

ارزیابی وضعیت دمایی پوشش گیاهی (VTCI) برای پایش خشکسالی در حوضه آبریز سیمینه رود دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS

دریافت مقاله: ۹۶/۱۰/۲۶ پذیرش نهایی: ۹۷/۲/۲۴

صفحات: ۱۳۹-۱۲۹

عادل نبی زاده بلخکانلو: دانشجوی دکتری اقلیم شناسی کشاورزی، دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
Adel50khu@gmail.com
زهرا حجازی زاده: استاد و عضو هیئت علمی گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
hedjazizadeh@yahoo.com
پرویز ضیائیان فیروزآبادی: دانشیار و عضو هیئت علمی گروه ژئوآنفورماتیک، دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، ایران.
p.zeaiean@gmail.com

چکیده

کاهش مداوم تراز آب دریاچه ارومیه در سالهای اخیر، کاهش بارندگی و دبی رودخانه ها و خشکسالی های مداوم به دغدغه اصلی مردم ومسئولین تبدیل شده است. برای بررسی تغییرات اقلیمی و افزایش دما در حوضه آبریز دریاچه ارومیه از دو عامل سنجش ازدور و خواص حرارتی تصاویر ماهواره استفاده شد، که اهمیت تغییرات دمای سطح زمین (LST) و شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) را نشان می دهد. این مطالعه با استفاده از داده های ماهواره مادیس در بازه زمانی (۲۰۰۸-۲۰۱۰) به منظور بررسی رابطه فضایی NDVI-Ts و NDVI-ΔT برای بررسی زمان واقعی وقوع خشکسالی کشاورزی صورت گرفت. هدف استخراج شاخص VTCI (شاخص شرایط درجه حرارت پوشش گیاهی) است که قادر به شناسایی تنش خشکی در مقیاس منطقه ای است. نتایج نشان داد که شیب برای لبه گرم منفی است، جاییکه برای لبه سرد مثبت است. شیب لبه گرم نشان می دهد که دمای حداکثر کاهش می یابد هنگامی که مقدار NDVI برای هر فاصله زمانی افزایش می یابد. شیب در لبه سرد نشان می دهد دمای حداقل افزایش می یابد هنگامی که مقدار NDVI افزایش می یابد. به طور کلی در لبه گرم و لبه سرد، مشاهده شده است که مقدار روند خشکسالی در طول سالهای ۲۰۰۹، ۲۰۰۸ در مقایسه با سال ۲۰۱۰ بالاتر است. دربخشی از روز ژولایوسی ۲۵۷ شیب لبه سرد از سال ۲۰۰۸ به ۲۰۱۰ روند کاهشی دارد. اما در لبه گرم رهگیری پیکسلها برای ۲۰۰۸ بیش از ۳۲۳ درجه کلون است درجائیکه در ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ در آن کمتر از ۳۲۳ درجه کلون می باشد. به طور کلی مقدار ضریب همبستگی (R^2) در رابطه فضایی NDVI-TS بین (۰,۹۰-۰,۹۹) متفاوت است. پژوهش حاضر نشان داد که با یکپارچه سازی داده های ماهواره ای مودیس با داده های هواشناسی مقدار آستانه VTCI برای تنش خشکی ازسالی به سال دیگر متفاوت است که به شرایط داده بستگی دارد.

کلید واژگان: خشکسالی، سیمینه رود، شاخص NDVI، شاخص LST، شاخص VTCI

مقدمه

خشکسالی یک رویداد آب و هوایی دشوار و یک بلای «خزنده» است چرا که خشکسالی به آرامی توسعه می یابد و گاهی اوقات حضور طولانی مدت، بیش از چندین سال دارد. با این حال نتیجه یک فاجعه ناشی از خشکسالی می تواند گسترده و ویرانگر باشد. لذا یکی از مضرترین فجایع طبیعی است که "قاتل زندگی" نامیده می شود. خشکسالی به عنوان یک سم آرام در نظر گرفته شده، هیچ کس زمان ورود آن را نمی داند، تعداد نهایی روزها و شدتش قابل پیش بینی نیست. بخشی از نتایج در آب و هوای کره زمین است. بدون هیچ هشدار، بدون به رسمیت شناختن مرز و یا تفاوت های اقتصادی و سیاسی هر سال رخ می دهد. (۱۹۹۰، price).

ایران یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک دنیا است که همواره با مشکل کم آبی، خشکسالی - های متناوب مواجه می باشد. رشد فزاینده جمعیت، تخریبهای ناشی از آن و نیاز روزافزون به محصولات کشاورزی، دامی و محدودیت آب و خاک بعنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی، مسئله کم آبی را به گونه ای جدی در تمامی حوضه ها، فرا روی کشورمان قرار داده است. درسالهای اخیر روند تدریجی تغییر اقلیم و گرمایش جهانی و تغییر در پارامترهای اقلیمی به ویژه افزایش دما و کاهش بارش و به تبع آن خشک شدن رودخانه ها، تالابها، دریاچه ها، قناتها و چشمه ها در سطح کشور به نگرانی های مردم ومسئولین دامن زده ومدیریت منابع آبی وتغییر الگوی کشت محصولات کشاورزی را درالویت برنامه های دولت قرار داده است.

