



سجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران / سال هشتم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۵
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.8, No. 3, Autumn 2016

۹۱-۱۰۴

بررسی مقایسه‌ای اثر استفاده از مقادیر پیکسل، بازتابش و بازتابندگی در محاسبه شاخص‌های گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8

سید باقر فاطمی^{۱*}، فاطمه صدقی^۲

۱. استادیار، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران و حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران و حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۹/۳۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۲/۶

چکیده

یکی از موضوعات مهم در محاسبه شاخص‌های گیاهی کمیته است که شاخص براساس آن محاسبه می‌شود. نوع کمیت انتخابی می‌تواند مقدار پیکسل، بازتابش و بازتابندگی باشد. بررسی تفاوت مقادیر شاخص‌های گیاهی محاسبه‌شده از این کمیت‌ها چه بسا راهگشای ساده‌تر کردن محاسبات مربوط به شاخص‌ها و نیز وضوح‌بخشیدن به نتایج حاصل از انتخاب هر یک از کمیت‌ها شود. در تحقیقات گذشته، معمولاً یک شاخص گیاهی خاص بررسی شده است و اثر پوشش زمین در محاسبه مقدار آن شاخص براساس سه کمیت مقدار پیکسل، بازتابش و بازتابندگی در نظر گرفته نشده است. در تحقیق حاضر، شاخص‌های گیاهی تولیدشده از سه داده یادشده مقایسه می‌شوند. برای این منظور، ۱۰ شاخص VARI، PD43، GVI، RVI، SAVI، EVI، NDVI، DVI، NDWI، GRVI و VARI از روی تصویر Landsat 8 تولید شد. این شاخص‌ها برای کل تصویر و همچنین برای پوشش‌های گوناگون آب، خاک، گیاه و منطقه شهری به‌طور جداگانه محاسبه شده‌اند. پس از محاسبه شاخص‌های گیاهی مورد نظر براساس سه کمیت تابشی، ضریب همبستگی خطی میان این مقادیر برای هر شاخص گیاهی محاسبه شد. مقایسه‌ها براساس پارامتر همبستگی انجام شده است که نتایج حاصل همبستگی بالا بین شاخص‌های هر سه کمیت تابشی را نشان می‌دهد. بیشترین ضریب همبستگی به‌دست‌آمده برابر با ۱ است که در همه کلاس‌های پوششی برای بسیاری از شاخص‌ها تکرار شده است. کمترین میزان همبستگی برای کلاس منطقه مسکونی برابر با ۰.۸۳۳۹ مربوط به شاخص PD43، برای کلاس گیاه برابر با ۰.۹۴۸۹ مربوط به شاخص NDWI، برای کلاس آب برابر با ۰.۸۶۹۶ مربوط به شاخص DVI، برای کلاس خاک برابر با ۰.۹۱۶ مربوط به شاخص GVI و برای کل تصویر برابر با ۰.۹۲۵۷ مربوط به شاخص DVI است. با توجه به نتایج، در جایی که مقدار دقیق این شاخص‌ها مهم نباشد این شاخص‌ها را می‌توان با کنارگذاردن چند استثنای معدود، بدون نیاز به محاسبه مقدار شاخص براساس کمیت‌های رادینانس و بازتابندگی فقط با استفاده از مقادیر پیکسل محاسبه کرد.

کلیدواژه‌ها: بازتابش، بازتابندگی، تصحیح اتمسفری، شاخص گیاهی، ضریب همبستگی، Landsat 8.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: اصفهان، خیابان هزارجریب، دانشگاه اصفهان، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، گروه مهندسی نقشه برداری. تلفن: ۰۹۱۳۱۰۹۱۰۶۴ و

۰۳۱۳۷۹۳۵۳۳۲

۱- مقدمه

بررسی پوشش گیاهی موضوعی مهم در مطالعه زمین است (پرویز و همکاران، ۱۳۸۹). گردآوری اطلاعات از طریق روش‌های معمول کاری مشکل و پرهزینه است. برای غلبه بر این مشکلات، شاخص‌های گیاهی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای گزینه مناسبی برای مطالعه پوشش گیاهی به‌شمار می‌روند. شاخص‌سازی یکی از روش‌های پرکاربرد در سنجش از دور است و امروزه مطالعه پوشش گیاهی از روی تصاویر ماهواره‌ای از طریق تعریف شاخص‌های گیاهی امری متداول است. شاخص‌های گیاهی براساس اختلاف رفتار طیفی پوشش گیاهی در باندهای متفاوت تعریف می‌شوند (Jackson et al., 1991). باندها ممکن است از مقادیر درجات خاکستری، مقادیر بازتابندگی یا بازتابش تشکیل شده باشند. بازتابندگی نسبت انرژی بازتابی از سطح به کل انرژی رسیده به سطح است. بازتابش کل انرژی تابیده از واحد سطح به‌ازای زاویه فضایی^۱ اندازه‌گیری است. مقدار پیکسل عددی برحسب انرژی ثبت‌شده در سنجنده و در دسترس‌ترین و ساده‌ترین سطحی از داده است که در اختیار کاربران قرار دارد (Kiyoshi, 2014). محاسبات مربوط به تولید مقادیر بازتابش و بازتابندگی نیازمند پارامترهای چندی است که معمولاً در فایل‌های همراه تصاویر اصلی عرضه می‌شوند. محاسبه بازتابندگی در سطح زمین نیازمند تصحیح اتمسفری است که انجام‌دادن آن با مدل‌های دقیق به پارامترهای بسیاری از صحنه تصویربرداری نیازمند است. تولید داده‌های بازتابش و بازتابندگی بالای اتمسفر^۲ به مراتب ساده‌تر است اما برای محاسبه آنها به پارامترهایی نیاز داریم (Jackson et al., 1991) که ممکن است گاه در اختیار نباشند. برای سنجنده OLI، به‌همراه اطلاعات باندها فایلی با فرمت txt موجود است که می‌توان داده بازتابش و بازتابندگی را، با معرفی اطلاعات مربوط به باندها در این فایل، از طریق نرم‌افزارهای متداول سنجش از دور محاسبه کرد. محاسبه شاخص‌های گیاهی همیشه با چالش‌هایی

