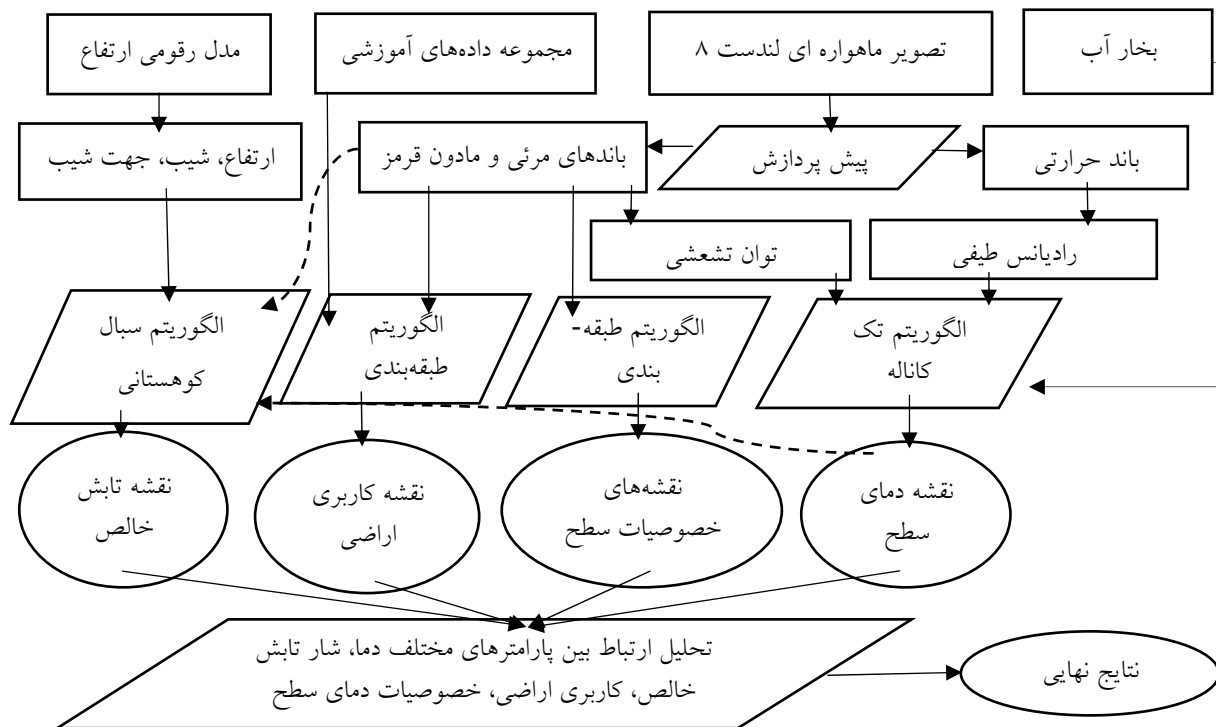


ماهواره‌ای بعد از طبقه‌بندی تصویر با روش بیشترین شباهت از الگوریتم درخت تصمیم‌گیری برای جداسازی و تفکیک کامل این کاربری‌ها استفاده شده است. برای این منظور از اطلاعات هندسی شیب و ارتفاع منطقه مورد مطالعه استفاده شد. در نهایت دقت طبقه‌بندی کاربری اراضی با توجه به تلفیق دو الگوریتم با استفاده از داده‌های کنترل مربوط به ارزیابی دقت محاسبه گردید. با در نظر گرفتن دقت طبقه‌بندی و قابل قبول بودن این پارامتر، نقشه کاربری اراضی منطقه تهیه شد. روند کلی انجام پژوهش در شکل ۲ ارائه شده است.

(Maximum likelihood classification) برای طبقه‌بندی کاربری اراضی استفاده شد. این روش جزء روش‌های نظارت‌شده برای طبقه‌بندی محسوب شده و از مجموعه داده‌های آموزشی برای این منظور استفاده می‌کند. در این روش بعد از ارزیابی احتمالات در هر کلاس، پیکسل‌ها به کلاس‌هایی که بیشترین شباهت را دارند اختصاص می‌یابند و اگر مقادیر احتمال پایین‌تر از حد آستانه معرفی شده باشند به عنوان پیکسل طبقه‌بندی نشده در نظر گرفته می‌شود (۲۴). با توجه به شباهت اطلاعات طیفی کلاس‌های جنگل با کشاورزی و باغ و کلاس‌های بایر و زمین‌های زراعی آیش در تصاویر



شکل ۲. مراحل کلی انجام پژوهش

تصاویر ماهواره‌ای قادر به تهیه نقشه‌های مشخصه‌های مختلف هستیم. در این مطالعه از شاخص اختلاف اراضی ساخته شده نرمال شده (NDBI) استفاده شد (۳۰). این شاخص با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید. در این رابطه؛ ρ_{MID} انعکاس طیفی باند مادون قرمز میانی و ρ_{NIR} انعکاس طیفی باند مادون قرمز نزدیک در لندست ۸ است.

استخراج خصوصیات بیوفیزیکی سطح

شاخص‌های طیفی مختلف، بر اساس تفاوت در رفتار طیفی مربوط به میزان جذب، بازتاب و عبور امواج الکترومغناطیسی در طول موج‌های مختلف برای عوارض متفاوت استوار هستند. با توجه به این با ترکیب باندی مختلف

و اطلاعات رطوبت شامل خصوصیات عوارض مرتبط با آب، رطوبت خاک، گیاه و اراضی ساخته شده را نشان می دهند (۱۹). ماتریس ضرایب اختصاصی برای سنجنده های تصویربرداری مختلف متفاوت هستند که با تجزیه و تحلیل های آماری و تجربی به صورت مجزا برای سنجنده های مختلف محاسبه می شوند. ضرایب مربوط به شاخص های TCT برای تصاویر لندست ۸ بر اساس جدول ۲ استفاده گردید (۱۹).

$$NDBI = \frac{\rho_{MID} - \rho_{NIR}}{\rho_{MID} + \rho_{NIR}} \quad [1]$$

شاخص های TCT با یک ترکیب خطی از باندهای تصاویر و ماتریس ضرایب اختصاصی اطلاعات مفید و مؤثری را از تصاویر اولیه استخراج می کنند. اطلاعات مربوط به روشنایی، سبزیگی و رطوبت سه جز اصلی اطلاعات استخراج شده از شاخص های TCT می باشند. اطلاعات روشنایی به نوعی درصد سطوح نفوذناپذیر شامل اراضی بایر و ساخته شده، اطلاعات سبزیگی مربوط به درصد پوشش گیاهی

جدول ۲. ضرایب مربوط به شاخص های TCT برای تصاویر لندست ۸

باند	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷
روشنایی	۰/۰۰۰۰	۰/۳۰۲۹	۰/۲۷۸۶	۰/۴۷۳۳	۰/۵۵۹۹	۰/۵۰۸	۰/۱۸۷۲
سبزیگی	۰/۰۰۰۰	-۰/۲۹۴۱	-۰/۲۴۳	-۰/۵۴۲۴	۰/۷۲۷۶	۰/۰۷۱۳	-۰/۱۶۰۸
رطوبت	۰/۰۰۰۰	۰/۱۱۱۵	۰/۱۹۷۳	۰/۳۲۸۳	۰/۳۴۰۷	-۰/۷۱۱۷	-۰/۴۵۵۹

پوشش گیاهی، توان تشعشعی محاسبه گردید. برای باند ۱۰ لندست ۸ توان تشعشعی از رابطه ۴ محاسبه گردید.