یکی ازحوضه هایی که درایران خیلی سریع به تغییرات اقلیمی واکنش نشان داد و حساسیت جامعه را برانگیخت، حوضه آبریز دریاچه ارومیه بود افت سریع و مداوم تراز سطح آب دریاچه ارومیه باعث شد که مسئولین توجه ویژه به این حوضه آبریز را در اولویت قرار داده و با ایجاد تشکیل ستاد مرکزی احیای دریاچه ارومیه و نمایندگی های فرعی در مراکز استانهای درگیر (آذربایجان غربی و شرقی)، مطالعات پژوهشی مختلفی را جهت ارائه راهکارهای عملی و علمی جهت احیای آب دریاچه ارومیه انجام دهند. دراین پژوهش با نظر گرفتن کلیه تحقیقات صورت گرفته، وضعیت دمایی اثرگذار بر خشکسالی منطقه با استفاده ازتصاویر ماهواره مودیس در حوضه آبریز درجه ۲ سیمینه رود مورد بررسی قرار گرفته است.

امروزه استفاده از سنجش از دور یکی از روشهایی است که برای شناسایی تغییرات پوشش گیاهی استفاده می شود. این تکنولوژی با اندازه گیری تشعشع خاص پوشش گیاهی، امکان شناخت تغییرات بازتاب ناشی از خشکسالی را در گیاهان فراهم می سازد. تحلیل فراوانی خشکسالی ها در قالب تداوم، شدت و بزرگی پیچیده است. زیرا که هریک از این ویژگیها ممکن است توزیع احتمالاتی خاص خود را دارا باشد. (Bhuiyan, ۲۰۰۶) پایش خشکسالی در مقیاس منطقه ای می تواند بطور منطقی نتیجه ای دهد که تحقیق حاضر، محتوای اطلاعات فضایی بالایی از داده های ماهواره ای ارائه می دهد، که اجازه می دهد نقشه برداری دقیقی از توسعه فضایی شرایط خشکسالی و تغییرات زمانی تنش خشکی در طول زمان و فضا صورت گیرد. (Carlson, ۱۹۹۷) (& etal)

این تحقیق در نظر دارد با استفاده از داده های ماهواره ای سنجش از دور به منظور بررسی رابطه فضایی بین LST و NDVI برای استخراج داده های ماهواره ای روند بازتابش دمای سطح و پوشش گیاهی، براساس

زمان واقعی پایش خشکسالی کشاورزی، شاخص VTCI (شاخص شرایط درجه حرارت پوشش گیاهی) را پیدا کند، که قادر به شناسایی تنش خشکی در مقیاس منطقه ای می باشد.

در زمینه ی بررسی شدت و طول مدت خشکسالی و استفاده از تصاویر ماهواره ای و شاخص های خشکسالی و هواشناسی مطالعات مختلفی در سراسر جهان، انجام شده است که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود: در هندوستان برای تجزیه و تحلیل علل خشکسالی در ایالت گجرات، از داده های ماهواره ای سنجنش از دور به منظور بررسی رابطه بین فضای NDVI-Ts و NDVI- ΔT برای استخراج ماهواره ای بر اساس زمان واقعی پایش شاخصهای خشکسالی کشاورزی استفاده شد و شاخص رطوبت محصول از داده های هواشناسی ۲۵ ایستگاه سینوپتیک محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل شاخص های ماهواره ای به دست آمده مرتبط با شاخص رطوبت محصول برای ارزشهای آستانه VTCI و WDI ایجاد و رگرسیون خطی بین VTCI و WDI با CMI برای همه سال از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۰۴ انجام گردید. مشاهدات زمانی از VTCI و WDI در برابر CMI برای هر سال خطی پسرفت را نشان می داد. با وجود ارزش مربع R، ضریب تعیین کمتر است روابط قابل توجه است. تغییر نتیجه قابل توجه F برای همه معادله رگرسیون خطی کمتر از ۰,۰۲ (در سطح ۰,۰۵) نشان می داد و از این رو تمام معادلات برای تعریف مقادیر آستانه معنی دار بود. (parida, ۲۰۰۶). در آمریکا از داده های دمای سطح زمین (LST) سنجنده MODIS و شاخص NDVI برای پایش خشکسالی استفاده کردند. در این تحقیق یک روش آنی پایش خشکسالی با استفاده از شاخص NDVI و LST تصاویر MODIS ایجاد شده است که به آن VTCI گفته می شود. همبستگی خطی بین VTCI و مجموع بارندگی ماهانه نشان داد که VTCI نه تنها با بارندگی های کنونی ارتباط معناداری داشته بلکه با مقدار بارندگی گذشته نیز همبستگی دارد. همچنین، نتایج تحقیق نشان داد که این شاخص می تواند رویکرد مناسبی برای پایش خشکسالی در لحظه باشد. (Wan و همکاران، ۲۰۰۴)