همراه بوده است. مهم‌ترین این چالش‌ها اثر پس‌زمینه خاک در پیکسل‌های مخلوط، اثر متفاوت اتمسفر در باندهای گوناگون، نسبت سیگنال به نویز متفاوت در باندها (Jackson et al., 1991) و اشباع شاخص (درویش‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰؛ صفدری‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰) به‌شمار می‌آید. نوع داده ورودی در محاسبه این شاخص‌ها اهمیت دارد. در تحقیق جکسون (۱۹۹۱) بیان می‌شود شاخص‌های گیاهی را می‌توان از داده‌های گوناگونی همچون ولتاژ خروجی سنجنده، بازتابش^۳، بازتابندگی^۴ و مقدار پیکسل^۵ محاسبه کرد که نتایج متفاوتی برای یک منطقه حاصل می‌شود. در این مطالعه بیان شده است که پارامترهایی مانند پاسخ آشکارساز سنجنده‌ها، اثر پس‌زمینه خاک، زاویه دید و زاویه خورشید، اثر اتمسفر و ساختار تاج گیاهی در محاسبه شاخص گیاهی^۶ تأثیرگذارند. برای اهدافی که مقدار دقیق عددی این شاخص‌ها مورد نیاز است، باید همه این پارامترها هم‌زمان در نظر گرفته شوند. براساس مشکلات مطرح‌شده، در تحقیق جکسون راه‌حل‌های گوناگونی بیان شده است. مثلاً برای حل مشکل اثر اتمسفر پیشنهاد شده است که این شاخص‌ها از روی داده بازتابندگی که اثر اتمسفر در آن تصحیح شده است، تولید شود. در تحقیق پرنته^۷ (۲۰۱۳) گفته شده است که برای محاسبه پوشش گیاهی باید مقدار پیکسل به بازتابندگی تبدیل شود و از مقایسه شاخص‌های به‌دست‌آمده برای دو داده ورودی نتیجه گرفته شده است که با تبدیل DN به بازتاب بالای اتمسفر، سطح کیفیت برای طبقه‌بندی درمورد تشخیص آب و خاک افزایش بسیار می‌یابد. در تحقیقی نشان داده شده است که اثر تصحیح اتمسفری^۸ در محاسبه شاخص گیاهی NDVI

1. solid angle
2. top of atmosphere reflectance
3. radiance
4. reflectance
5. Digital Number (DN)
6. vegetation index
7. Parente
8. atmospheric correction

2011). در همین حال، محاسبات مربوط به تصحیحات اتمسفری معمولاً مشکل است و پارامترهای آن برای اعمال دقیق وجود ندارند؛ بنابراین، به این دلایل دامنه این تحقیق به بررسی اثر استفاده از مقدار پیکسل خام، بازتابش و بازتابندگی در بالای اتمسفر^۲ در محاسبه شاخص‌های گیاهی محدود شد. در کنار این موارد، یک جنبه دیگر تحقیق حاضر بررسی برخی شاخص‌های گیاهی است تا تنوع شاخص‌ها را فراهم آورد و دامنه وسیع‌تری از آنها را بررسی کند.

برای این منظور، ابتدا تصاویر بازتابش و بازتابندگی از روی داده‌ی مقدار پیکسل مربوط به تصویر 8 LANDSAT تهیه شد. سپس ده شاخص گیاهی از روی سه داده‌ی مقدار پیکسل، بازتابش و بازتابندگی برای کل منطقه و به‌طور جداگانه برای پوشش‌های گوناگون خاک، آب، گیاه و منطقه‌ی مسکونی محاسبه شد و پس از آن، ضریب همبستگی^۳ خطی مقادیر حاصل از داده‌های ورودی گوناگون به تفکیک شاخص‌های گیاهی متفاوت به‌دست آورده شد. در انتخاب شاخص‌ها سعی بر این بود از معروف‌ترین و پرکاربردترین آنها استفاده شود و زمینه‌های کاری گوناگون را پوشش دهد.

۲- شاخص‌های گیاهی

شاخص پوشش گیاهی یک کمیت عددی است که می‌تواند اطلاعات مفیدی را درباره‌ی وضعیت پوشش گیاهی در اختیار ما قرار دهد. این شاخص‌ها براساس اطلاعات باندهایی تعریف می‌شوند که رفتار طیفی گیاه در آنها متفاوت است.

شاخص‌های گیاهی تبدیل‌های ریاضی‌اند که براساس باندهای گوناگون سنجنده تعریف می‌شوند. در بسیاری از مطالعات، نشان داده شده است که میزان انرژی انعکاسی در باندهای قرمز و مادون قرمز با میزان

ناچیز است (Agapiou et al., 2011)، گرچه بر اهمیت تصحیح اتمسفری برای محاسبه‌ی مقادیر مطلق شاخص تأکید شده است.

بیشتر تحقیقات موجود روی یک شاخص خاص و با تأکید بر تصحیح اتمسفری انجام شده‌اند. تحقیق سانگ و همکاران^۱ (۲۰۰۱) تأکید می‌کند برای برخی اهداف طبقه‌بندی و شناسایی تغییرات که در آن از شاخص گیاهی استفاده می‌شود، نیاز است تصحیح اتمسفری انجام شود. در تحقیق دیگری شیوه‌ی محاسبه‌ی دو شاخص گیاهی NDVI و SAVI بررسی شده است (Firl and Carter, 2011) و گفته شده پیش از محاسبه‌ی این شاخص‌ها، باید مقدار پیکسل به بازتابندگی تبدیل شود؛ بنابراین، تحقیق درباره‌ی چندین شاخص مهم گیاهی و نیز استفاده از بازتابش و بازتابندگی بالای اتمسفر به‌صورت یکجا چندان بررسی نشده است.

همان‌طور که از تحقیقات پیشین پیداست، نظر واحدی درباره‌ی اثر کمیت مورد استفاده در محاسبه‌ی شاخص‌های گیاهی وجود ندارد؛ بنابراین، با توجه به مشکلات مربوط به محاسبه‌ی بازتابش و بازتابندگی از روی داده‌ی مقدار پیکسل، در این مطالعه اثر نوع داده‌ی ورودی برای تهیه‌ی شاخص گیاهی بررسی شد. بازتابندگی زمینی به تصحیح اتمسفری نیاز دارد و مقادیر بازتابندگی پیکسل‌ها پس از تصحیح اتمسفری، با توجه به شرایط اتمسفری حاکم در زمان تصویربرداری ممکن است بسیار متغیر باشد. در واقع تفاوت میزان بازتابندگی، پس از تصحیح اتمسفری، به میزان تأثیر اتمسفر مربوط است و اگر پارامترهای مؤثر در جو فعال باشند، تفاوت میزان شاخص گیاهی محرز و مشخص است و نیازی به بررسی بیشتر ندارد. در صورتی که شرایط اتمسفری تأثیر اندکی داشته باشد، می‌دانیم که تفاوت کمتری بین بازتابندگی بالای اتمسفر و بازتابندگی زمینی خواهد بود؛ گرچه از اثر اتمسفر نمی‌توان چشم‌پوشی کرد (Firl & Carter,)

1. Song et al.
2. top of atmosphere
3. correlation coefficient

مرئی دیگر است که این موضوع سبب تعریف شاخص‌های گیاهی بدون باند مادون قرمز شده است. تا امروز شاخص‌های گیاهی چندی تعریف شده‌اند. برخی از شاخص‌های گیاهی به باند مادون قرمز نیاز دارند و برخی دیگر براساس باندهای مرئی تعریف شده‌اند. در اینجا از هر دو این شاخص‌ها استفاده شده است. شاخص‌های DVI ، $NDWI$ ، $GRVI$ ، $VARI$ ، $PD43$ ، GVI ، RVI ، $SAVI$ ، EVI ، $NDVI$. فهرست کامل به‌همراه فرمول این شاخص‌ها در جدول ۱ آورده شده است (Agapiou et al., 2012; Schneider et al., 2008;) (Motohka et al., 2010).

