نشریه علمی- ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دوره هشتم، شماره ۱، بهمن ماه ۱۳۹۵

بررسی نقش سدهای مخزنی بزرگ بر اقلیم محلی با بکارگیری فنون سنجش از دور (مطالعه موردی: سد مخزنی بافت)

رحیم علی عباسپور*[۱]، احسان لاله زاری[۲]

[۱] استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
abaspour@ut.ac.ir

[۲]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سنجش از دور - دانشکده عمران و نقشه‌برداری - دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان
ehsanlalehzari@gmail.com

(تاریخ دریافت مهر ۱۳۹۴، تاریخ تصویب دی ۱۳۹۴)

چکیده

تحقیقات نشان می‌دهد که مخازن بزرگ آبی، مانند یک سطح تبخیری بزرگ عمل کرده و در مناطق با رطوبت پایین باعث افزایش دمای سطح می‌شوند. از آن‌جا که سدهای بزرگ دارای اثرات منفی بلندمدتی بر روی اقلیم محلی هستند، ضروری به نظر می‌رسد که پیش از احداث این گونه سدها در اقلیم‌های نیمه خشک مطالعات بیشتری در رابطه با مکان‌یابی احداث آن‌ها انجام شود. سنجش از دور ابزاری قدرتمند در مطالعات زمانی اقلیم‌های خرد و کلان است. شاخص TVDI به طور کلی به بررسی روابط بین پوشش گیاهی و دمای سطحی منطقه می‌پردازد که منعکس کننده‌ی درجه‌ی خشکسالی آن منطقه است. هدف ما در این تحقیق بررسی نقش سد مخزنی بافت بر اقلیم محلی و میزان خشکی منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سری لندست است. نتایج این تحقیق اثرات منفی احداث سدهای بزرگ در اقلیم‌های نیمه خشک را تایید کرده و نشان دهنده‌ی افزایش شاخص خشکی TVDI در اطراف سد مخزنی بافت می‌باشد.

واژگان کلیدی: سدهای مخزنی، اقلیم محلی، سنجش از دور، شاخص TVDI

---

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

تجزیه و تحلیل‌ها نشان می‌دهد که مخازن بزرگ آبی، مانند یک سطح تبخیری عمل کرده و حرکت همرفتی رو به بالا را کاهش داده و همچنین باعث فرو رفتن توده‌ی هوا می‌شود. اگر این فرورفتگی توده‌ی هوا در شرایط با رطوبت محلی پایین انجام پذیرد، باعث کاهش ابرآلودگی و افزایش تابش خالص رو به پایین می‌شود که افزایش دمای سطح را در پی دارد [۱]. دمای سطح زمین با پوشش گیاهی رابطه‌ی عکس دارد. به طوری که با افزایش دمای سطح پوشش گیاهی کاهش می‌یابد و این به دلیل رابطه‌ی معکوس پوشش گیاهی با میزان استرس آبی است که در نتیجه‌ی افزایش دمای سطح رخ می‌دهد [۲].

طبق تعریف کمیسیون بین‌المللی سدهای بزرگ (ICOLD)[1]، سدهایی که دارای مخزن با ارتفاع بیش از ۱۵ متر و یا حجم ذخیره شده‌ی بیش از ۳ میلیون متر مکعب هستند، جزو گروه سدهای بزرگ قرار می‌گیرند [۳]. سد مخزنی بافت با گنجایش بیش از ۴۰ میلیون متر مکعب آب، از آغاز سال ۹۲ اشباع شده و از این لحاظ جزو تعریف سدهای بزرگ قرار می‌گیرد. علاوه بر اثرات مثبت فراوانی که سدهای بزرگ دارند، دارای اثرات منفی نیز هستند. این اثرات منفی به طور خلاصه از لحاظ زیست‌محیطی شامل موارد زیر است:

۱- افزایش زیان‌های زیست محیطی ناشی از تبخیر زیاد که در اثر افزایش سطح آب رخ می‌دهد.