[۴]

if FVC=0 then LSE=0.979-0.046ρ_{Red}
 if 0<FVC≤1 then LSE=0.971(1-FVC)+0.987FVC
 if NDVI<0 then LSE=0.991

که در رابطه؛ ρ_{red} بازتابندگی باند قرمز و FVC کسر پوشش گیاهی است. برای محاسبه دمای سطح منطقه از الگوریتم تک کاناله استفاده شد. این الگوریتم توسط جیمز و سوبرینو (۱۳) پیشنهاد گردید که این الگوریتم از رابطه ۵ محاسبه گردید.

$$LST = \gamma \left[\frac{1}{\epsilon} (\psi_1 L_{sen} + \psi_2) + \psi_3 \right] + \delta \quad [5]$$

در این رابطه؛ LST دمای سطح، L_{sen} میزان انرژی ثبت شده در سنجنده برای باند حرارتی، ϵ میزان توان تشعشعی مربوط به طول موج باند حرارتی مورد استفاده، γ و δ دو پارامتر وابسته به تابع پلانک هستند که از رابطه های ۶ و ۷ محاسبه گردید. همچنین ψ_1 ، ψ_2 و ψ_3 توابع اتمسفری هستند که برای

دمای سطح

برای محاسبه دمای سطح زمین ابتدا باید توان تشعشعی سطح زمین محاسبه شود. برای محاسبه توان تشعشعی سطح زمین از روش جیمز و سوبرینو استفاده شد (۲۷). در این روش توان تشعشعی سطح زمین با استفاده از شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) و کسر پوشش گیاهی (FVC) تهیه گردید (رابطه ۲).

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad [2]$$

در این رابطه؛ ρ_{red} و ρ_{nir} به ترتیب بازتابندگی در باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز می باشد. مقادیر این شاخص بین -۱ و +۱ است. شاخص کسر پوشش گیاهی (FVC) با استفاده از رابطه ۳ محاسبه گردید (۲۷).

$$FVC = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \right)^2 \quad [3]$$

در این رابطه؛ $NDVI_v$ مربوط به پوشش گیاهی متراکم و $NDVI_s$ مربوط به خاک خشک است. با به دست آوردن کسر

لندست ۸ از رابطه ۸ تعیین گردید (۱۲).

$$\gamma = \frac{T_{sen}^2}{b_{\lambda} L_{sen}} \quad [6]$$

$$\delta = -\gamma \times L_{sen} + T_{sen} \quad [7]$$

$$\begin{aligned} \psi_1 &= 0.04019w^2 + 0.02916w + 1.01523 \\ \psi_2 &= -0.38333w^2 - 1.50294w - 0.20324 \\ \psi_2 &= +0.00918w^2 + 1.36072w - 0.27514 \end{aligned} \quad [8]$$

که در این رابطه‌ها؛ T_{sen} دمای درخشندگی ثبت شده در سنجنده، L_{sen} میزان انرژی ثبت شده در سنجنده برای باند حرارتی، b_{λ} ضریب ثابتی است که برای باند ۱۰ لندست ۸ برابر با ۱۳۲۴ درجه کلون در نظر گرفته می‌شود. w میزان بخارآب موجود در اتمسفر که با استفاده از محصول بخارآب مودیس برای تاریخ موردنظر به دست می‌آید.

شار تابش خالص

شار تابش خالص در سطح، تابش ساطع شده واقعی موجود در سطح را نشان می‌دهد و از طریق کسر تمام شارهای رادیانسی خروجی از شارهای رادیانسی فرودی محاسبه می‌شود (۳۶). شار تابشی خالص در سطح با استفاده از رابطه ۹ محاسبه گردید.

$$R_n = R_{s\downarrow} - \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon) R_{L\downarrow} \quad [9]$$

که در این رابطه؛ R_n شار تابشی خالص در سطح، $R_{s\downarrow}$ تابش موج کوتاه فرودی، $R_{L\downarrow}$ تابش موج بلند فرودی، $R_{L\uparrow}$ تابش موج بلند خروجی، α آلیبدو سطح و ε بیانگر توان تشعشعی سطح منطقه می‌باشد. در این رابطه مقادیر تابش موج کوتاه که در سطح باقی می‌ماند تابعی از آلیبدو سطح می‌باشد. آلیبدو سطح، ضریب انعکاسی است که از طریق شار رادیانسی انعکاسی به شار رادیانسی فرودی در طیف الکترومغناطیسی به دست می‌آید (۳۶). برای تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI این پارامتر با استفاده از رابطه ۱۰ محاسبه گردید.

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path-radiance}}{\tau_{sw}^2} \quad [10]$$

که در رابطه؛ α_{toa} آلیبدوی بالای جو، $\alpha_{path-radiance}$ آلیبدوی معادل تابش مسیر و τ_{sw} ضریب شفافیت اتمسفری می‌باشد. α_{toa} از رابطه ۱۱ تعیین گردید.

$$\alpha_{toa} = \sum_{i=1}^n (W_{i\lambda} \cdot \rho_{i\lambda}) \quad [11]$$

در این رابطه؛ n تعداد باندهای سنجنده، $\rho_{i\lambda}$ انعکاس طیفی باند i ، $W_{i\lambda}$ ضریب وزنی برای باند i می‌باشد که از رابطه ۱۲ محاسبه گردید.

$$W_{i\lambda} = \frac{ESUN_{i\lambda}}{\sum ESUN_{i\lambda}} \quad [12]$$

در این رابطه؛ $ESUN_{i\lambda}$ میانگین تابش فرودی خورشید در بالای اتمسفر برای هر باند است که از رابطه ۱۳ محاسبه گردید.

$$ESUN_{i\lambda} = \frac{4\pi R_s^2 B_{\lambda}}{4\pi R_e^2} \quad [13]$$

در این رابطه؛ B_{λ} تابش جسم سیاه (خورشید) در دمای معین (۵۷۶۰ درجه کلون)، R_s شعاع خورشید و R_e فاصله زمین تا خورشید می‌باشد. مقادیر $\alpha_{path-radiance}$ بین ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۴ متغیر می‌باشد که این مقدار در الگوریتم سبال ۰/۰۳ در نظر گرفته شد (۳۶). ضریب شفافیت اتمسفری بر اساس رابطه‌ای مبتنی بر ارتفاع از رابطه ۱۴ محاسبه گردید.

$$\tau_{sw} = 0.75 + 2 \times 10^{-5} \times Z \quad [14]$$

در این رابطه؛ Z ارتفاع از سطح دریا برحسب متر است. در رابطه ۶ برای مقادیر Z مدل رقومی ارتفاع منطقه معرفی می‌شود. تابش موج بلند فرودی، شار تابش حرارتی از سمت اتمسفر به سمت پایین می‌باشد (۳۶). که با استفاده از رابطه ۱۵ محاسبه می‌شود.

$$R_{L\downarrow} = 0.85 \times (-\ln \tau_{sw})^{0/09} \times \sigma \times T_{cold}^4 \quad [15]$$

در این رابطه؛ τ_{sw} ضریب شفافیت اتمسفری موج کوتاه، T_{cold} دمای سطح پیکسل سرد که و σ ثابت استفان بولتزمن می‌باشد. تابش موج بلند خروجی، شار تابش حرارتی از سطح

که از طریق روابط ۱۹ تا ۲۱ محاسبه می‌شوند (۳۶). همچنین s بیانگر شیب و γ نشان‌دهنده جهت شیب هر دو برحسب رادیان می‌باشند.