در سال های اخیر استفاده از قابلیت های تصاویر ماهواره ای و شاخصهای پوشش گیاهی به خصوص NDVI مورد توجه محققان و سازمان های مختلف در سطح کشورمان نیز بوده است. در استان کرمانشاه امکان سنجی تشخیص تغییرات پوشش گیاهی مبتنی بر شاخصهای زمینی و ماهواره ای خشکسالی بررسی شد نتیجه نشان داد که شاخصهای ماهواره ای از نظر تشخیص اندازه تغییر، همبستگی خوبی با هم دارند که بیشترین همبستگی مربوط به شاخص NDVI می باشد. (ابراهیم زاده و همکاران ۱۳۹۲) در حوضه آبریز سفید رود بررسی شاخص های منتج از سنجنش از دور در ارزیابی خشکسالی هواشناسی بررسی شد. به این منظور از تصاویر MODIS شاخص های NDVI، NDWI و DSI، VTCI استفاده شد. بیشترین همبستگی بین بارش ماهانه و شاخص VTCI اتفاق افتاد و کمترین میزان همبستگی با شاخص NDVI بدون تاخیر زمانی بود. (پرویز و همکاران، ۱۳۹۰).

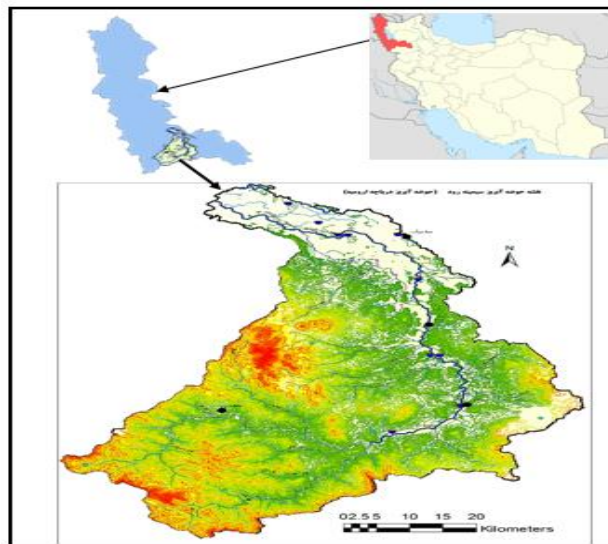
روش تحقیق

برای انجام این مطالعه از رویکرد نیمه تجربی که شامل تصاویر ماهواره ای بازتابش دمای سطح زمین (LST) و اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) در یک دوره سه ساله از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ می باشد، استفاده شده است. با توجه به وضعیت ابرناکی منطقه مورد مطالعه و دوری از موانع جوی تصاویر از ماه ژوئن تا اکتبر

هرسال ۵ تصویر و در مجموع ۱۵ تصویر (LST) و ۱۵ تصویر (NDVI) دانلود ، محاسبه و نتایج مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت، معادلات رگرسیون این تصاویر برای پایش شاخص شرایط دمایی پوشش گیاهی منطقه (VTCI) محاسبه گردید.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه در مختصات جغرافیایی '۱۳ ۴۴ تا '۵۴ ۴۷ طول شرقی و '۴۱ ۳۵ تا '۳۰ ۳۸ عرض شمالی قرار دارد. بخش شمالی آن از یک محدوده کم و بیش مسطح تشکیل گردیده که بین ارتفاعات گسترده شرقی ، جنوبی و غربی حوضه محصور است شکل (۱).



شکل (۱): حوضه آبریز سیمینه رود (نگارنده : دی ماه ۹۶)

حوضه آبریز دریاچه ارومیه با توجه به مشخصه‌های توپوگرافی به هشت زیرحوضه تقسیم شده است جدول (۱).

جدول (۱): تقسیمات زیر حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه

حوضه اصلی	حوضه فرعی	مختصات جغرافیایی		وسعت (کیلومتر مربع)
		عرض شمالی	طول شرقی	
حوضه آبریز دریاچه ارومیه	غرب دریاچه	'۲۳ ۳۷ تا '۲۳ ۳۸	'۲۴ ۴۵ تا '۲۴ ۴۵	۷۷۵۴
	شمال دریاچه	'۲۵ ۳۸ تا '۲۵ ۳۸	'۰۶ ۴۴ تا '۰۶ ۴۶	۲۱۱۹
	دریاچه	'۱۸ ۳۶ تا '۱۸ ۳۶	'۰۳ ۴۵ تا '۰۳ ۴۶	۷۳۰۶
	زرینه رود	'۴۳ ۳۵ تا '۴۳ ۳۵	'۲۴ ۴۷ تا '۲۴ ۴۵	۱۳۶۸۵
	سیمینه رود	'۰۳ ۳۶ تا '۰۳ ۳۷	'۲۴ ۴۵ تا '۲۴ ۴۶	۳۹۰۰
	جنوب دریاچه	'۱۱ ۳۶ تا '۱۱ ۳۷	'۴۶ ۴۵ تا '۴۶ ۴۴	۳۵۸۶