پوشش گیاهی ارتباط دارد. با رشد گیاهان، میزان انرژی انعکاسی در طیف قرمز کاهش می‌یابد. علت آن این است که کلروفیل موجود در برگ گیاه طی عمل فتوسنتز، انرژی الکترومغناطیسی جذب می‌کند اما از دیگر سو، میزان انرژی انعکاسی در طیف مادون قرمز نزدیک به علت ساختار مزوفیل برگ، افزایش خواهد یافت. افزون بر رنگدانه‌ها و کلروفیل، مواردی همچون ضخامت برگ، محتوی آب برگ و اندازه و شکل برگ گیاهان نیز در رفتار طیفی آنها اثرگذارند. براساس این رفتار متفاوت، شاخص‌های متفاوتی تعریف شده‌اند (پرویز و همکاران، ۱۳۸۹). از سوی دیگر، بازتابش در باند سبز برای گیاهان دارای کلروفیل بالاتر از باندهای

جدول ۱. شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در تحقیق

ردیف	شاخص گیاهی	نام کامل	رابطه	مرجع
۱	NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$(\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + \rho_{red})$	(Agapiou et al., 2012) (Tucker, 1978)
۲	EVI	Enhanced Vegetation Index	$2 * (\rho_{nir} - \rho_{red}) / (0.5 + \rho_{nir} + 0.55 * \rho_{red} + 0.12\rho_{blue})$	(Agapiou et al., 2012) (Huete et al., 2002)
۳	SAVI	Soil-Adjusted Vegetation Index	$(1 + l) * (\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + \rho_{red} + l)$	(Agapiou et al., 2012) (Huete, 1988)
۴	RVI	Ratio Vegetation Index	ρ_{nir} / ρ_{red}	(Agapiou et al., 2012) (Major et al., 1990)
۵	GVI	Green Vegetation Index	$1.09 * \rho_{nir} - 0.29 * \rho_{green} - 0.56 * \rho_{red}$	(Agapiou et al., 2012)
۶	PD43(IRG)	Red Green Ratio Index	$\rho_{red} - \rho_{green}$	(Agapiou et al., 2012)
۷	VARI	Visible Atmospherically Resistant Index	$(\rho_{green} - \rho_{red}) / (\rho_{green} + \rho_{red} + \rho_{blue})$	(Schneider et al., 2008)
۸	GRVI	Green Ratio Vegetation Index	$(\rho_{green} - \rho_{red}) / (\rho_{green} + \rho_{red})$	(Motohka et al., 2010) (Gitelson et al., 2003)
۹	NDWI	Normalized Difference Water Index	$(\rho_{nir} - \rho_{swir}) / (\rho_{nir} + \rho_{swir})$	(پرویز و همکاران، ۱۳۸۹) (Gao, 1996)
۱۰	DVI	Difference Vegetation Index	$\rho_{nir} - \rho_{red}$	(Agapiou et al., 2012) (Tucker, 1978)

توضیحات:

L: ضریب تعدیل اثر پس‌زمینه خاک (۰.۵)، ρ_{red} : مقدار پیکسل در باند قرمز، ρ_{nir} : مقدار پیکسل در باند مادون قرمز، ρ_{green} : مقدار پیکسل در باند سبز، ρ_{blue} : مقدار پیکسل در باند آبی، ρ_{swir} : مقدار پیکسل در باند مادون قرمز طول موج کوتاه است.

RADIANCE_ADD_BAND_x به‌ازای هر باند وجود دارند که x شماره باند مورد نظر است.

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

برای تبدیل مقدار پیکسل به بازتابش بالای اتمسفر از رابطه (۲) استفاده می‌شود. $\rho\lambda'$ در این رابطه میزان بازتاب بالای اتمسفری است که در آن تأثیر زاویه خورشیدی اعمال نشده است. M_p و A_p ضرایب تبدیل مقدار پیکسل به بازتابندگی اند و Q_{cal} بیانگر مقدار پیکسل است. پارامترهای M_p و A_p به ترتیب در فایل متادیتا به نام‌های REFLECTANCE_MULT_BAND_x و REFLECTANCE_ADD_BAND_x به‌ازای هر باند وجود دارند که x شماره باند مورد نظر است.

$$\rho\lambda' = M_p Q_{cal} + A_p \quad (2)$$

برای اعمال تصحیح زاویه خورشید در محاسبه بازتابندگی ($\rho\lambda$)، طبق رابطه (۳) عمل می‌کنیم. پارامتر θ در این فرمول زاویه ارتفاعی محلی خورشید است.

$$\rho\lambda = \rho\lambda' / \sin(\theta) \quad (3)$$

رابطه (۴) $\rho\lambda = (\pi * L_{\lambda} * d^2) / (ESUN_{\lambda} * \cos(\theta_s))$ برای تبدیل مستقیم بازتابش به بازتابندگی از رابطه (۴) استفاده می‌شود. در این رابطه d فاصله زمین تا خورشید و $ESUN_{\lambda}$ میزان تابش خورشید است. به‌ازای طول‌موج λ و θ_s زاویه زنیته خورشید است (Zanter, 2015).

۴- نتایج

در این تحقیق، محاسبات روی چندین تصویر Landsat 8 با شرایط جغرافیایی متفاوت انجام شد و از آنجاکه نتایج بسیار مشابهت داشتند، به‌علت کاهش حجم داده‌ها و رعایت تعداد صفحات مقاله نتایج یک تصویر برای نمونه در مقاله آورده شده است. داده‌های بازتابش و بازتابندگی از روی تصویر سنجنده OLI ماهواره Landsat 8 با ابعاد $1000 * 1000$ پیکسل محاسبه شد. این تصویر مربوط به منطقه جغرافیایی شهرستان اهر واقع در استان آذربایجان شرقی است که

اگرچه تعداد شاخص‌های گیاهی بسیار زیاد است؛ سعی بر آن بود تا مهم‌ترین آنها، در ضمن از انواع گوناگون آنها که پرکاربردترین نیز هستند، به‌کار رود. در حقیقت اساس انتخاب بر اهمیت، کاربرد و تنوع شاخص‌ها بوده است. شیوه محاسبه یک شاخص یا همان فرمول آن ممکن است گاه اثر یک پارامتر را خنثی کند؛ بنابراین در این بخش، از شاخص‌هایی که براساس نسبت ساده باندهای تعریف شده‌اند (مانند RVI)، یا براساس تفاضل باندها کار می‌کنند (مانند DVI)، و فرمول‌های پیچیده‌تر (همچون EVI) استفاده شده است. در کنار این موضوع دسترسی داشتن یا نداشتن به باند مادون قرمز سبب تعریف برخی شاخص‌های گیاهی براساس باندهای مرئی شده است. در نتیجه، برخی شاخص‌ها همچون GRVI نیز که احتمال کاربرد آنها در کاربردها و تحقیقات می‌رود در این مطالعه آمده‌اند. گستردگی کاربرد نیز یکی دیگر از پارامترهای انتخاب شاخص بوده است. از این منظر شاخص NDVI نیز در مطالعه وارد شده است.