$$\delta = 0.409 \sin \left\{ \left(\frac{2\pi}{365} \times \text{DOY} \right) - 1.39 \right\} \quad [19]$$

$$\varphi = \text{Latitude in degrees} \times \pi 0.180 \quad [20]$$

$$w = \frac{\pi}{12} \{ (t + 0/06667(L_z - L_m) + S_c) - 12 \} \quad [21]$$

در این رابطه؛ DOY روز اخذ تصویر از سال میلادی، t زمان استاندارد عبور ماهواره، L_z طول جغرافیایی مرکز قاچ زمان محلی (برحسب درجه)، L_m طول جغرافیایی مرکز تصویر ماهواره‌ای (برحسب درجه) و S_c تصحیح فصلی برای زمان خورشید (برحسب ساعت) که به صورت رابطه‌های ۲۲ و ۲۳ محاسبه گردید (۳۶).

$$S_c = 0.1645 \sin(2b) - 0.1255 \cos(b) - 0.025 \sin(b) \quad [22]$$

$$b = 2\pi(\text{DOY} - 81)/364 \quad [23]$$

نتایج و بحث

نقشه کاربری اراضی با توجه به زمان مورد مطالعه در شش کلاس اراضی (بایر، زراعی آیش، آبی، کشاورزی و باغ و جنگل) برای منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. با توجه به زمان در نظر گرفته شده در پژوهش، کاربری اراضی کشاورزی و باغ به عنوان یک نوع کاربری در نظر گرفته شده است. در تاریخ مورد استفاده اراضی کشاورزی که از نوع شالیزار می‌باشد به صورت کامل سبز می‌باشد. نقشه کاربری اراضی منطقه (شکل ۳) و نتایج دقت طبقه‌بندی کاربری اراضی در جدول ۳ ارائه گردید. نقشه شاخص پوشش گیاهی NDVI ، توان تشعشعی، دما، سبزیگی، روشنایی، رطوبت، آلبیدو و NDBI سطح منطقه در شکل ۳ نشان داده شده است.

زمین به سمت بالا می‌باشد (۳۶) که با استفاده از معادله استفان-بولتزمن از رابطه ۱۶ محاسبه گردید.

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 \times \sigma \times T_s^4 \quad [16]$$

در این رابطه؛ ε_0 گسیلمندی سطحی باند پهن، σ ثابت استفان-بولتزمن و T_s دمای سطح زمین می‌باشد. تابش موج کوتاه فرودی، شار تابشی مستقیم و پراکنده خورشید که به زمین می‌رسد (۳۶). با فرض شرایط آسمان صاف، از رابطه ۱۷ برای زمان تصویربرداری محاسبه گردید.

$$R_{s\downarrow} = G_{sc} \times \cos\theta \times d_r \times \tau_{sw} \quad [17]$$

که در رابطه؛ G_{sc} ثابت خورشیدی، θ زاویه فرودی امواج خورشید به سطح زمین، d_r معکوس مربع فاصله نسبی زمین تا خورشید و τ_{sw} ضریب شفافیت اتمسفری می‌باشد. زاویه فرودی امواج خورشید زاویه‌ای است که شعاع خورشید با خط عمود بر سطح زمین می‌سازد. در مدل سبال مسطح فرض براین است که سطح زمین کاملاً افقی است و بنابراین زاویه فرود موج خورشید بسیار ساده بوده و برای سطح تمامی منطقه مورد مطالعه ثابت است. این در حالی است که در مدل سبال کوهستانی، زاویه فرود موج برای هر پیکسل متفاوت بوده و وابسته به شیب، جهت شیب، طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی در آن نقطه می‌باشد (۳۶). برای محاسبه زاویه فرود موج از رابطه ۱۸ استفاده گردید.

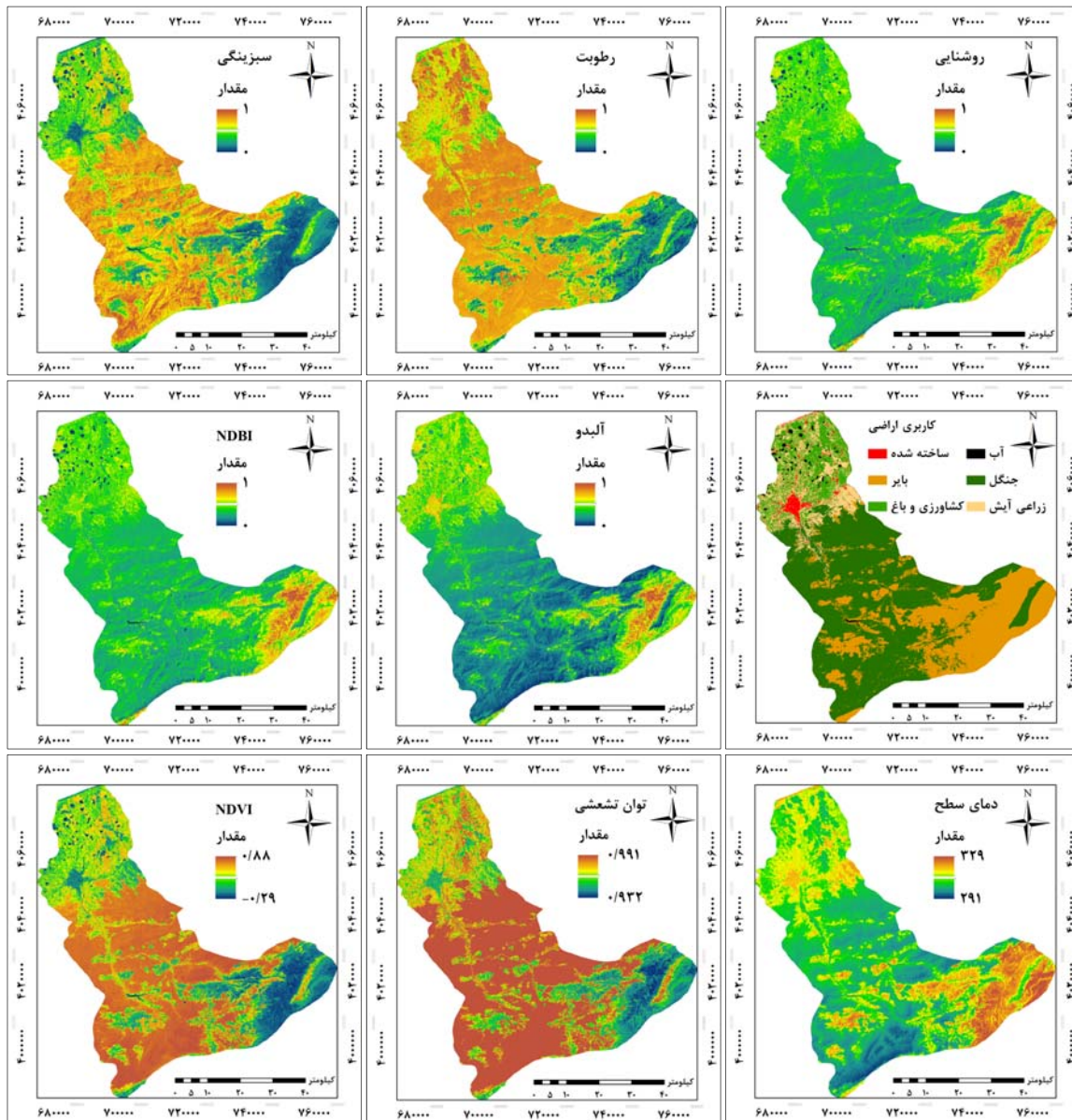
$$[18]$$

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \sin(\delta) \sin(\varphi) \cos(s) - \sin(\delta) \cos(\varphi) \sin(s) \cos(w) + \\ & \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(s) \cos(\gamma) + \\ & \cos(\delta) \sin(\varphi) \sin(s) \cos(\gamma) \cos(w) + \\ & \cos(\delta) \sin(\varphi) \sin(s) \sin(w) \end{aligned}$$