مأخذ : وزارت نیرو، طرح جامع آب ایران

زیرحوضه سیمینه رود

این زیرحوضه در موقعیت جغرافیایی $45^{\circ}25'$ تا $46^{\circ}24'$ طول شرقی و $36^{\circ}10'$ تا $37^{\circ}03'$ عرض شمالی، با وسعتی معادل ۳۹۰۰ کیلومتر مربع، در غرب زیرحوضه زرینه رود و شرق زیرحوضه جنوب دریاچه ارومیه قرار گرفته و رودخانه اصلی آن سیمینه رود است. این رود از دامنه‌های شمالی کوه‌های دوسر، خسرو، نیستان، ابراهیم جلال و مام‌سوار سرچشمه می‌گیرد و پس از دریافت شاخه‌های متعدد در مسیر خود که در امتداد جنوب به شمال است، از غرب بوکان عبور می‌کند و در جنوب غربی میاندوآب در نواحی ساحلی دریاچه پخش می‌شود. این زیرحوضه جزء کوچکترین زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه است و از سه واحد هیدرولوژیک سیمینه رود علیا، سیمینه رود وسطی و سیمینه رود سفلی تشکیل شده است.

جدول (۲): مشخصات زیرحوضه سیمینه رود

حوضه	واحد مطالعاتی	مختصات جغرافیایی	دشت	مساحت (km ²)
سیمینه رود	سیمینه رود علیا	$45^{\circ}33'$ تا $46^{\circ}24'$ طول شرقی $36^{\circ}10'$ تا $36^{\circ}44'$ عرض شمالی	بوکان	۲۴۳۶
	سیمینه رود وسطی	$45^{\circ}25'$ تا $46^{\circ}20'$ طول شرقی $36^{\circ}33'$ تا $36^{\circ}50'$ عرض شمالی	حاجی آباد	۶۰۸
	سیمینه رود سفلی	$45^{\circ}46'$ تا $46^{\circ}18'$ طول شرقی $36^{\circ}43'$ تا $37^{\circ}03'$ عرض شمالی	میاندوآب غربی	۸۵۶

پتانسیل ماهواره MODIS و LST برای پایش خشکسالی

دمای سطح زمین (LST)

Lst را مانند TS دمای سطح زمین می‌نامند. به طور کلی به معنی درجه حرارت پوسته زمین است. برای خاک بایر، LST نشان دهنده درجه حرارت سطح خاک است، همانطور LST نشان دهنده درجه حرارت سطح پوشش گیاهی می‌باشد. با این حال، در زمین با پوشش گیاهی پراکنده، LST توسط دمای سطح پوشش گیاهی، بوته‌های گیاهی و خاک تعیین می‌شود. دمای سطح Ts، درجه حرارت لایه‌های هواست که در تماس مستقیم با برگ است و Ta دمای هوا معمولی اندازه‌گیری شده در یک صفحه نمایش دماسنج است. LST یک ورودی بسیار مفید برای مدل سازی اجزای تعادل انرژی و نقشه برداری تبخیر و تعرق (ET) است. بازایی LST با استفاده از باندهای دمایی IR تصاویر ماهواره ای مؤثرترین راه برای استخراج تعادل انرژی و تبخیر و تعرق در مقیاس منطقه ای است. دمای سطح زمین (LST) یکی از پارامترهای کلیدی در فیزیک فرآیندهای زمین سطح در مقیاس های منطقه ای و جهانی است، که ترکیبی از نتایج حاصل از تمام فعل و انفعالات سطح جو و شار انرژی بین هوا و زمین می‌باشد. (Mann stein, ۱۹۸۷).

سنجنده مودیس

مودیس (اسپکترورادیومتر تصویربردار با قدرت تفکیک متوسط) سنجنده ای است که بر روی ماهواره ترا (EOS AM-1) قرار داده شده است. سنجنده مودیس ماهواره ترا، هر دو روز یکبار از تمام سطح زمین تصویربرداری می کند و داده هایی در ۳۶ باند طیفی اخذ می کند سنجنده مودیس دارای حساسیت رادیومتریکی بالا (۱۲ بیت) و در ۳۶ باند طیفی می باشد و دامنه طیفی آن از طول موجهای ۱۴/۴ - ۱۴ میکرومتر می باشد که این امر می تواند نیازهای کاربران مختلف را برطرف سازد. این سنجنده در 2 باند طیفی تصاویر با قدرت تفکیک اسمی 250 متر، در ۴ باند طیفی تصاویری با قدرت تفکیک اسمی ۵۰۰ متر و در ۳۰ باند دیگر نیز تصاویری با قدرت تفکیک ۱۰۰۰ متر برداشت می کند.