۳- تبدیل درجه خاکستری به مقادیر بازتابش و

بازتابندگی

تصاویر به‌دست‌آمده از لندست ۸ (در اینجا سنجنده OLI) براساس مقدار عددی پیکسل در اختیار کاربر قرار می‌گیرد. برای محاسبه مقادیر بازتابندگی و بازتابش از روی این تصاویر، از فایل متادیتا همراه تصاویر استفاده می‌کنند که در آن ضرایب تصحیح رادیومتریکی موجود است (Zanter, 2015).

برای تولید تصویر بازتابش بالای اتمسفر از روی داده مقدار پیکسل، می‌توان از رابطه (۱) استفاده کرد. در این رابطه، L_{λ} بازتابش بالای اتمسفر، M_L و A_L ضرایب تبدیل مقدار پیکسل به بازتابش اند که به‌ازای هر باند مقادیر متفاوتی دارند و Q_{cal} مقدار عددی پیکسل در باند مورد نظر است. پارامترهای M_L و A_L به ترتیب در فایل متادیتا به نام‌های RADIANCE_MULT_BAND_x و

1 Local Sun Elevation Angle

شاخص‌های گیاهی مورد مطالعه در جدول ۱ برای کل منطقه از روی داده‌ی مقدار پیکسل و بازتابش و بازتابندگی محاسبه شد. سپس برای هر دو مقدار مربوط به یک شاخص واحد، یک ضریب همبستگی خطی به دست آمد. جدول ۲ ضرایب همبستگی بین شاخص‌های گیاهی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. به منظور بررسی اثر پوشش در ارتباط با محاسبه شاخص‌های مورد بررسی، تصویر با یک طبقه‌بندی نظارت‌شده به چهار کلاس پوششی آب، خاک، گیاه، و منطقه مسکونی تقسیم شد. نتایج طبقه‌بندی نظارت‌شده به صورت دستی اصلاح شد. سپس در محدوده هر کلاس، شاخص‌های گیاهی و میزان همبستگی دوبه‌دو آنها بررسی شد. شاخص‌ها براساس داده‌های ورودی متفاوت و سه‌گانه مقدار پیکسل، بازتابندگی و بازتابش به دست آمد. نتایج همبستگی بین شاخص‌ها برای کلاس خاک در جدول ۳، برای کلاس منطقه مسکونی در جدول ۴، برای کلاس گیاه در جدول ۵ و برای کلاس آب در جدول ۶ آورده شده است.

در محدوده طول جغرافیایی بین $46^{\circ}47'31''$ تا $47^{\circ}7'$ $42''$ شرقی و عرض جغرافیایی $38^{\circ}19'24''$ تا $38^{\circ}35'$ $58''$ شمالی قرار دارد. این تصویر در تاریخ $2015/07/17$ میلادی دریافت شده است. اندازه زمینی پیکسل این تصویر حدود ۳۰ متر و با تعداد ۹ باند است که از باندهای شماره ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ برای محاسبات در این تحقیق استفاده شد. شکل ۱ نمونه تصویر مورد استفاده را نشان می‌دهد.



شکل ۱. تصویر سنجنده OLI ماهواره LANDSAT 8 به کاررفته در تحقیق، با ابعاد ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ پیکسل

جدول ۲. ضریب همبستگی بین شاخص‌های محاسبه‌شده از کل پیکسل‌های تصویر

شاخص	کمیت اول	کمیت دوم	همبستگی	شاخص	کمیت اول	کمیت دوم	همبستگی
NDVI	DN	Radiance	0.9942	PD43	DN	Radiance	0.9712
	DN	Reflectance	0.9948		DN	Reflectance	1.0000
	Radiance	Reflectance	0.9988		Radiance	Reflectance	0.9712
EVI	DN	Radiance	0.9934	VARI	DN	Radiance	0.9920
	DN	Reflectance	0.9972		DN	Reflectance	0.9931
	Radiance	Reflectance	0.9830		Radiance	Reflectance	0.9997
SAVI	DN	Radiance	0.9942	GRVI	DN	Radiance	0.9916
	DN	Reflectance	0.9981		DN	Reflectance	0.9909
	Radiance	Reflectance	0.9865		Radiance	Reflectance	1.0000
RVI	DN	Radiance	0.9889	NDWI	DN	Radiance	0.9805
	DN	Reflectance	0.9889		DN	Reflectance	0.9741
	Radiance	Reflectance	1.0000		Radiance	Reflectance	0.9810
GVI	DN	Radiance	0.9262	DVI	DN	Radiance	0.9257
	DN	Reflectance	1.0000		DN	Reflectance	1.0000
	Radiance	Reflectance	0.9262		Radiance	Reflectance	0.9257

سید باقر فاطمی و فاطمه صدقی

جدول ۳. ضریب همبستگی بین شاخص‌های محاسبه‌شده برای کلاس پوششی خاک

شاخص	کمیت اول	کمیت دوم	همبستگی	شاخص	کمیت اول	کمیت دوم	همبستگی
NDVI	DN	Radiance	0.9942	PD43	DN	Radiance	0.9782
	DN	Reflectance	0.9948		DN	Reflectance	1.0000
	Radiance	Reflectance	0.9992		Radiance	Reflectance	0.9782
EVI	DN	Radiance	0.9934	VARI	DN	Radiance	0.9904
	DN	Reflectance	0.9970		DN	Reflectance	0.9918
	Radiance	Reflectance	0.9821		Radiance	Reflectance	0.9998
SAVI	DN	Radiance	0.9942	GRVI	DN	Radiance	0.9901
	DN	Reflectance	0.9980		DN	Reflectance	0.9895
	Radiance	Reflectance	0.9859		Radiance	Reflectance	1.0000
RVI	DN	Radiance	0.9903	NDWI	DN	Radiance	0.9676
	DN	Reflectance	0.9903		DN	Reflectance	0.9681
	Radiance	Reflectance	1.0000		Radiance	Reflectance	0.9937
GVI	DN	Radiance	0.9160	DVI	DN	Radiance	0.9235
	DN	Reflectance	1.0000		DN	Reflectance	1.0000
	Radiance	Reflectance	0.9160		Radiance	Reflectance	0.9235