در این رابطه؛ δ میزان انحراف زمین، φ عرض جغرافیایی و w نشان‌دهنده زاویه ساعتی همگی برحسب رادیان می‌باشند

جدول ۳. نتایج دقت طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی موجود در منطقه

کاربری اراضی	ساخته شده	بایر	کشاورزی و باغ	آب	جنگل	زراعی آیش
ضریب کاپا	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۲
دقت کلی	۹۵	۹۲/۳	۹۳	۹۸	۹۶	۹۴



شکل ۳. نقشه‌های نرمال شده شاخص‌های TCT، NDBI، آلبیدوی سطح، کاربری اراضی، NDVI، توان تشعشعی و دمای سطح

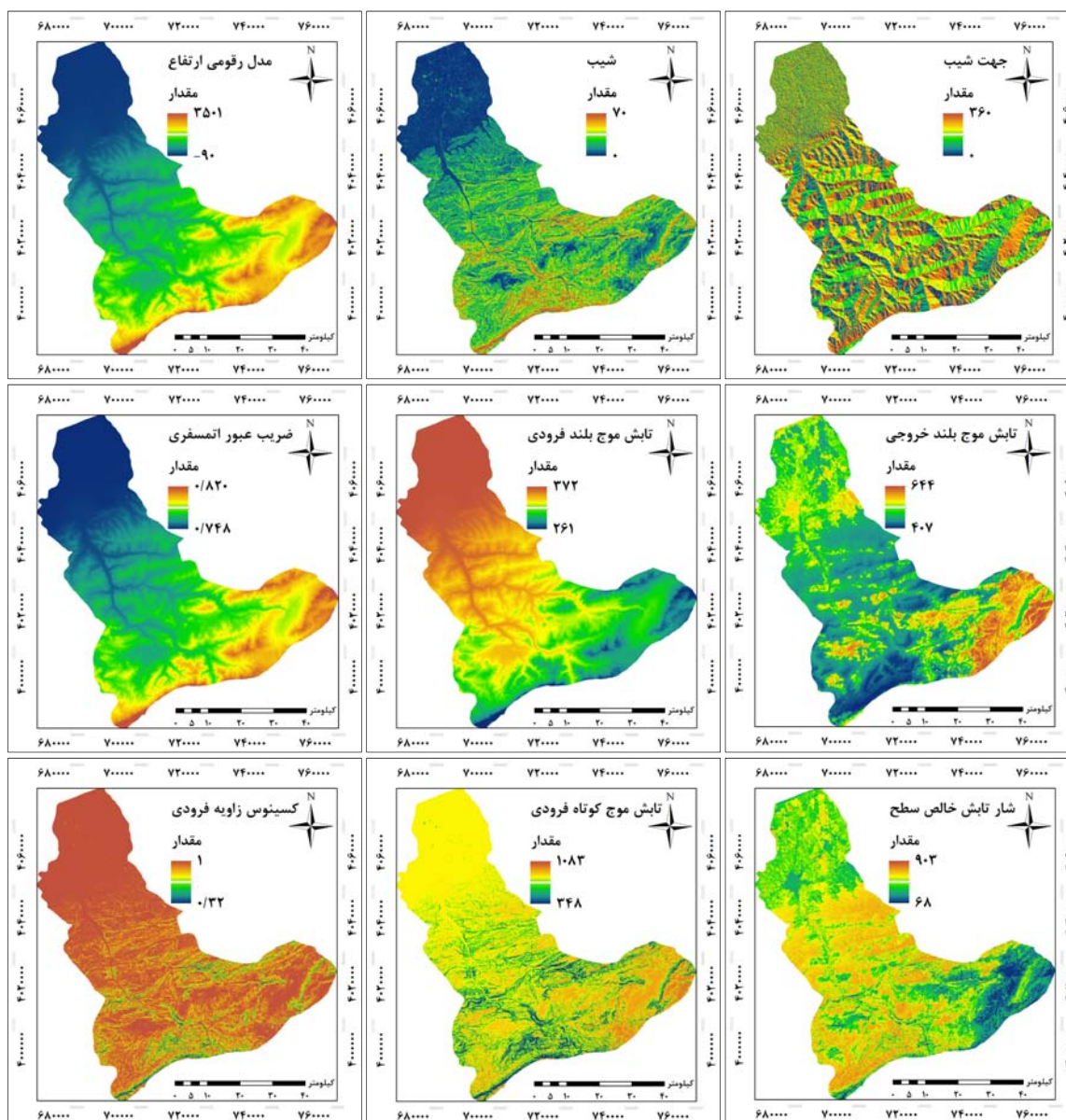
پارامترهای بیلان انرژی

با توجه به مدل رقومی ارتفاع نقشه ضریب عبور اتمسفری برای منطقه مورد مطالعه به دست آمده است. با استفاده از نقشه ضریب عبور اتمسفری و مقادیر پیکسل سرد در لحظه

تصویربرداری برای منطقه، تابش موج بلند فرودی به سطح منطقه با استفاده از رابطه ۱۶ محاسبه شد. همچنین با توجه به دمای سطح به دست آمده از الگوریتم تک بانندی، تابش موج بلند خروجی از سطح به سمت اتمسفر تعیین گردید. برای محاسبه

منطقه محاسبه شد و با توجه به کسینوس زاویه فرودی، تابش موج کوتاه فرودی به سطح محاسبه گردید. در نهایت با توجه به این که کلیه پارامترهای مجهول رابطه شار خالص تابش محاسبه شد. نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، شیب، جهت شیب، ضریب عبور اتمسفری، تابش موج بلند فرودی، تابش موج بلند خروجی، خروجی، کسینوس زاویه فرودی، تابش موج کوتاه فرودی و تابش خالص سطح منطقه در شکل ۴ آورده شده است.

تابش موج کوتاه فرودی به منطقه با توجه به این که منطقه از نظر توپوگرافی ناهمگن می‌باشد باید شرایط ارتفاعی، شیب و جهت شیب منطقه در نظر گرفته شود. با تعیین پارامترهای لازم برای محاسبه زاویه فرود امواج خورشیدی به سطح منطقه از جمله میزان انحراف زمین، عرض جغرافیایی منطقه، زاویه ساعتی، شیب و جهت شیب برحسب رادیان برای هر پیکسل از منطقه، متغیر کسینوس زاویه فرودی برای هر پیکسل از



شکل ۴. نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع (متر) و شیب (درجه)، جهت شیب (درجه)، ضریب عبور اتمسفری، تابش موج بلند فرودی به سطح (W/m^2) و تابش موج بلند خروجی از سطح (W/m^2) منطقه، کسینوس زاویه فرودی، تابش موج کوتاه فرودی (W/m^2) و شار تابش خالص سطح (W/m^2)

حداکثر تابش خالص هستند. همچنین کاربری کشاورزی و آب موجود در منطقه نیز از شار تابش خالص بالایی برخوردار است. برعکس کاربری‌های بایر و ساخته شده از مقدار شار تابش خالص پایین برخوردار هستند.