ویژگیهای محصولات مودیس استفاده شده در این پژوهش

تعداد ۱۵ تصویر از باند (MOD11A2) برای بدست آوردن دمای سطح زمین (LST) و همین تعداد تصویر از باند (MOD09Q1) برای بدست آوردن تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)

1. MODIS Land Surface Temperature/Emissivity30Day Global 1km SIN Grid V004

۲. MODIS/Terra Surface Reflectance 30Day Global 250m SIN Grid V004

شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)

این شاخص نخستین بار توسط Tucker در سال ۱۹۷۹، به عنوان شاخصی برای سلامت پوشش گیاهی مطرح شد. شاخص NDVI یک شاخص حساس به شرایط پوشش گیاهی است، که بطور وسیعی به منظور تخمین شاخص سطح برگ مورد استفاده قرار می گیرد و از طریق نسبت تبدیل نرمال شده بازتاب از باند مادون قرمز و باند قرمز حاصل می گردد. (sharma, ۲۰۰۶) مقادیر این شاخص بین ۱- و ۱+ قرار می گیرد. مقدار NDVI برای سطوح سبز بین صفر و ۱ و برای آب و ابرها و برف معمولاً مقداری کمتر از صفر و منفی دارد مقدار بالای این شاخص نشان دهنده افزایش تراکم پوشش گیاهی است که از رابطه (۱) قابل محاسبه است.

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{NDVI} = (\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{Red}}) / (\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{Red}})$$

ρ_{NIR} مقدار بازتابش از باند مادون قرمز ρ_{Red} مقدار بازتاب از باند قرمز می باشد. (گلیس وهمکاران، ۱۹۹۷)

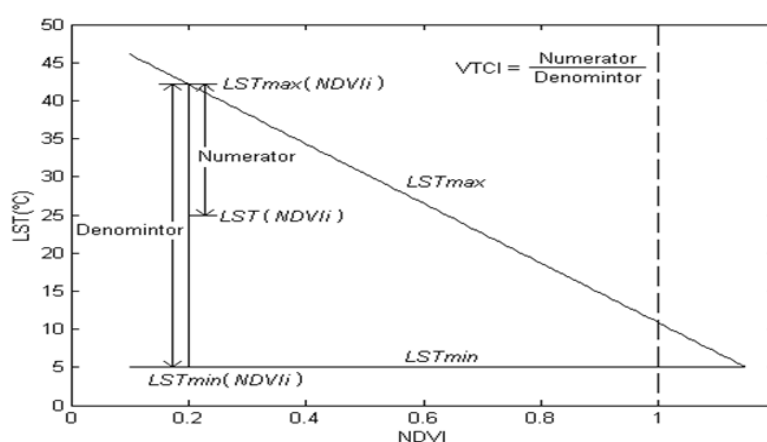
شاخص تغییر شرایط پوشش گیاهی (VTCI)

این شاخص بر پایه ی رابطه ی منفی بین شاخص پوشش گیاهی NDVI و دمای سطح زمین می باشد. شاخص VTCI به طور فیزیکی به صورت نسبت تفاوت دما بین پیکسل ها تعریف می شود. دامنه ی مقادیر شاخص VTCI بین صفر تا یک است که مقادیر پایین شاخص VTCI مبین احتمالات بالای خشکسالی می باشد رابطه (۲).

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{VTCI} = \frac{\text{LSTNDVI}_{\text{imax}} - \text{LSTNDVI}_i}{\text{LSTNDVI}_{\text{imax}} - \text{LSTNDVI}_{\text{imin}}} \quad \text{LSTNDVI}_i \text{ max} = a + b\text{NDVI}_i \quad \text{LSTNDVI}_i \text{ min} = a' + b'\text{NDVI}_i$$

$LST_{NDVI.min}$ و $LST_{NDVI.max}$: به ترتیب محدوده های حداکثر و حداقل دمای سطح زمین با مقادیر $NDVI_i$ یکسان در منطقه ی مورد مطالعه می باشد.

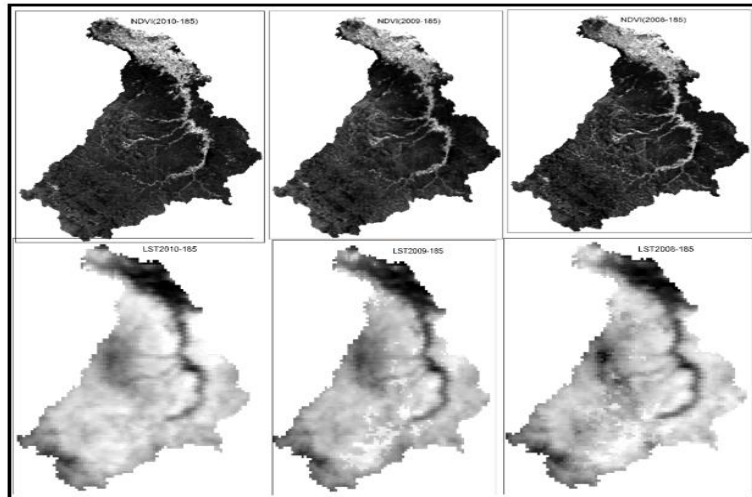
LST_{NDVI_i} : دمای سطح زمین هر پیکسل با شاخص پوشش گیاهی $NDVI_i$ ضرائب مربوط به رابطه (۱ و ۲) را می توان از ترسیم نمودار دمای سطح زمین در برابر شاخص $NDVI$ به دست آورد. در صورتی که منطقه مورد مطالعه به اندازه کافی بزرگ باشد تا دامنه ی وسیعی از $NDVI$ و شرایط رطوبتی سطح را شامل شود، شکل این نمودار بطور نرمال در مقیاس ناحیه ای به صورت مثلث شکل (۲) می باشد. (Wan, 2004: 65).