۲- در سطح خرد اقلیم‌ها و حتی بعضی اقلیم‌های محلی، ممکن است تغییراتی در رابطه با تغییر درصد رطوبت هوا، دمای هوا و حرکت هوا در مقیاس‌های بزرگ رخ دهد. این رخنمون‌ها شاید برای سلامتی انسان خیلی مضر نباشند، اما برای بسیاری از گیاهان و حیوانات تاثیرگذار است [۴].

۳- به طور کلی اعتقاد بر این است که تغییرات انسانی در پوشش زمینی، بر هواشناسی و اقلیم محلی از جمله پوشش ابر، بارش، آب‌شناسی سطح زمین و دمای سطح زمین تاثیر گذاشته است (پیلکه و همکاران ۱۹۹۹).

مدت زمان طولانی است که فرآیندهای بین سطح زمین و آتمسفر به رسمیت شناخته شده است. فرآیندهای اقلیمی و هواشناسی، خصوصیات سطح زمین از جمله توزیع پوشش گیاهی، تعادل انرژی و آب‌شناسی حوضه‌های آبریز را تعیین می‌کنند (نیلسون ۱۹۸۶؛ لو و همکاران ۲۰۰۱؛ اسمال و کِرک ۲۰۰۳؛ وایس و همکاران ۲۰۰۴). فرآیندهای سطح زمین به نوبه‌ی خود بر دمای آتمسفر، رطوبت، بارش و انتقال تابشی تاثیرگذار است (پیلکه و همکاران ۱۹۹۸؛ لو و همکاران ۲۰۰۱؛ وایس و همکاران ۲۰۰۴). مطالعات زیادی به این برهمکنش‌های بین سطح زمین و آتمسفر پرداخته اند، از جمله توسعه‌ی مدل زمین- آتمسفر (نویل هان و پلانتن ۱۹۸۹؛ پیتمن ۱۹۹۱؛ ژو و همکاران ۱۹۹۱) و رابطه‌ی بین پویایی پوشش گیاهی در سرزمین‌های مختلف و تغییرات اقلیمی (بِتس و همکاران ۱۹۹۷؛ بونووا و همکاران ۱۹۹۹؛ وایس و همکاران ۲۰۰۴).

پریس و جونز (۲۰۰۲)، میلر و همکاران (۲۰۰۵) و دیگو و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقات مشابهی که در مورد سدهای بزرگ، به ترتیب واقع در استرالیا، چین و ایالات متحده آمریکا انجام دادند، اثرات فوق را تایید کرده اند [۱و۳و۵]. وجه مشترک این تحقیقات در یکسان بودن اقلیم مناطقی است که سدهای بزرگ در آن احداث شده اند. تمامی سدها در اقلیم نیمه خشک قرار دارند. شهرستان بافت نیز در مناطق شمالی که محل احداث سد مخزنی است دارای اقلیمی نیمه خشک می‌باشد.

از طرفی مطالعاتی بوسیله‌ی محققان دانشگاه‌های Tennessee Tech، Purdue، Colorado و Georgia و همچنین آزمایشگاه ملی Pacific Northwest و مرکز تحقیقات دریایی Hellenic در زمینه‌ی سد های بزرگ انجام گرفته است که طی آن به این نتیجه رسیده اند که سدهای بزرگ می توانند الگوی بارش را تغییر دهند. این مطالعات بر روی سد بزرگ کالیفرنیا انجام گرفته است که دارای اقلیمی نیمه خشک می‌باشد [۶].