ارتباط دمای سطح با شاخص‌های بیوفیزیکی

ارتباط بین دمای سطح و شاخص‌های TCT، NDVI، NDBI و آلبیدو ۸۷ نقطه نمونه در جدول ۴ آورده شده است. نتایج حاصل از جدول ۴ نشان می‌دهد که ارتباط قوی بین دمای سطح و شاخص‌های TCT وجود دارد. بین دمای سطح و شاخص روشنایی ارتباط مستقیم و با شاخص‌های سبزیگی و رطوبت ارتباط معکوس وجود دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزایش آلبیدو و مقدار شاخص NDBI، دمای سطح افزایش خواهد یافت. شاخص NDVI نیز با دمای سطح ارتباط غیرمستقیم دارد. معنادار بودن ضرایب به دست آمده برای روابط فوق در سطح اطمینان ۹۵ درصد بررسی شده است و با توجه به مقادیر حاصل شده برای آماره t معنادار بودن روابط تأیید شده است.

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع ضریب عبور اتمسفری افزایش و تابش موج بلند فرودی کاهش می‌یابد. بنابراین مناطق شمالی منطقه مورد مطالعه به دلیل این که در مناطق پست تر از مناطق جنوبی قرار دارند تابش موج بلند بیشتری را از اتمسفر دریافت می‌کنند. تابش موج بلند خروجی با دمای سطح رابطه مستقیم دارد مناطقی که دمای سطح بالاتری دارند تابش موج بلند بیشتری از آن‌ها ساطع می‌شود. مناطقی که دارای کسینوس زاویه فرودی بالاتری هستند تابش موج کوتاه فرودی بیشتری دریافت می‌کنند. به عبارت دیگر در این مناطق زاویه فرود تابش خورشید به منطقه به زاویه عمودی نزدیک تر است. مناطق به دلیل قرارگیری شیب‌ها و جهت شیب‌های مختلف تابش متفاوتی را دریافت کرده‌اند. در شرایط شیب و جهت شیب برابر، مناطقی که در ارتفاع بالاتری از سطح آب‌های آزاد قرار دارند تابش موج کوتاه بیشتری دریافت می‌کنند. همان‌طور که در نقشه تابش موج کوتاه فرودی به سطح مشخص می‌باشد در مناطق جنوبی برخلاف مناطق شمالی تغییرات محلی تابش موج کوتاه فرودی بیشتر می‌باشد که دلیل آن تغییرات شدیدتر توپوگرافی در این مناطق می‌باشد. مناطق مرکزی به دلیل پوشش کاربری جنگل و فضای سبز دارای

جدول ۴. ارتباط بین دمای سطح و شاخص‌های TCT، NDVI و NDBI

پارامترها	رابطه	ضریب همبستگی
دمای سطح و NDVI	$LST = -0.853 NDVI + 1.091$	۰/۸۳۳
دمای سطح و NDBI	$LST = 0.872 NDBI + 0.63$	۰/۸۲۳
دمای سطح و آلبیدو	$LST = 1.660 Albedo + 0.06$	۰/۶۳۷
دمای سطح و روشنایی	$LST = 1.516 Brightness - 0.057$	۰/۶۴۳
دمای سطح و سبزیگی	$LST = -0.94 Greenness + 0.897$	۰/۷۰۱
دمای سطح و رطوبت	$LST = -1.991 Wetness + 2.013$	۰/۷۹۳

آلبیدو، روشنایی و دمای سطح ارتباط معکوس دارد. مقادیر ضرایب همبستگی ارتباط قوی را بین شار تابش خالص و این شاخص‌ها نشان می‌دهد. معنادار بودن ضرایب به دست آمده برای روابط فوق در سطح اطمینان ۹۵ درصد بررسی شد و مقادیر حاصل شده برای آماره t تأیید کننده معنادار بودن روابط

ارتباط تابش خالص با شاخص‌های بیوفیزیکی

ارتباط بین شار تابش خالص با شاخص‌های TCT، NDVI، NDBI و آلبیدو سطح بررسی شد و نتایج در شکل ۵ آورده شده است. شار تابش خالص با پارامترهای NDVI، سبزیگی و رطوبت ارتباط مستقیم و با پارامترهای NDBI،

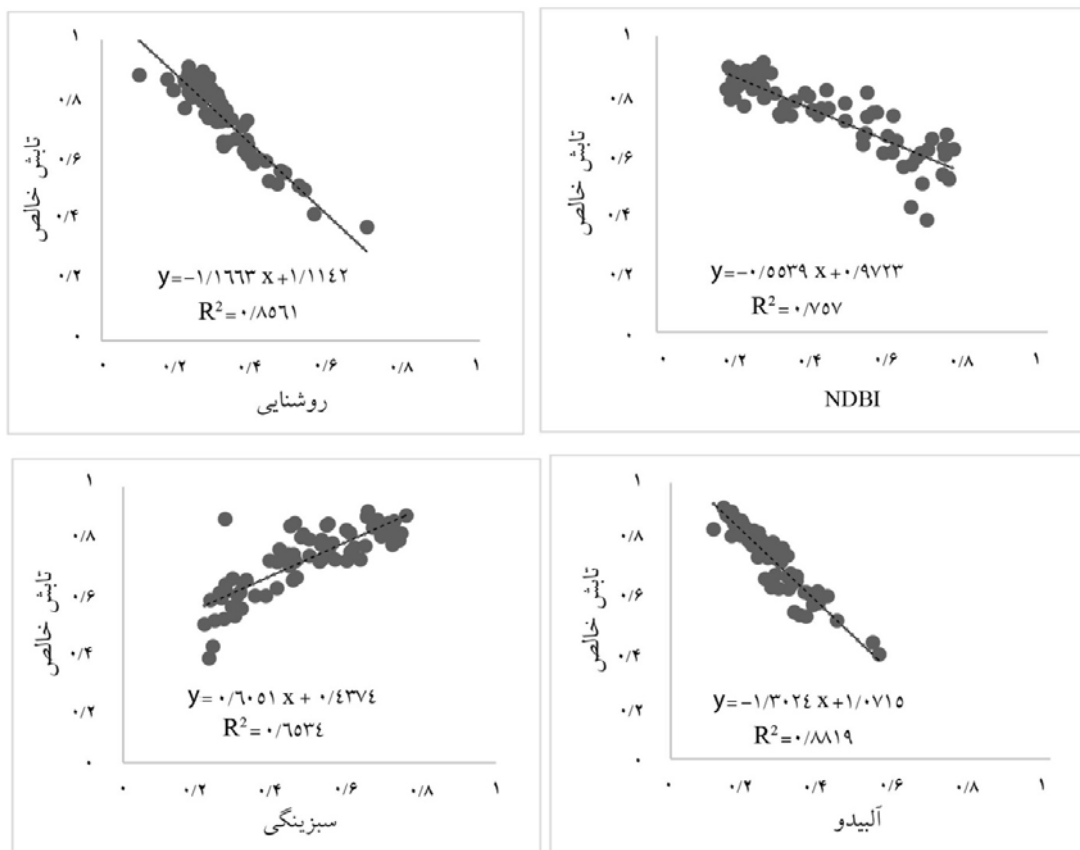
وضعیت دمای سطح و شار تابش خالص کاربری‌های اراضی در منطقه دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مختلفی هستند همین امر باعث بروز تفاوت در ویژگی دمای سطح و شار تابش خالص فرودی برای هر یک از آن‌ها می‌گردد. تفاوت خصوصیات مختلف با استفاده از شاخص‌های مورد استفاده نشان داد که مقادیر شاخص‌های TCT، NDBI و آلبیدو برای هر پیکسل تأثیر مستقیم بر میزان پارامترهای دمای سطح و شار تابش خالص برای آن پیکسل می‌گذارند (جدول ۴؛ شکل ۵). مقادیر میانگین هر یک از شاخص‌های فوق برای کاربری‌های مختلف موجود در شکل ۶ نشان داده شده است.