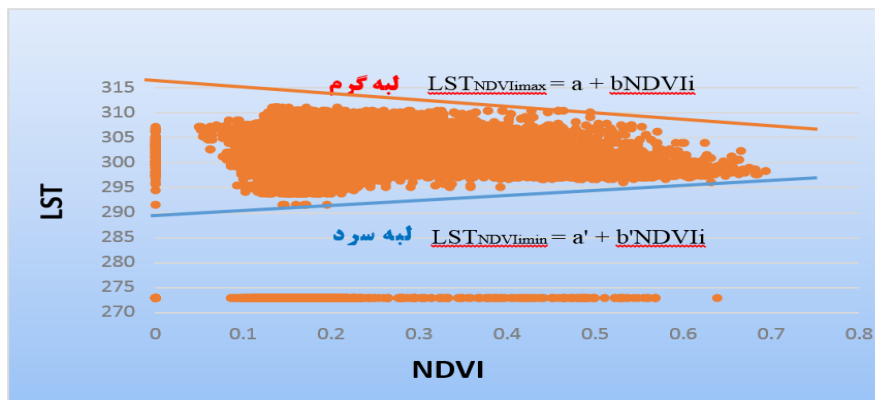
شکل (۲): نمودار شماتیک تفسیر فیزیکی شاخص VTCI

نتایج

این مطالعه با هدف بررسی وضعیت خشکسالی در زیرحوضه آبریز سیمینه رود و دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص شرایط درجه حرارت پوشش گیاهی (VTCI) بعنوان ارزش مبتنی بر تفسیری از فضای TS-NDVI و مقایسه VTCI با شاخص برآورد رطوبت محصول (CMI) به منظور بررسی بازده VTCI در پایش خشکسالی با داده های ماهواره ای MODIS انجام گرفت. برای بررسی نقش رابطه TS-NDVI در پایش خشکسالی، مطالعه VTCI ضرورت دارد. VTCI برای پایش خشکسالی در سطح منطقه برای مدت زمان خاصی بین ۲۰۰۸-۲۰۱۰ در طول دوره رشد پوشش گیاهی منطقه توسعه یافته است. این شاخص برای نظارت بر ظهور خشکسالی در ۳۰ روز ترکیبی استفاده شده است اشکال (۳ و ۴).



شکل (۳): تصاویر NDVI و LST منطقه مورد مطالعه روز ژوئیه ۱۸۵



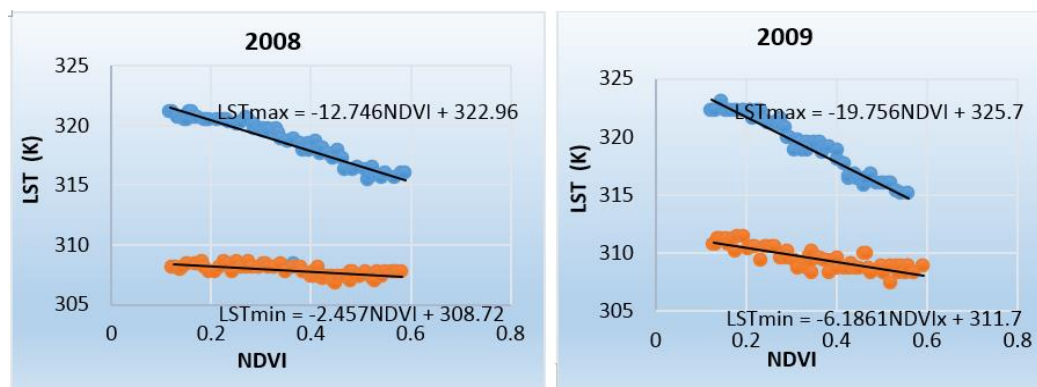
شکل (۴): نمودار شماتیک فضای مثلثی برای تفسیر فیزیکی شاخص VTCI

شاخص VTCI بر اساس یک فضای مثلثی NDVI-TS ساده شده استوار است که در آن «لبه سرد» را (شرایط بدون استرس آبی) بعنوان یک خط در نظر می‌گیریم که کمترین دما را در محور NDVI (محور X) دارد و «لبه گرم» را (شرایط عدم دسترسی به آب) بعنوان یک ارتباط منفی با NDVI تفسیر می‌کنیم. اسکتر پلات دوبعدی، NDVI و LST با استفاده از نرم افزار ENVI و پیرو مفهومی که از VTCI ارائه شد، ساخته شده است؛ که در آن ایزو لاین‌ها (تصاویر مجزا از هم) می‌تواند در قالب یک مثلث ترسیم شوند، که حد بالای این مثلث نشان دهنده $LST_{NDVImax}$ یعنی جائیکه ذخیره آب محدود است و حد پایین آن نشان دهنده $LST_{NDVimin}$ یعنی جائیکه هیچ محدودیت آبی وجود ندارد؛ می‌باشد. ضرایب b' , a' , b , a می‌توانند از روی Scatter Plot برآورد گردند. در معادله ضرایب a' , a عرض محور مختصات بوده و ضرایب b' , b شیب لبه گرم و سرد هستند. لبه های خشک و مرطوب از طریق رگرسیون خطی برآورد شده اند. بر اساس فضای NDVI-TS به دست آمده، VTCI برای هر پیکسل، به غیر از پیکسل های مربوط به محدوده اصلی آب، با