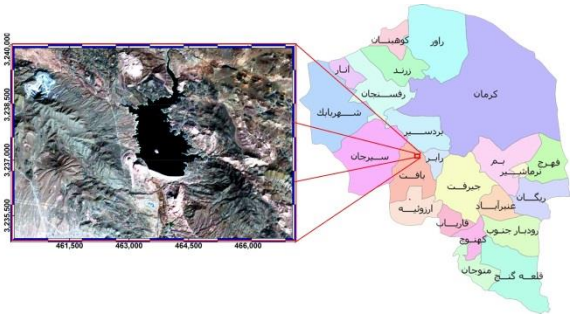
سنجش از دور ابزاری قدرتمند در مطالعات زمانی اقلیم‌های خرد و کلان می‌باشد. در مقیاس کلان سنجنده‌های MODIS و AVHRR و در مقیاس‌های محلی با استفاده از سنجنده‌های نصب شده روی سکوهای سری لندست می‌توان به خوبی مطالعات اقلیمی انجام داد [۷]. در این مطالعه هدف نقش سد مخزنی بافت بر اقلیم محلی، یا به طور دقیق‌تر میزان خشکی منطقه طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ بررسی خواهد شد.

1International Commission on Large Dams (www.icold-cigb.org/home.asp)

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه‌ی مورد مطالعه

شهرستان بافت در جنوب غربی استان کرمان و در طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی قرار گرفته و مرکز آن شهر بافت است و تا شهر کرمان ۱۵۶کیلومتر فاصله دارد (شکل۱). شهرستان بافت منطقه‌ای کوهستانی و سردسیر است که توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) به عنوان یکی از ۷۰ شهر سالم ایران و یکی از هزارشهرسالم جهان معرفی شده است [۸]. ارتفاع شهربافت از سطح دریا ۲۲۸۰ متر است که در برخی نواحی شهر بافت به ۲۳۱۵ متر از سطح دریا هم می رسد و بافت از شهرهای مرتفع ایران و بلندترین شهربالای ۲۵ هزارنفرجمعیت ایران محسوب می شود. اقلیم شهرستان بافت از گرم و خشک در جنوب تا نیمه خشک و نیمه مرطوب در شمال آن متنوع است. سد مخزنی بافت در شمال شهرستان و در اقلیم نیمه خشک و نیمه مرطوب بوده و گنجایش حدود ۴۰ میلیون متر مکعب آب دارد که از سال ۹۲ به این حجم رسیده است [۹و۱۰].



شکل۱- موقعیت جغرافیایی سد مخزنی بافت در استان کرمان و شهرستان بافت(تصویر سال ۲۰۱۴ از Google Earth)

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

۲-۲-۱- داده‌های ماهواره‌ای

داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده از سری ماهواره‌های لندست اخذ شده که همگی در مدار ۷۰۵ کیلومتری از زمین قرار دارند (جدول۱) و دارای قدرت تفکیک بسیار مناسب ۳۰ متر هستند که این داده‌ها را برای مطالعات اقلیم شناسی محلی، کاربردی می‌سازد. در واقع این داده‌ها می‌توانند مکمل خوبی برای سنجنده MODIS باشند.

جدول۱- لیست خصوصیات داده‌های مورد استفاده

نام ماهواره	نام سنجنده	تاریخ تصویربرداری	قدرت تفکیک مکانی چندطیفی	قدرت تفکیک مکانی حرارتی
لندست ۷	ETM+	۲۲ جولای ۲۰۰۰	۳۰متر	۶۰متر
لندست ۵	TM	۷ جولای ۲۰۰۹	۳۰متر	۱۲۰متر
لندست ۸	OLI, TIRS	۲۱ جولای ۲۰۱۴	۳۰متر	۱۰۰متر