جدول ۴. ضریب همبستگی بین شاخص‌های محاسبه‌شده برای کلاس پوششی منطقه مسکونی

شاخص	کمیت اول	کمیت دوم	همبستگی	شاخص	کمیت اول	کمیت دوم	همبستگی
NDVI	DN	Radiance	0.9960	PD43	DN	Radiance	0.8339
	DN	Reflectance	0.9965		DN	Reflectance	1.0000
	Radiance	Reflectance	0.9991		Radiance	Reflectance	0.8338
EVI	DN	Radiance	0.9955	VARI	DN	Radiance	0.9867
	DN	Reflectance	0.9974		DN	Reflectance	0.9887
	Radiance	Reflectance	0.9870		Radiance	Reflectance	0.9995
SAVI	DN	Radiance	0.9960	GRVI	DN	Radiance	0.9882
	DN	Reflectance	0.9984		DN	Reflectance	0.9880
	Radiance	Reflectance	0.9900		Radiance	Reflectance	1.0000
RVI	DN	Radiance	0.9908	NDWI	DN	Radiance	0.9411
	DN	Reflectance	0.9908		DN	Reflectance	0.9443
	Radiance	Reflectance	1.0000		Radiance	Reflectance	0.9983
GVI	DN	Radiance	0.8228	DVI	DN	Radiance	0.8893
	DN	Reflectance	1.0000		DN	Reflectance	1.0000
	Radiance	Reflectance	0.8227		Radiance	Reflectance	0.8893

جدول ۵. ضریب همبستگی بین شاخص‌های محاسبه‌شده برای کلاس پوششی گیاه

شاخص	کمیت اول	کمیت دوم	همبستگی	شاخص	کمیت اول	کمیت دوم	همبستگی
NDVI	DN	Radiance	0.9978	PD43	DN	Radiance	0.9863
	DN	Reflectance	0.9978		DN	Reflectance	1.0000
	Radiance	Reflectance	0.9994		Radiance	Reflectance	0.9863
EVI	DN	Radiance	0.9978	VARI	DN	Radiance	0.9962
	DN	Reflectance	0.9987		DN	Reflectance	0.9961
	Radiance	Reflectance	0.9937		Radiance	Reflectance	0.9999
SAVI	DN	Radiance	0.9978	GRVI	DN	Radiance	0.9953
	DN	Reflectance	0.9992		DN	Reflectance	0.9948
	Radiance	Reflectance	0.9947		Radiance	Reflectance	1.0000
RVI	DN	Radiance	0.9932	NDWI	DN	Radiance	0.9489
	DN	Reflectance	0.9932		DN	Reflectance	0.9464
	Radiance	Reflectance	1.0000		Radiance	Reflectance	0.9959
GVI	DN	Radiance	0.9794	DVI	DN	Radiance	0.9845
	DN	Reflectance	1.0000		DN	Reflectance	1.0000
	Radiance	Reflectance	0.9794		Radiance	Reflectance	0.9845

بررسی مقایسه‌ای اثر استفاده از مقادیر پیکسل، بازتابش و بازتابندگی در ...

جدول ۶. ضریب همبستگی بین شاخص‌های محاسبه‌شده برای کلاس پوششی آب

شاخص	کمیت اول	کمیت دوم	همبستگی	شاخص	کمیت اول	کمیت دوم	همبستگی
NDVI	DN	Radiance	0.9978	PD43	DN	Radiance	0.9955
	DN	Reflectance	0.9973		DN	Reflectance	1.0000
	Radiance	Reflectance	0.9996		Radiance	Reflectance	0.9955
EVI	DN	Radiance	0.9974	VARI	DN	Radiance	0.9984
	DN	Reflectance	0.9987		DN	Reflectance	0.9984
	Radiance	Reflectance	0.9930		Radiance	Reflectance	0.9999
SAVI	DN	Radiance	0.9978	GRVI	DN	Radiance	0.9980
	DN	Reflectance	0.9992		DN	Reflectance	0.9978
	Radiance	Reflectance	0.9944		Radiance	Reflectance	1.0000
RVI	DN	Radiance	0.9964	NDWI	DN	Radiance	0.9986
	DN	Reflectance	0.9964		DN	Reflectance	0.9977
	Radiance	Reflectance	1.0000		Radiance	Reflectance	0.9970
GVI	DN	Radiance	0.9786	DVI	DN	Radiance	0.8698
	DN	Reflectance	1.0000		DN	Reflectance	1.0000
	Radiance	Reflectance	0.9786		Radiance	Reflectance	0.8698

جدول ۷. مقادیر عددی ضرایب تبدیل DN به بازتابش و بازتابندگی بالای اتمسفر برای تصویر مورد استفاده استخراج شده از فایل متادیتای

تصویر

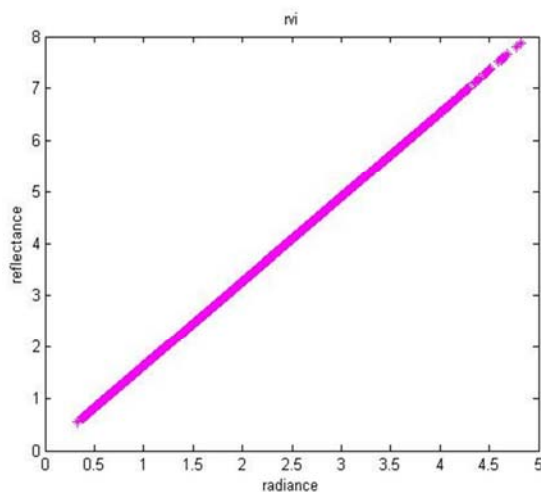
Band Number	RADIANCE_ADD_BAND	RADIANCE_MULT_BAND	REFLECTANCE_ADD_BAND	REFLECTANCE_MULT_BAND
2	-62.22177	1.2444E-02	-0.100000	2.0000E-05
3	-57.33683	1.1467E-02	-0.100000	2.0000E-05
4	-48.34965	9.6699E-03	-0.100000	2.0000E-05
5	-29.58757	5.9175E-03	-0.100000	2.0000E-05
6	-7.35816	1.4716E-03	-0.100000	2.0000E-05