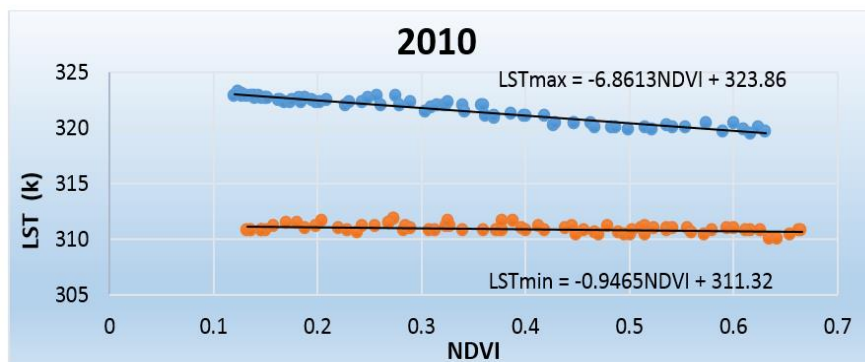
استفاده از band math در نرم افزار ENVI محاسبه شده است. بنابراین از این طریق الگوی فضای دمایی خشکی در حوضه آبریز سیمینه می تواند به دست آید جدول (۳).

جدول (۳): معادلات رگرسیون خطی به دست آمده از رابطه فضای مثلثی NDVI-Ts برای شاخص VTCI

سال	روز ژوئیه	لبه گرم (T _{max})	R ²	لبه سرد (T _{min})	R ²
۲۰۰۸	۱۵۳	$LSTNDVImax = -7.5868NDVI + 320.67$	.99	$LSTNDVImin = -.7391NDVI + 306.05$	.99
	۱۸۵	$LSTNDVImax = -12.746NDVI + 322.96$	.95	$LSTNDVImin = -2.457NDVI + 308.72$	.95
	۲۱۷	$LSTNDVImax = -14.087NDVI + 323.6$	.99	$LSTNDVImin = -6.6475NDVI + 311.75$	.99
	۲۴۹	$LSTNDVImax = -20.684NDVI + 321.01$	.99	$LSTNDVImin = -5.5618NDVI + 305.45$	.99
	۲۸۱	$LSTNDVImax = -9.8078NDVI + 308.1$	.99	$LSTNDVImin = -1.7107NDVI + 299.72$	.99
۲۰۰۹	۱۵۳	$LSTNDVImax = -7.9888NDVI + 315.98$	.99	$LSTNDVImin = -2.2301NDVI + 305.29$	.99
	۱۸۵	$LSTNDVImax = -19.756NDVI + 325.7$	.90	$LSTNDVImin = -6.1861NDVI + 311.7$	.95
	۲۱۷	$LSTNDVImax = -9.5192NDVI + 319.99$	.99	$LSTNDVImin = -5.5092NDVI + 309.67$	.99
	۲۴۹	$LSTNDVImax = -9.0039NDVI + 316.69$	.99	$LSTNDVImin = -.41NDVI + 305.69$	.99
	۲۸۱	$LSTNDVImax = -16.513NDVI + 308.23$	.99	$LSTNDVImin = -.4761NDVI + 298.08$	.99
۲۰۱۰	۱۵۳	$LSTNDVImax = -12.761NDVI + 320.76$	.99	$LSTNDVImin = -2.2832NDVI + 307.98$	.99
	۱۸۵	$LSTNDVImax = -6.8613NDVI + 323.86$	.95	$LSTNDVImin = -.9465NDVI + 311.32$	.95
	۲۱۷	$LSTNDVImax = -9.0054NDVI + 320.3$	.99	$LSTNDVImin = -4.7361NDVI + 309.79$	.99
	۲۴۹	$LSTNDVImax = -9.6905NDVI + 319.86$	.99	$LSTNDVImin = -.9891NDVI + 308.06$	.99
	۲۸۱	$LSTNDVImax = -6.1726NDVI + 307.63$	.99	$LSTNDVImin = -8.3394NDVI + 296.34$	.99