پیش‌پردازش داده‌ها، شامل تصحیحات رادیومتریک و آتمسفری، در نرم‌افزار PCI Geomatica 2014 و با استفاده از مدل با دقت بالای MODTRAN4 که در ابزار ATCOR این نرم افزار تعبیه شده است، انجام شد. دقت بالای مدل MODTRAN به این جهت است که پارامترهای جزئی سنجنده از جمله تاریخ، زمان، ارتفاع، باندهای جذبی بخار آب و مختصات مرکز تصویربرداری سنجنده و همچنین پارامترهای جزئی محل تصویربرداری از جمله شرایط آب‌وهوایی محیط، توپوگرافی به منظور تصحیح سایه را مورد استفاده قرار می‌دهد. دلیل مهم تر برای استفاده از این مدل، خشن بودن توپوگرافی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. لازم به ذکر است پارامترهای تصحیح آتمسفری باندهای حرارتی از سایت ناسا اخذ شده‌اند. سایر پردازش‌ها از قبیل پردازش‌های رستری و برنامه‌نویسی در نرم-افزارهای ENVI،ArcGIS و Matlab انجام شد.

۲-۲-۲- داده‌های هواشناسی

داده های هواشناسی که برای اعتبارسنجی دمای سطح زمین، اثبات معنی‌دار بودن ارتباط بین دمای سطح زمین با دمای عمق ۵ سانتیمتری خاک از طریق رگرسیون خطی و سایر کاربردها از قبیل انتخاب مناسب تصاویر ماهواره ای بر اساس شرایط دمای سالیانه‌ی منطقه مورد استفاده قرار گرفتند، شامل دمای عمق ۵ سانتی متری خاک، رطوبت نسبی، دمای هوا، سرعت و جهت باد به طور ساعتی برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ میلادی است که از اداره کل هواشناسی استان کرمان اخذ شد.

۲-۳- روش‌ها

قبل از پرداختن به مراحل پردازش بعدی، لازم به ذکر است که برای محاسبه‌ی شاخص TVDI ابتدا باید

شاخص‌های NDVI و دمای سطح زمین (LST) محاسبه شود. برای محاسبه دمای سطح زمین، ابتدا نیاز به تهیه نقشه گسیلمندی سطح زمین می‌باشد که با استفاده از شاخص NDVI همانطور که در فرمول‌های ۲و۳ آمده است محاسبه می‌شود. سپس طبق فرمول‌های ۵ تا ۷ دمای سطح زمین محاسبه می‌شود. در نهایت شاخص TVDI برای منطقه‌ی مورد مطالعه طبق بخش ۲-۳-۳ محاسبه شده و نقشه خشکی سطح بدست می‌آید.

۲-۳-۱- شاخص تفاضلی نرمال شده گیاهی (NDVI)

پس از تصحیحات مربوط به کالیبراسیون سنجنده‌ها و انجام تصحیح آتمسفری و بدست آوردن بازتابندگی سطح، با استفاده از باند مادون قرمز نزدیک (NIR) و باند قرمز (Red) شاخص تفاضلی نرمال شده گیاهی (NDVI) از معادله (۱) بدست می‌آید.

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red) \qquad (۱)$$

۲-۳-۲- دمای سطح زمین (LST)

برای بدست آوردن سطح از روش محاسبه گسیلمندی سطح با استفاده از NDVI که توسط سبرینو و همکاران (۲۰۰۴) برای بدست آوردن سطح از تصاویر ماهواره لندست ۵ پیشنهاد شده است، استفاده شد [۱۱]. برای این کار ابتدا از معادله (۲) نسبت پوشش گیاهی (Pv) را بدست می آوردیم.

$$Pv = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}\right)^2 \qquad (۲)$$

که در این معادله NDVImax و NDVImin به ترتیب کران‌های بالا و پایین شاخص NDVI در تصویر هستند. سپس نوبت به تخمین میزان گسیلمندی سطح زمین یا LSE می‌رسد که از فرمول (۳) بدست می آید.

$$LSE = 0.004 \times Pv + 0.986 \qquad (۳)$$

در مرحله بعد نوبت به کالیبراسیون رادیومتریکی و آتمسفری باندهای حرارتی می‌رسد که به ترتیب با استفاده از معادلات (۴) و (۵) انجام می شوند.