است. نتایج نشان می‌دهد که ارتباط قوی با ضریب همبستگی ۰/۹۴ بین متغیر مستقل و پارامترهای وابسته وجود دارد (رابطه ۲۴).

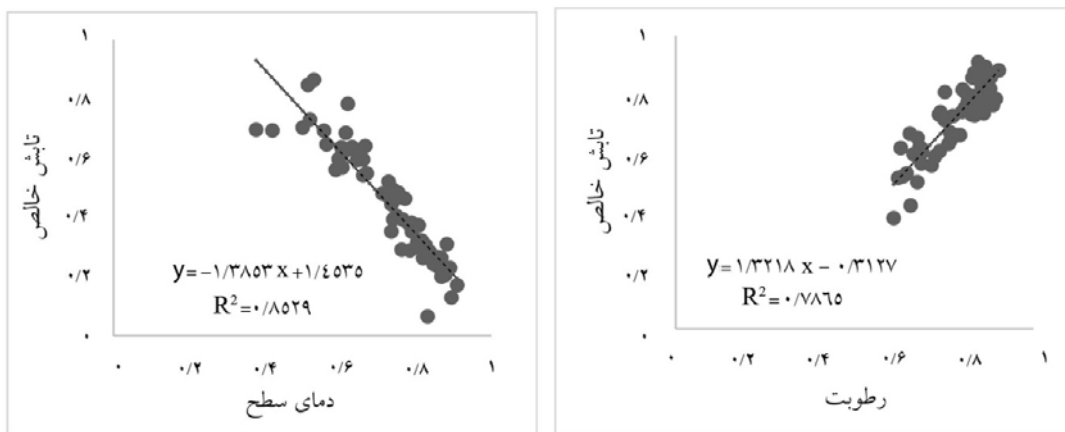
[۲۴]

$$Rn = 0.276 \text{ Greenness} - 0.848 \text{ Brightness} + 0.04 \text{ Wetness} + 0.839$$

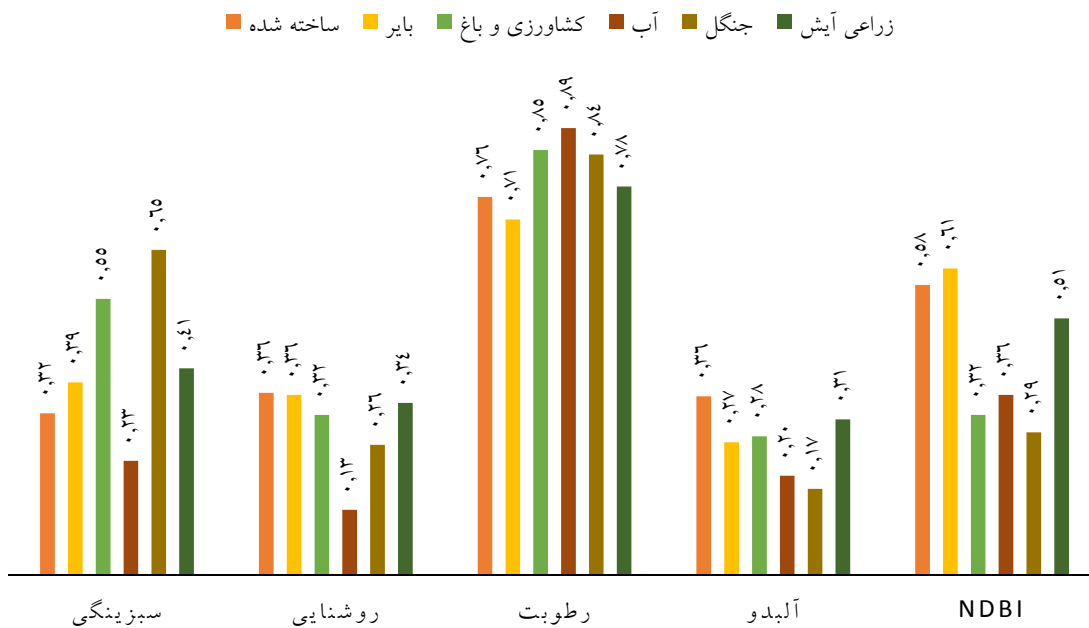
در این رابطه؛ درجه سبزیگی، روشنایی و رطوبت است که با در نظر گرفتن این سه پارامتر و رابطه ۲۴ برای یک منطقه می‌توان شار تابش خالص را برای آن تخمین زد. هرچند در نظر گرفتن پارامترهای دیگر همچون شرایط توپوگرافی نیز مدل‌سازی را دقیق‌تر و دقت تخمین را بالاتر خواهد برد.



شکل ۵. ارتباط بین شار تابش خالص و خصوصیات بیوفیزیکی سطح



ادامه شکل ۵. ارتباط بین شار تابش خالص و خصوصیات بیوفیزیکی سطح



شکل ۶. میانگین مقادیر شاخص‌های مختلف در کاربری‌های مختلف

میانگین شاخص‌های NDBI، روشنایی و پایین‌تر بودن مقادیر میانگین شاخص‌های سبزی‌یابی و رطوبت می‌باشد. همچنین کاربری‌های آب، جنگل و کشاورزی و فضای سبز دارای کمترین دمای سطح و بیشترین شار تابش خالص می‌باشد.

مشخصات آماری مربوط به تجزیه و تحلیل پارامترهای دمای سطح و شار تابش خالص برای کاربری‌های مختلف در جدول ۵ و ۶ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که کاربری ساخته‌شده، بایر و زراعی بیشترین دمای سطح و کمترین تابش خالص می‌باشد که از دلایل اصلی آن بالاتر بودن

جدول ۵. پارامترهای آماری دمای سطح برای کاربری‌های اراضی مختلف (درجهٔ کلونین)

انحراف معیار دما	میانگین دما	رنج دما	بیشترین دما	کمترین دما	کاربری اراضی
۲/۰۹	۳۱۲/۱۳	۲۴/۹۴	۳۲۱/۸۱	۲۹۶/۸۶	ساخته شده
۶/۸۱	۳۱۱/۴۰	۳۷/۱۹	۳۲۹	۲۹۱/۸۱	بایر
۲/۸۰	۳۰۶/۰۶	۱۶/۰۹	۳۱۵/۳۴	۲۹۹/۲۴	کشاورزی و باغ
۲/۱۳	۳۰۲/۸۸	۱۹/۸	۳۱۸/۱۶	۲۹۸/۳۵	آب
۲/۸۹	۳۰۰/۸۹	۲۲/۷۷	۳۱۵/۳	۲۹۲/۵۳	جنگل
۲/۷۹	۳۱۰/۲۳	۲۲/۱۸	۳۲۱/۸۳	۲۹۹/۶۴	زراعی آیش