۵- بحث و بررسی

در محاسبه شاخص‌ها، شاخص‌های محاسبه‌شده رفتار مشابهی خواهند داشت. کوچک‌ترین مقدار همبستگی برای شاخص DVI براساس مقدار پیکسل و بازتابش، معادل ۰.۹۲۵۷ است و پس از آن و با مقدار همبستگی ۰.۹۲۶۲، شاخص GVI براساس مقدار پیکسل و بازتابش است. در هر دو این شاخص‌ها از تفاضل مقادیر باندهای مادون قرمز و قرمز استفاده شده است؛ بنابراین، با توجه به مقادیر جدول ۷ می‌توان دریافت ضرایب RADIANCE_MULT_BAND و RADIANCE_ADD_BAND برای سه باند سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک کاملاً متفاوت است. در نتیجه، اگر مقدار شاخص DVI یا GVI را براساس مقدار بازتابش بسط دهیم، ضرایب باندهای مورد استفاده در این شاخص‌ها متفاوت خواهند بود. این موضوع باعث شده است میزان همبستگی شاخص‌های محاسبه‌شده از

همان‌طور که در بخش ۱ گفته شد، محاسبه مقادیر شاخص‌های گیاهی براساس کمیت‌های گوناگون احتمال تفاوت مقادیر و در نتیجه، احتمال تفاوت تفسیر را افزایش می‌دهد. جدول ۲ که مربوط به محاسبه همبستگی شاخص‌های گیاهی محاسبه‌شده از سه کمیت مقدار پیکسل، مقدار بازتابش و مقدار بازتابندگی بالای اتمسفر برای کل تصویر است تا حدی این موضوع را اثبات می‌کند. با توجه به مقادیر جدول ۲، می‌توان دریافت که ضریب همبستگی همه ده شاخص مورد ارزیابی برای سه کمیت مورد بررسی از ۰.۹۲ بزرگ‌تر است. بدین صورت، می‌توان گفت به‌طور کلی همبستگی مقدار این شاخص‌های گیاهی که از کمیت‌های ورودی متفاوت محاسبه شده‌اند، از لحاظ عملی بسیار بالاست. به‌عبارت دیگر، به‌ازای کمیت‌های ورودی متفاوت (مقدار پیکسل، بازتابش و بازتابندگی)

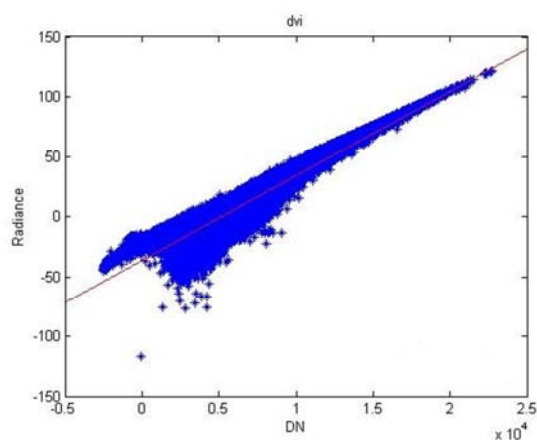
کامل به پارامتر A_L دارد ($A_L = -5000 M_L$). در فرمول شاخص‌های بیان‌شده، این مقادیر به صورت ضرایبی مساوی حذف می‌شوند یا به صورت ضرایب ثابتی که رابطه خطی بین مقادیر شاخص‌ها ایجاد می‌کنند ظاهر می‌شوند که در عمل باعث ایجاد ضریب همبستگی کامل می‌شود. مقدار همبستگی یک به معنای اثر کاملاً مشابه این شاخص‌ها و وابستگی خطی کامل شاخص‌های محاسبه‌شده براساس کمیت‌های متفاوت است. از میان این پنج شاخص فقط PD43 از باند مادون قرمز استفاده نمی‌کند. سه عدد از شاخص‌ها نسبتی و دو عدد از آنها تفاضلی‌اند. شکل ۳ نمودار پراکنش مقادیر شاخص RVI برای دو کمیت بازتابندگی و بازتابش را برای نمونه نشان می‌دهد.



شکل ۳. نمودار پراکنش مقادیر شاخص RVI برای دو کمیت Reflectance و Radiance

ضریب همبستگی شاخص‌های دیگر نیز بسیار بالاست و همان‌طور که در جدول ۲ مشخص می‌شود، ضرایب همبستگی بسیاری از شاخص‌ها نزدیک به ۰.۹۹ است. با توجه به شرایط حاضر، می‌توان نتیجه گرفت که در صورت تغییر کمیت ورودی محاسبه شاخص گیاهی، حضورداشتن یا حضورنداشتن باند مادون قرمز در شاخص‌های گیاهی در مقدار همبستگی بالا چندان مؤثر نیست. همچنین نوع شاخص، از لحاظ تفاضلی یا

مقدار پیکسل و بازتابش کمتر شود. شکل ۲ نمودار پراکنش مقادیر شاخص گیاهی DVI براساس مقدار پیکسل و بازتابش را نمایش می‌دهد. همان‌طور که از شکل ۲ نیز پیداست، مقادیر محاسبه‌شده برای شاخص براساس دو کمیت DN/Rad یکسان نیست اما همبستگی به نسبت بالایی (۰.۹۲۵۷) بین مقادیر برقرار است؛ گرچه کمترین مقدار همبستگی بین همه مقادیر همبستگی محاسبه شده است.



شکل ۲. نمودار پراکنش مقادیر شاخص گیاهی DVI براساس DN/Rad (تراکم بالای نقاط در محور مرکزی شکل، با توجه به اندازه نقاط، چندان مشخص نیست)

درواقع همه شاخص‌های نسبتی و یک شاخص تفاضلی PD43 میزان همبستگی بسیاری برای سه کمیت به کاررفته نشان داده‌اند. در مقابل، مقدار همبستگی ۱ برای پنج شاخص $GVI(DN/Ref)$ ، $DVI(DN/Ref)$ ، $RVI(Rad/Ref)$ ، $PD43(DN/Ref)$ ، $GRVI(Rad/Ref)$ محاسبه شده است. دلیل این همبستگی کامل را می‌توان در مقدار ضرایب تولید کمیت‌های بازتابندگی و بازتابش مندرج در جدول ۷ یافت. در حقیقت مقدار ضرایب M_p و A_p برای تولید مقدار بازتابندگی از مقادیر پیکسل (DN) برای همه باندها یکسان است. از سویی دیگر، در رابطه (۲)، نسبت ضریب A_L به M_L معادل -5000 برای همه باندهاست. به عبارت دیگر، مقدار M_L وابستگی خطی

چنین شاخص‌هایی باید دقت و توجه لازم را در انتخاب کمیت ورودی محاسبه شاخص، با توجه به این نکته و براساس نیاز و کاربرد مورد نظر، معطوف داشت.

شاخص گیاهی پرکاربرد NDVI در این میان، ضریب همبستگی بسیار بالایی را برای هر سه کمیت (۰.۹۹۴) نشان داده است؛ بنابراین، در محاسبه این شاخص نیز می‌توان بیان کرد که در محاسبات نسبی، کمیت مورد استفاده چندان مهم نیست و می‌توان هر یک از کمیت‌ها را به کار برد.