$$R = ((Lmax - Lmin)/(Qmax - Qmin)) \times (DN - Q_{min}) + L_{min} \qquad (۴)$$

که R رادیانس، L_{max} و L_{min} به ترتیب بیشترین و کمترین رادیانس ثبت شده بوسیله‌ی سنجنده، Q_{max} و Q_{min} به ترتیب سطوح بالا و پایین کوانتیزه کردن سنجنده و DN مقدار پیکسل باند حرارتی می‌باشد.

$$L_\lambda = \left(\frac{R - L_u}{\varepsilon \times \tau}\right) - \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon}\right) \times L_d \qquad (۵)$$

که L_λ رادیانس طیفی تصحیح شده، ε همان گسیلمندی سطح زمین (LSE)و τ، L_u و L_d به ترتیب ضریب گذردهی آتمسفر، رادیانس رو به بالا و رادیانس رو به پایین هستند که از مدل تصحیح جوی MODTRAN موجود در سایت تصحیحات جوی ناسا [۱۲] برای سنجنده های TM، +ETM و TIRS باند ۱۰ استخراج شده‌اند.

پس از اعمال این تصحیحات، دمای درخشش T_B از معادله (۶) و دمای سطح زمین از معادله (۷) بدست می‌آیند.

$$T_B = K_2/\ln(K_1/L_\lambda + 1) \qquad (۶)$$

که در این معادله K_1 و K_2 ضرایب تبدیل حرارتی سنجنده‌ها است که برای طول موج هر باند منحصر به فرد می‌باشند.

$$LST = T_B/(1 + w \times \left(\frac{T_B}{P}\right) \times Ln(LSE)) \qquad (۷)$$

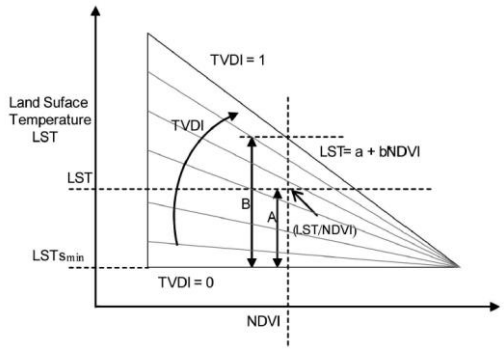
که در این معادله w باند حرارتی سنجنده که تصحیحات رادیومتریکی و آتمسفری روی آن انجام نشده است. $P = h \times c/\sigma$ که در آن h ثابت پلانک، C سرعت نور و σ ثابت بولتزمان می‌باشد.

۲-۳-۳- شاخص دمایی خشکی پوشش گیاهی (TVDI)

شاخص تفاضلی نرمال شده‌ی گیاهی (NDVI) اطلاعاتی را درباره‌ی وضعیت رشد و شرایط پوشش گیاهی در روی زمین به ما می‌دهد و همچنین از طرفی دمای سطح زمین نیز وضعیت رطوبت خاک را منعکس می‌کند. ترکیب این دو می‌تواند یک رابطه‌ی بالقوه برای آشکارسازی رطوبت سطح زمین ایجاد کند [۱۳]. یکی از روش‌های ترکیب این دو، شاخص TVDI است.

TVDI به طور کلی به بررسی روابط و تغییرات بین NDVI و LST می‌پردازد که منعکس کننده درجه خشکسالی است. TVDI، ادغام NDVI و LST برای نمایش رطوبت خاک با ترکیب باندهای حرارتی و مادون

قرمز و قرمز است که طیف وسیعی از کاربردها را شامل می‌شود [۱۴]. نمودار پراکندگی دمای سطح زمین و شاخص نرمال شده‌ی پوشش گیاهی فضای مثلثی را ایجاد می‌کند. شکل۲ نمودار NDVI و LST را نشان می‌دهد که TVDI با توجه به آن به خوبی قابل بیان می‌باشد [۱۵].