جدول ۶. پارامترهای آماری شار تابش خالص (W/m^2) برای کاربری‌های اراضی مختلف

انحراف معیار تابش	میانگین تابش	رنج تابش	بیشترین تابش	کمترین تابش	کاربری اراضی
۴۰/۷۲	۶۰۰/۳۸	۵۷۸/۸۲	۷۹۲/۴۶	۲۱۳/۶۴	ساخته شده
۹۲/۴۳	۶۱۸/۹۹	۸۳۴/۸۴	۹۰۳/۳۹	۶۸/۵۵	بایر
۲۹/۹۵	۶۹۶/۱۸	۲۰۵/۹	۸۰۷/۹۵	۵۵۷/۰۵	کشاورزی و باغ
۳۷/۷۷	۷۵۸/۴۷	۳۸۵/۳۵	۸۶۰/۵۲	۴۷۵/۱۷	آب
۵۱/۳۶	۷۵۹/۵	۵۸۹/۸۵	۸۶۵/۵۴	۲۷۵/۶۹	جنگل
۴۴/۰۶	۶۴۲/۹	۶۶۱/۴۳	۸۰۹/۶۸	۱۴۸/۲۵	زراعی آیش

نتیجه گیری

مناسب می‌باشد. با توجه به وجود ناهمگنی زیاد در سطح زمین از جمله نوع پوشش سطح، شرایط توپوگرافی متنوع و قرارگیری در موقعیت‌های جغرافیایی مختلف بررسی ارتباط دما و تابش خالص سطح با پارامترهای فوق از اهمیت بالایی برخوردار است. شاخص‌های TCT از جمله شاخص‌های مهم برای استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشند. این شاخص‌ها با بهره‌گیری از یک ترکیب خطی از باندهای تصاویر و ماتریس ضرایب اختصاصی اطلاعات مفید و مؤثری را از تصاویر اولیه استخراج می‌کنند. این الگوریتم با توجه به ویژگی‌های فیزیکی سطح زمین، اطلاعات طیفی موجود در تصاویر با باندهای متعدد را با کاهش تعداد باندها فشرده می‌کند. اطلاعات مربوط به روشنایی، سبزی و رطوبت سه جز اصلی اطلاعات استخراج شده از شاخص‌های TCT را شامل می‌شوند. تا به حال در مطالعات اخیر ارتباط بین این شاخص‌ها و پارامترهای دما و تابش خالص سطح بررسی نشده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که ارتباط قوی بین دمای سطح و شاخص‌های TCT وجود دارد. بین دمای سطح و شاخص

بیان انرژی تابشی سطح از اهمیت ویژه‌ای در کاربردهای مختلف، از جمله چرخه جهانی انرژی و آب، پایش اقلیم و پیش‌بینی آب‌وهوا، مدل‌سازی دمای سطح و غیره برخوردار است که شامل تابش موج کوتاه فرودی، تابش موج بلند فرودی، تابش موج بلند خروجی و شار تابشی خالص می‌باشد. سطح زمین هر دو تابش موج کوتاه (مربوط به خورشید) و موج بلند (مربوط به اتمسفر) را دریافت می‌کند که هر دو نقش اساسی در کنترل شرایط محیط و اکوسیستم داشته و علاوه بر این، هر دو پارامتر در بسیاری از مطالعات هیدرولوژیکی، اقلیم‌شناسی و کشاورزی به‌عنوان فرودی‌های اصلی به‌شمار می‌آیند. تابش موج کوتاه رو به پایین، یک منبع انرژی اولیه و مهم برای اکوسیستم و تابش موج بلند رو به پایین، یک پارامتر مهم برای پیش‌بینی یخ‌زدگی و رشد محصولات کشاورزی در حال توسعه رشد می‌باشد. برای بررسی و محاسبه شار تابش خالص استفاده از مدل سبال کوهستانی برخلاف مدل سبال معمولی به دلیل در نظر گرفتن شرایط توپوگرافی برای مناطق کوهستانی

- اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۱): ۱۷-۳۰.
۳. عظیمی، ع.، ک. رنگزن، م. کابلی زاده و م. خرمیان. ۱۳۹۴. برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از سنسور از دور، شبکه‌های عصبی مصنوعی و مقایسه نتایج آن با روش پنمن-مانتیت-فانو در باغات مرکبات شمال خوزستان. سنسور از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۴): ۶۱-۷۵.
4. Baig MHA, Zhang L, Shuai T, Tong Q. 2014. Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters*, 5(5): 423-431.
5. Bisht G, Venturini V, Islam S, Jiang L. 2005. Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky days. *Remote Sensing of Environment*, 97(1): 52-67.
6. Boori MS. 2015. A comparison of land surface temperature, derived from AMSR-2, Landsat and ASTER satellite data. *Journal of Geography and Geology*, 7(3): 61-69.
7. Choi M, Jacobs JM, Kustas WP. 2008. Assessment of clear and cloudy sky parameterizations for daily downwelling longwave radiation over different land surfaces in Florida, USA. *Geophysical Research Letters*, 35(20): 1-6.
8. Crawford TM, Duchon CE. 1999. An improved parameterization for estimating effective atmospheric emissivity for use in calculating daytime downwelling longwave radiation. *Journal of Applied Meteorology*, 38(4): 474-480.
9. Dedieu G, Deschamps P, Kerr Y. 1987. Satellite estimation of solar irradiance at the surface of the earth and of surface albedo using a physical model applied to Meteosat Data. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26(1): 79-87.
10. Duarte HF, Dias NL, Maggionto SR. 2006. Assessing daytime downward longwave radiation estimates for clear and cloudy skies in Southern Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 139(3): 171-181.
11. Dubayah R, Van Katwijk V. 1992. The topographic distribution of annual incoming solar radiation in the Rio Grande river basin. *Geophysical Research Letters*, 19(22): 2231-2234.
12. Jiménez-Muñoz JC, Sobrino JA, Skoković D, Mattar C, Cristóbal J. 2014. Land surface

روشنایی ارتباط مستقیم و با شاخص‌های سبزیگی و رطوبت ارتباط معکوس وجود دارد. همچنین با افزایش آلبیدو و NDBI دمای سطح افزایش خواهد یافت. شار تابش خالص با پارامترهای NDVI، سبزیگی و رطوبت ارتباط مستقیم و با پارامترهای NDBI، آلبیدو، روشنایی و دمای سطح ارتباط معکوس دارد. همچنین کاربری‌های مختلف موجود در منطقه دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مختلفی هستند همین امر باعث بروز تفاوت در ویژگی دمای سطح و شار تابش خالص فرودی برای هر یک از آن‌ها می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که کاربری ساخته‌شده، بایر و زراعی بیشترین دمای سطح و کمترین تابش خالص می‌باشد که از دلایل اصلی آن بالاتر بودن میانگین شاخص‌های NDBI و روشنایی و پایین‌تر بودن مقادیر میانگین شاخص‌های سبزیگی و رطوبت می‌باشد. همچنین کاربری‌های آب، جنگل و کشاورزی و فضای سبز دارای کمترین دمای سطح و بیشترین شار تابش خالص می‌باشد. نتایج حاصل از پژوهش نشان‌دهنده این است که با توجه به اهمیت تابش خالص سطح بر فعالیت‌های گوناگون از جمله کشاورزی و فرایند تبخیر و تعرق، جهت بهینه کردن تابش خالص در سطوح مناطق مختلف باید برنامه‌ریزی‌ها به‌صورتی باشد که مقادیر مربوط به شاخص‌های دمای سطح، روشنایی، آلبیدو و NDBI کاهش و سبزیگی و رطوبت سطح افزایش یابد.