جدول‌های ۳ تا ۶ مربوط به محاسبه ضرایب همبستگی چهار کلاس خاک، منطقه مسکونی، گیاه و آب‌اند. در این جدول‌ها نیز شرایط شبیه وضعیت جدول ۲ است که به کل تصویر مربوط می‌شد. در اینجا نیز برخی شاخص‌های محاسبه شده براساس سه کمیت مقدار پیکسل، بازتابش و بازتابندگی با بیشترین ضریب همبستگی و برخی با ضرایب همبستگی کمتر ظاهر شده‌اند. با توجه به حجم بالای داده‌ها، در جدول ۷ خلاصه‌ای از شاخص‌هایی آورده شده است که بیشترین و کمترین مقدار همبستگی را در کلاس‌های چهارگانه خاک، آب، گیاه و مناطق مسکونی نشان داده‌اند.

نسبتی بودن نیز در اینجا اثر ندارد و در میان شاخص‌های با همبستگی بالا، از هر دو نوع شاخص (RVI, GVI, PD43) مشاهده می‌شود.

طبق شکل ۳، مقادیر مطلق شاخص RVI که براساس دو کمیت بازتابش و بازتابندگی محاسبه شده‌اند، به رغم ضریب همبستگی معادل یک، برابر نیستند و مقادیر این شاخص براساس بازتابندگی تقریباً ۱.۶ برابر مقادیر آن برحسب بازتابش است. دلیل این همبستگی بالا در شاخص RVI طبق رابطه (۴) این‌طور تفسیر می‌شود که اگر برای یک تصویر پارامترهای تبدیل را یکسان در نظر بگیریم، نسبت ثابتی بین بازتابش و بازتابندگی برای هر باند وجود خواهد داشت که در این صورت، رگرسیون خطی برای شاخص RVI براساس این داده‌ها برای همه پیکسل‌ها شیب ثابتی خواهد داشت؛ بنابراین، اگر مقدار دقیق این شاخص‌ها مورد نظر است، باید به این تفاوت توجه داشت. دو شاخص GVI و DVI که کمترین همبستگی را برای دو کمیت مقدار پیکسل و بازتابش نشان داده‌اند در دسته بیشترین همبستگی‌ها برای دو کمیت مقدار پیکسل و بازتابندگی نیز قرار گرفته‌اند. بنابراین، در محاسبه

جدول ۷. شاخص‌هایی با بیشترین و کمترین میزان همبستگی، به تفکیک پوشش زمین

ردیف	کلاس	بیشترین همبستگی		کمترین همبستگی	
		شاخص	ضریب همبستگی	شاخص	ضریب همبستگی
۱	خاک	RVI (Rad/Ref)	1	DVI (DN/Rad)	0.9235
		GVI (DN/Ref)	1		
		PD43 (DN/Ref)	1		
		GRVI (Rad/Ref)	1		
		DVI (DN/Ref)	1		
۲	منطقه مسکونی	RVI (Rad/Ref)	1	PD43 (DN/Rad) DVI (DN/Rad)	0.8339 0.8893
		GVI (DN/Ref)	1		
		PD43 (DN/Ref)	1		
		GRVI (Rad/Ref)	1		
		DVI (DN/Ref)	1		
۳	گیاه	RVI (Rad/Ref)	1	NDWI (DN/Ref)	0.9464
		GVI (DN/Ref)	1		
		PD43 (DN/Ref)	1		
		GRVI (Rad/Ref)	1		
		DVI (DN/Ref)	1		
۴	آب	RVI (Rad/Ref)	1	DVI (DN/Rad) DVI (Rad/Ref)	0.8698 0.8698
		GVI (DN/Ref)	1		
		PD43 (DN/Ref)	1		
		GRVI (Rad/Ref)	1		
		DVI (DN/Ref)	1		
۵	کل تصویر	RVI (Rad/Ref)	1	DVI (DN/Rad) GVI (DN/Rad)	0.9257 0.9262
		GVI (DN/Ref)	1		
		PD43 (DN/Ref)	1		
		GRVI (Rad/Ref)	1		
		DVI (DN/Ref)	1		

۲ تا ۶ می‌توان استنباط کرد که در بیشتر موارد شاخص‌های گیاهی حساس به کمیت به کار نمی‌روند. با توجه به اینکه مقدار همبستگی بین همه مقادیر مثبت بود، عملاً تبعیت رفتاری متغیرهای مورد مطالعه محرز است. بنابراین، در صورتی که مقدار مطلق شاخص مدنظر نباشد و مقایسه مقادیر شاخص در نظر گرفته شود، می‌توان از هر یک از کمیت‌های مقدار پیکسل، بازتابش و بازتابندگی استفاده کرد. البته این موضوع استثنایایی نیز داشت که در متن به آنها اشاره شد.

۶- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر استفاده از کمیت‌های مقدار پیکسل، بازتابش و بازتابندگی در شاخص‌های گیاهی، ده شاخص گیاهی از انواع نسبی، تفاضلی و با استفاده از باند مادون قرمز یا استفاده انحصاری از باندهای مرئی محاسبه شد. بدین ترتیب برای هر شاخص، سه مقدار براساس سه کمیت یادشده محاسبه شد. در مرحله بعد، میزان همبستگی خطی این سه مقدار برای هر شاخص، برای کل تصویر برآورد شد.

با توجه به اینکه امکان تأثیر نوع پوشش زمین در این ضرایب وجود داشت، میزان ضرایب همبستگی برای هر شاخص در چهار کلاس خاک، آب، منطقه مسکونی و گیاه به دست آمد. نتایج نشان می‌دهند که در هر چهار کلاس پوششی و همچنین کل تصویر، پنج شاخص گیاهی (GRVI (Radiance/Reflectance)، DVI (DN/Reflectance)، GVI (DN/Reflectance)، PD43 (DN/Reflectance)، RVI (Radiance/reflectance)) بیشترین ضرایب همبستگی (معادل ۱) را دارند. ضرایب همبستگی اثر شاخص‌های گیاهی محاسبه شده بسیار بالاست و به جز چند مورد معدود، بیشتر ضرایب همبستگی بالای ۰.۹۴ هستند. بنابراین، در جایی که مقدار مطلق شاخص‌ها مورد نظر نیست، می‌توان شاخص‌های گیاهی محاسبه شده براساس مقدار پیکسل را نیز با اطمینان به کار برد. این موضوع برای چندین تصویر ماهواره‌ای ۸ LANDSAT آزموده شد و نتایج یکسان بودند.