شکل۲- فضای مثلثی رابطه دمای سطح زمین با شاخص تفاضلی نرمال شده گیاهی [۱۵]

شاخص TVDI مقادیری بین صفر در لبه‌ی مرطوب و یک در لبه‌ی خشک دارد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$TVDI = \frac{Ts - Ts_{min}}{Ts_{max} - Ts_{min}} \quad (۸)$$

$$Ts_{max=} a + b \times NDVI \quad (۹)$$

$$Ts_{min} = a' + b' \times NDVI \quad (۱۰)$$

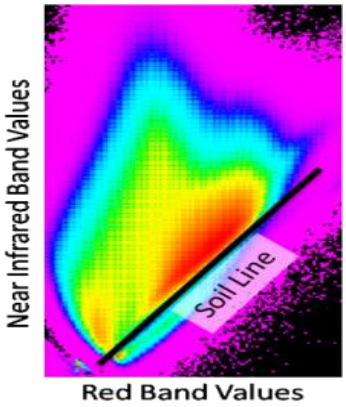
در معادله (۸) Ts_{min} کمینه حرارت سطح زمین زمانی که NDVI برابر یک مقدار خاص باشد و Ts_{max} بیشینه حرارت سطح زمین زمانی که NDVI برابر مقدار خاصی باشد. a و b پارامترهایی هستند که لبه خشک و a' و b' پارامترهایی هستند که لبه مرطوب را معرفی می‌کنند (جدول۲) که از برازش یک خط رگرسیونی بر داده‌های دمایی و پوشش گیاهی این لبه‌ها بدست می‌آیند [۱۳]. برای محاسبه‌ی TVDI ابتدا باید شاخص تفاضلی نرمال شده گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین (LST) محاسبه شوند.

جدول۲- پارامترهای رگرسیون لبه‌های خشک و مرطوب مربوط به شاخص TVDI

سال	a	b	a'	b'
۲۰۰۰	۶۳/۰۵	-۳۵/۵۲	۲۶/۰۱	۳/۱۳۳
۲۰۰۹	۵۸/۰۴	-۲۸/۰۷	۱۱/۲۵	۱۹/۰۴
۲۰۱۴	۵۷/۱۳	-۱۵/۳۷	۲۶/۹۵	۱۳/۴۲

۲-۳-۴- شاخص اصلاح شده پوشش گیاهی با تعدیل اثرات خاک (MSAVI)

شاخص SAVI اولین بار توسط هیوت در سال ۱۹۸۸ ارائه گردید. از اهداف این شاخص به حداقل رساندن اثرات خاک پس زمینه بر روی سیگنالهای پوشش گیاهی با ترکیب فاکتور تنظیم کننده خاک L یا مخرج معادله NDVI می‌باشد. شاخص MSAVI اولین بار توسط چی و همکاران در سال ۱۹۹۴ ارائه گردید. تفاوت این شاخص با شاخص SAVI در نحوه دستیابی به پارامتر فاکتور تنظیم کننده خاک می‌باشد؛ به‌طوری‌که در شاخص SAVI می‌بایست با آزمون و خطا مقدار L بدست می‌آمد، اما در شاخص MSAVI با فرمولی صریح و قابل اعتماد بر مبنای باندهای طیفی تصویر ماهواره‌ای و شیب خط خاک بدست می‌آید. هنگامی که نمودار دوبعدی پراکندگی مقادیر پیکسل باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک تشکیل شد، خط خاک می‌تواند بوسیله‌ی ترکیب مقادیر پیکسل‌های باند قرمز و مادون قرمز نزدیک که در آن‌ها پوشش گیاهی قرار ندارد شناسایی شود [۱۶]. در اینجا با استفاده از پارامتر L که از مفهوم شاخص MSAVI استنباط می‌شود شاخص SAVI برای دستیابی به نتیجه بهتر اصلاح شد.