منابع مورد استفاده

۱. ابراهیم هروی، ب.، ک. رنگزن، ح. ر. ریاحی بختیاری و ا. تقی‌زاده. ۱۳۹۴. تعیین درجه حرارت سطح اراضی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست (مطالعه‌ی موردی: کرج). سنسور از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۴): ۱۹-۳۲.
۲. تازیک، ا.، ع. رضایی، ع. آبکار، س. ک. علوی پناه، ز. جهانتاب و ع. رحمتی. ۱۳۹۴. برآورد تابش کل لحظه‌ای موج‌کوتاه خورشید با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنسور مودیس (مطالعه‌ی موردی: مناطق مرکزی ایران). سنسور از دور و سامانه

23. Muneer T, Gueymard C, Kambezidis H. 2004. 3-Hourly Horizontal Irradiation and Illuminance. *Solar Radiation and Daylight Models*, 1(1): 61-142.
24. Otukey JR, Blaschke T. 2010. Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12: S27-S31.
25. Psiloglou BE, Kambezidis HD. 2007. Performance of the meteorological radiation model during the solar eclipse of 29 March 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7(23): 6047-6059.
26. Rott H. 2000. Physical Principles and Technical Aspects of Remote sensing. In: Schultz, G.A. & Engman, E.T. (Eds.), *Remote Sensing in Hydrology and Water Management*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, Germany, pp. 15-39.
27. Sobrino JA, Jiménez-Muñoz JC, Sòria G, Romaguera M, Guanter L, Moreno J, Plaza A, Martínez P. 2008. Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(2): 316-327.
28. Tang B, Li Z-L. 2008. Estimation of instantaneous net surface longwave radiation from MODIS cloud-free data. *Remote Sensing of Environment*, 112(9): 3482-3492.
29. Tang Q, Oki T, Kanae S, Hu H. 2007. The influence of precipitation variability and partial irrigation within grid cells on a hydrological simulation. *Journal of Hydrometeorology*, 8(3): 499-512.
30. Taufik A, Ahmad SSS. 2016. Land cover classification of Landsat 8 satellite data based on Fuzzy Logic approach. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. 22–24 November 2016, Banda Aceh, Indonesia.
31. Tovar J, Olmo F, Alados-Arboledas L. 1995. Local-scale variability of solar radiation in a mountainous region. *Journal of Applied Meteorology*, 34(10): 2316-2322.
32. Wang K, Wan Z, Wang P, Sparrow M, Liu J, Zhou X, Haginoya S. 2005. Estimation of surface long wave radiation and broadband emissivity using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) land surface temperature/emissivity products. *temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(10): 1840-1843.
13. Jiménez-Muñoz JC, Sobrino JA. 2003. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D22): 1-9.
14. Kim H-Y, Liang S. 2010. Development of a hybrid method for estimating land surface shortwave net radiation from MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 114(11): 2393-2402.
15. Klink JC, Dollhopf KJ. 1986. An evaluation of satellite-based insolation estimates for Ohio. *Journal of climate and applied meteorology*, 25(11): 1741-1751.
16. Lam JC, Wan KK, Yang L. 2008. Solar radiation modelling using ANNs for different climates in China. *Energy Conversion and Management*, 49(5): 1080-1090.
17. Lhomme J-P, Vacher J-J, Rocheteau A. 2007. Estimating downward long-wave radiation on the Andean Altiplano. *Agricultural and Forest Meteorology*, 145(3): 139-148.
18. Liu H, Pinker R. 2008. Radiative fluxes from satellites: Focus on aerosols. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D8): 1-10.
19. Liu Q, Liu G, Huang C, Liu S, Zhao J. 2014. A tasseled cap transformation for Landsat 8 OLI TOA reflectance images. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, IEEE International, 13-18 July, pp 541-544.
20. Liu Q, Liu G, Huang C, Xie C. 2015. Comparison of tasseled cap transformations based on the selective bands of Landsat 8 OLI TOA reflectance images. *International Journal of Remote Sensing*, 36(2): 417-441.
21. Liu X, Mei X, Li Y, Zhang Y, Wang Q, Jensen JR, Porter JR. 2009. Calibration of the Ångström–Prescott coefficients (a, b) under different time scales and their impacts in estimating global solar radiation in the Yellow River basin. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(3): 697-710.
22. Miller D, Rivington M, Matthews K, Buchan K, Bellocchi G. 2008. Testing the spatial applicability of the Johnson–Woodward method for estimating solar radiation from sunshine duration data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(3): 466-480.

- Balance Algorithms for Land. Idaho Implementation. Advanced Training and User's Manual, Idaho, USA.
37. Yan G, Wang T, Jiao Z, Mu X, Zhao J, Chen L. 2016. Topographic radiation modeling and spatial scaling of clear-sky land surface longwave radiation over rugged terrain. *Remote Sensing of Environment*, 172: 15-27.
38. Yang K, Pinker RT, Ma Y, Koike T, Wonsick MM, Cox SJ, Zhang Y, Stackhouse P. 2008. Evaluation of satellite estimates of downward shortwave radiation over the Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D17): 1-11.
39. Zhou Y, Kratz DP, Wilber AC, Gupta SK, Cess RD. 2007. An improved algorithm for retrieving surface downwelling longwave radiation from satellite measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D15): 1-13.
- Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 110(D11): 1-13.
33. Wang W, Liang S, Augustine JA. 2009. Estimating high spatial resolution clear-sky land surface upwelling longwave radiation from MODIS data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(5): 1559-1570.
34. Wang W, Liang S. 2009. Estimation of high-spatial resolution clear-sky longwave downward and net radiation over land surfaces from MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 113(4): 745-754.
35. Wang W, Liang S. 2010. A method for estimating clear-sky instantaneous land-surface longwave radiation with GOES sounder and GOES-R ABI data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 7(4): 708-712.
36. Waters R, Allen R, Bastiaanssen W, Tasumi M, Trezza R. 2002. SEBAL. Surface Energy



Investigating the relationship between temperature, net radiation flux by biophysical properties and lanuse using LandSat 8 satellite imagery

M. Karimi Firozjaei ¹, M. Kiavrz Mogadam ^{2*}

1. MSc. Student of Remote Sensing and Ggeographic Information System, University of Tehran

2. Assis. Prof. College of Geography, University of Tehran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 17 January 2017

Accepted 5 February 2017

Available online 11 February 2017

Keywords:

Land surface temperature (LST)

Net radiation

Landuse

Biophysical properties

LandSat 8

ABSTRACT

Due to high heterogeneity in the land surface properties including variation in the type of surface coverage, varied topography conditions and placement in different geographic locations, investigating the relationship between temperature and net radiation and listed parameters of properties has great importance. The aim of this study is to investigate the relationship between temperature and net radiation surface with Indexes biophysical properties and land use in the region. For this purpose, LandSat8 satellite image, MODIS water vapor product and digital elevation model map of the city of Sari are used. In order to calculate the surface temperature, single channel algorithm, net radiation from Surface energy balance algorithm for land (SEBAL) mountain algorithm and the extraction of different surface properties from Tasselled cap transformation (TCT) Indexes were used. also, the combination of Maximum likelihood classification methods and decision tree are utilized to classify Image. Net radiation has a direct relationship with Normalized difference vegetation index (NDVI), Greenness and Wetness parameters and inverse relationship with mean correlation coefficient 0.8 with NDBI, Albedo, Brightness and surface temperature parameters. In this study, the correlation coefficient of relationship between Wetness, Greenness and Brightness indicators and net radiation surface is 0.94. The Built up lands with an average 600.38 w/m^2 have the lowest net radiation and forest lands with an average 759.5 w/m^2 have the highest net radiation flux in the region .The results show that using remote sensing data and considering the TCT parameters related to biophysical properties of surface are very useful to assess the temperature and net radiation of the region.

* Corresponding author e-mail address: kiavarzmajid@ut.ac.ir