جدول ۷ نشان می‌دهد که در هر چهار کلاس پوششی و همچنین کل تصویر، پنج شاخص (GRVI (Radiance/Reflectance)، DVI (DN/Reflectance)، GVI (DN/Reflectance)، PD43 (DN/Reflectance)، RVI (Radiance/reflectance)) بیشترین ضرایب همبستگی یعنی ۱ را از خود نشان داده‌اند. بدین ترتیب، فارغ از نوع کلاس پوششی می‌توان گفت که استفاده از هر یک از این کمیت‌ها در محاسبه این شاخص‌ها در مقام مقایسه، چه بسا نتایج یکسانی به بار آورد. هم‌زمان میزان ضرایب همبستگی برای بیشتر شاخص‌های دیگر که با کمیت‌های متفاوت محاسبه شده‌اند نیز بسیار بالاست. بنابراین، استفاده مطلق از مقدار پیکسل‌ها به جای مقادیر دیگر همچون بازتابش و بازتابندگی بالای اتمسفر در مقایسه شاخص‌ها چندین اثرگذار نیست؛ گرچه مقادیر مطلق شاخص‌ها با یکدیگر متفاوت است. این موضوع را می‌توان به طور استثنای در شاخص DVI معتبر ندانست زیرا در ستون مربوط به کمترین همبستگی، این شاخص همیشه برای همه کلاس‌های پوششی و کل تصویر تکرار شده است. این شاخص تفاضلی از دو باند مادون قرمز و قرمز تشکیل شده است و با توجه به تفاوت رفتار انعکاسی بسیاری از مواد در بخش مرئی و بخش مادون قرمز، این تفاوت مقدار و کاهش همبستگی قابل پیش‌بینی است. کمترین میزان همبستگی برای منطقه مسکونی و آب با مقادیر زیر ۰.۹۰ اتفاق افتاده است که در آنجا مقادیر شاخص برحسب مقدار پیکسل و بازتابش ضرایب همبستگی اندکی را نشان داده‌اند.

ضرایب همبستگی شاخص پرکاربرد NDVI در جدول‌های ۲ تا ۶ نشان می‌دهد که ضرایب همبستگی این شاخص براساس کمیت‌های متفاوت همگی بیشتر از ۰.۹۹ است که عملاً ضرایب همبستگی بسیار بالایی است. مقادیر ضرایب همبستگی این شاخص برای چهار کلاس و همچنین کل تصویر تقریباً بسیار نزدیک به هم است؛ بدین معنا که پوشش تأثیر چندانی در محاسبه این شاخص برحسب کمیت‌های گوناگون ندارد.

از مجموع ضرایب همبستگی موجود در جدول‌های

- Difference Water Index For Remote Sensing Of Vegetation Liquid Water From Space**, REMOTE SENS. ENVIRON., 58, PP. 257–266.
- Gitelson, A.A., Gritz, Y. & Merzlyak, M.N., 2003, **Relationships between Leaf Chlorophyll Content and Spectral Reflectance Algorithms for Non-destructive Chlorophyll Assessment in Higher Plants**, Journal of Plant Physiology, 160, PP. 271–282.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X. & Ferreira, L.G., 2002, **Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices**, Remote Sensing of Environment, 83, PP. 195–213.
- Huete, A.R., 1988, **A Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI)**, Remote Sensing of Environment, 25, PP. 295–309.
- Jackson, R.D., 1991, **Interpreting Vegetation Indices**, Preventive Veterinary Medicine, 11(3), PP. 185–200.
- Kiyoshi, H., 2014, **DN to reflectance**, Available: www.rsgis.ait.ac.th/~honda/textbooks/advrs/DN2Reflectance_2p.pdf.
- Major, D.J., Baret, F. & Guyot, G. 1990, **A Ratio Vegetation Index Adjusted for Soil Brightness**, Int. J. Remote Sens., 11(5), PP. 727–740.
- Motohka, T., Nasahara, K.N., Oguma, H. & Tsuchida, S., 2010 **Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology**, Remote Sensing, 2, 2369–2387.
- Parente, C., 2013, **TOA Reflectance and NDVI Calculation for Landsat 7 ETM+ Images of Sicily**, Ecology, Forestry, Earth Science, 11, PP. 351–354.
- Schneider, P., Roberts, D.A. & Kyriakidis, P.C., 2008, **A VARI-based Relative Greenness from MODIS Data for Computing the Fire Potential Index**, Remote Sensing of Environment, 112, PP. 1151–1167.
- ۷- منابع
- پرویز، ل.، خلقی، م.، ولیزاده، خ.، عراقی‌نژاد، ش.، ایران‌نژاد، پ.، ۱۳۸۹، **ارزیابی کارایی شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) از طریق پایش وضعیت پوشش گیاهی**، همایش ملی ژئوماتیک، اردیبهشت.
- درویش‌زاده، ر.، متکان، ع.الف.، اسکندری، ن.، ۱۳۹۰، **ارزیابی شاخص‌های طیفی استخراج‌شده از تصاویر ALOS-AVNIR2 به منظور تخمین میزان بایومس محصول برنج**، چشم‌انداز جغرافیایی (مطالعات انسانی)، سال ۶، شماره ۱۴، صص. ۶۱–۷۳.
- صفدری‌نژاد، ع.، جنتی، م.، ولدان‌زوج، م.ج.، مختارزاده، م.، ۱۳۹۰، **مقایسه تئوریک قابلیت سنجنده‌های چندطیفی مرسوم در میزان حساسیت به دو شاخص گیاهی NDVI و SR به‌ازای تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی در سطح زیرپیکسل**، همایش ملی ژئوماتیک، اردیبهشت.
- Agapiou, A., Hadjimitsis, D.G. & Alexakis, D.D., 2012, **Evaluation of Broadband and Narrowband Vegetation Indices for the Identification of Archaeological Crop Marks**, Remote Sensing, 4, PP. 3892–3919.
- Agapiou, A., Hadjimitsis, D.G., Papoutsas, C., Alexakis, D.D. & Papadavid, G., 2011, **The Importance of Accounting for Atmospheric Effects in the Application of NDVI and Interpretation of Satellite Imagery Supporting Archaeological Research: The Case Studies of Palaepaphos and Nea Paphos Sites in Cyprus**, Remote Sensing, 3, PP. 2605–2629.
- Firl, G.J. & Carter, L., 2011, **Lesson 10: Calculating Vegetation Indices from Landsat 5 TM and Landsat 7 ETM+ Data**, Colorado State University.
- Gao, B.C., 1996, **NDWI—A Normalized**

Song, C., Woodcock, C.E., Seto, K.C., Lenney, M.P. & Macomber, S.A., 2001, **Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects?**, Remote sensing of Environment, 75, PP. 230–245.

Tucker, C.J., 1978, **Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation**, Produced by the NASA Center for Aerospace Information (CASI).

Zanter, K., 2015, **LANDSAT 8 (L8) Data Users Handbook**, Available: <https://www.greenpolicy360.net/mw/images/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>.