شکل۳- نمودار پراکندگی مقدار پیکسل باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک

شیب این خط (S) در محاسبه مقدار L به کار می‌رود. در نهایت شاخص MSAVI با توجه به فرمول‌های ۱۱ و ۱۲ بدست می‌آید.

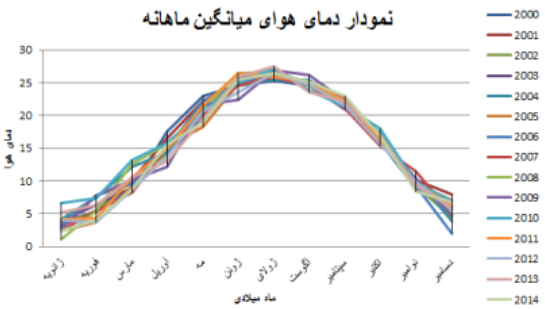
$$\mathrm{MSAVI} = (\mathrm{NIR} - \mathrm{Red}) \times \frac{1 + \mathrm{L}}{\mathrm{NIR} + \mathrm{Red} + \mathrm{L}} \quad (۱۱)$$

به طوریکه:

$$\mathrm{L} = 1 - \left(\frac{2 \times \mathrm{S} \times (\mathrm{NIR} - \mathrm{Red}) \times (\mathrm{NIR} - \mathrm{S} \times \mathrm{Red})}{\mathrm{NIR} + \mathrm{Red}}\right) \quad (۱۲)$$

۳- نتایج و بحث و بررسی

در این تحقیق از داده‌های سه دوره زمانی سنجنده‌های لندست استفاده شد. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، اولین تصویر مربوط به سال ۲۰۰۰ میلادی است که هیچ ساخت و سازی در ناحیه‌ی آسیاب جفته بافت انجام نشده است و منطقه در حالت بکر خود است. تصویر بعدی در سال ۲۰۰۹ پس از اتمام ساخت سد و شروع آبگیری آن است و تصویر آخر در سال ۲۰۱۴ اخذ شده که دو سال پس از آبگیری کامل سد می‌باشد. ماه تصویربرداری هر سه تصویر در اواخر تیرماه (جولای) است که با توجه به شکل (۵) دمای هوا در منطقه به حداکثر خود می‌رسد. پس از بدست آوردن دمای سطح زمین، این دما با دمای عمق ۵ سانتی‌متری خاک در ۳ ایستگاه سینوپتیک مربوط به صحنه تصویربرداری، شامل ایستگاه‌های لاله زار، بافت و سیرجان، مقایسه شد.



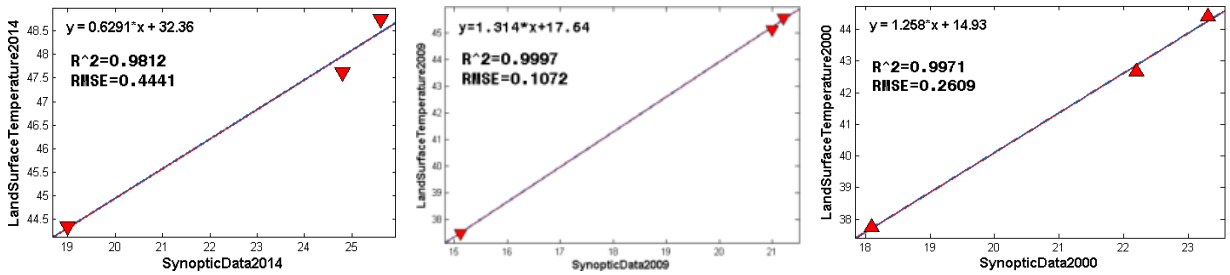
شکل۵- نمودار تغییرات دمای ماهانه برای سال های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ میلادی

رابطه این دماها با یکدیگر با استفاده از رگرسیون خطی بدست آمد که در شکل (۶) نشان داده شده است. این مقایسه با این پیش‌فرض صورت گرفت که دمای عمق ۵ سانتی متری در اوایل و اواخر روز بسیار نزدیک به یک دیگر هستند و در اواسط روز به بیشترین اختلاف از هم می‌رسند [۱۷]. از رگرسیون بین دماهای ایستگاه‌های سینوپتیک و دماهای بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای نیز این رابطه آشکار می‌شود.