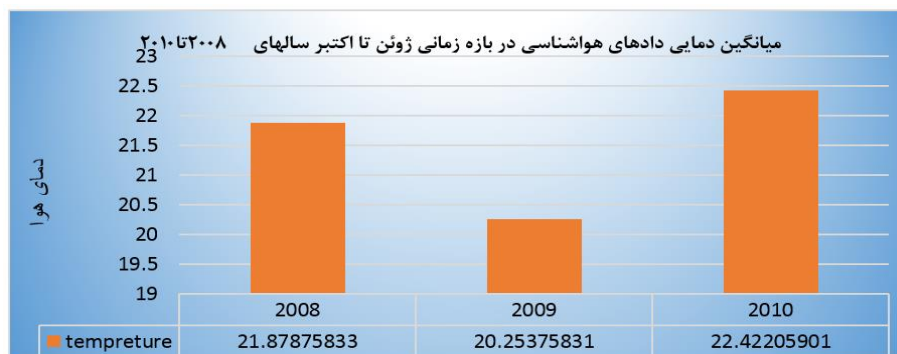


شکل (۵): شیب لبه گرم و سرد از فضای مثلثی رابطه (NDVI - Ts) روز ژوئیه ۱۸۵



شکل (۶): شیب لبه گرم و سرد از فضای مثلثی رابطه (NDVI - Ts) روزژولیوسی ۱۸۵

در تمام این سالها مشاهده می شود که شیب برای لبه گرم منفی است درحالیکه برای لبه سرد مثبت است. شیب لبه گرم نشان می دهد که دمای حداکثر کاهش می یابد هنگامی که مقدار NDVI برای هر فاصله زمانی افزایش می یابد. شیب در لبه سرد نشان می دهد دمای حداقل افزایش می یابد هنگامی که مقدار NDVI افزایش می یابد. به طور کلی در لبه گرم و لبه سرد، مشاهده شده است که مقدار روند خشکسالی در طول سالهای ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ در مقایسه با سال ۲۰۱۰ بالاتر است بخشی از روز ژولیوسی ۲۵۷ شیب لبه سرد از سال ۲۰۰۸ به ۲۰۱۰ روند کاهشی دارد. اما در لبه گرم رهگیری پیکسلها برای ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ بیش از ۳۲۳ درجه کلون است درحالیکه در سال ۲۰۱۰ در آن کمتر از ۳۲۳ کلون می باشد. به طور کلی مقدار R^2 در رابطه فضایی NDVI-TS بین (۰,۹۹-۰,۹۰) متفاوت است اشکال (۵) و (۶) و (۷).



شکل (۷): میانگین درجه حرارت ایستگاههای سینوپتیک از ژوئن تا اکتبر درسه سال متوالی

نتیجه گیری

شاخصهای ماهواره ای به دست آمده VTCI می تواند ابزار بسیار مهم برای مطالعه تغییرات زمانی خشکسالی باشد. تغییرات زمانی خشکسالی و تغییر الگوی خشکسالی در طول دوره در حوضه سیمینه رود مشاهده می شود و تنش خشکی منطقه نیز در هر دوره ۳۰ روزه در حال تغییر است. پتانسیل بیشتری برای نظارت زمان واقعی خشکسالی کشاورزی با استفاده از داده های ماهواره ای مودیس وجود دارد. از این رو روش نیمه تجربی

شاخص ماهواره ای مانند VTCI می تواند یک عامل بسیار مهم هشدار دهنده زود هنگام برای خشکسالی در مقیاس منطقه‌ای باشد.

روش شناسی توسعه یافته برای پایش خشکسالی در مقیاس منطقه ای می تواند بطور منطقی نتیجه‌ی دهد که پژوهش حاضر محتوای اطلاعات مکانی بالایی از داده‌های ماهواره‌ی مربوط به آن را شامل می‌شود، که می تواند نقشه برداری دقیقی از میزان توسعه فضایی شرایط خشکسالی و تغییرات زمانی تنش خشکی در طول زمان صورت پذیرد.

منابع

ابراهیم‌زاده، سجاد. بذرافشان، جواد. قربانی، خلیل. (۱۳۹۲). امکان سنجی تشخیص تغییرات پوشش گیاهی مبتنی بر شاخصهای زمینی و ماهواره ای خشکسالی (کرمانشاه)، مجله هواشناسی کشاورزی، (۱۱): ۳۷-۴۸

پرویز، لاله؛ خلقی، محمدرضا؛ ولیزاده کامران، خلیل. (۱۳۸۸). پایش خشکسالی با استفاده از شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین حاصل از تصاویر ماهواره ی MODIS، چهارمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، آذر ۱۳۸۸.

Parida, R.B. (2006) **Analysing the effect of severity and duration of Agricultural drought on crop performance using Terra/MODIS Satellite, data and Meteorological data.**

Bhuiyan, C., Singh, R.P., Kogan, F.N. (2006). **Monitoring Drought Dynamics in the Aravalli Region (India) Using Different Indices Based on Ground and Remote Sensing Data**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 8: 289-302.

Carlson T N, Ripley D A. (1997), **on the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index**. Remote Sens Environ, 62: 241_252

Gillies, R.R., Carlson, T. N., Cui, J., Kustas, W. P. and Humes, K. S., (1997) **A verification of the 'triangle' method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurement of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and surface radiant temperature**. *International Journal of Remote Sensing*, 18: 3145-3166.

Price, J.C., (1990) **Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 28: 940-948.

Sharma, A (2006). **Spatial data mining for drought monitoring: An approach using temporal NDVI and relationship**, Thesis Geo-Information Science and Earth Observation, India

Wan, Z., Wang, P., and Li, X., (2004), **Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA**. International Journal of Remote Sensing, 25(1): 61-72.