(الف) (ب) (ج)

شکل۴- تصاویر ماهواره ای تهیه شده از Google Earth مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ میلادی (الف) و ۲۰۰۹ میلادی (ب) و ۲۰۱۴ میلادی (ج)

در ادامه، نقشه‌های شاخص خشکی TVDI مربوط به این سه دوره زمانی استخراج گردید (شکل۷). با توجه به اینکه بارندگی نقش مستقیمی در تغییر الگوی خشکی زمین دارد، داده‌های بارندگی اخذ شده از هواشناسی نیز کنترل شد که عدم بارندگی تا ۱۵ روز قبل از تصویربرداری‌ها را نشان می‌دهد. این درحالی است که تأثیر بارندگی در خشکی سطح در مناطق خشک و نیمه-خشک تا بیش از یک هفته ماندگار نیست [۱۸]. ذکر این نکته ضروری است که تحقیقاتی که تابحال درباره سدهای بزرگ انجام شده است، حداقل پس از ۱۰ سال از آبگیری سدها بوده که نشان دهنده‌ی تاثیرگذاری بلندمدت سدهای بزرگ بر اقلیم محلی است. با این وجود در این تحقیق تاثیر چند ساله سد نیز قابل توجه به نظر می‌رسد. همانطور که در شکل ۷ مشخص است اقلیم محلی از حالت نرمال و نیمه‌خشک در سال ۲۰۰۰ به حالت نیمه خشک و خشک در سال ۲۰۰۹ رسیده است. در سال ۲۰۱۴ نیز علاوه بر حالت خشکی در برخی مناطق شمالی سد، وضعیت اقلیم محلی به حالت خیلی خشک مبدل شده است. توضیحات مربوط به نقشه TVDI در جدول ۳ آمده است.



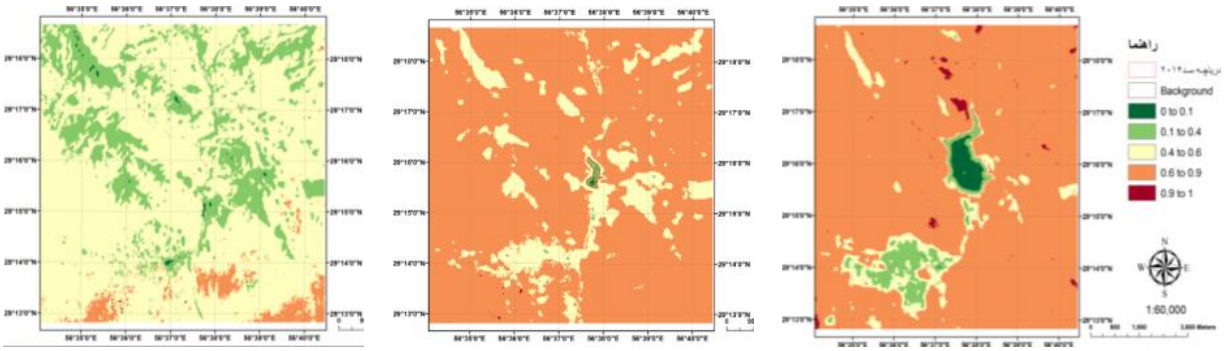
(ج) (ب) (الف)

شکل۶- (الف) رگرسیون سال ۲۰۰۰ ، (ب) رگرسیون سال ۲۰۰۹ و (ج) رگرسیون سال ۲۰۱۴

لازم به ذکر است که در مناطق جنوب و جنوب‌غربی نقشه TVDI مربوط به سال ۲۰۱۴، مناطق مرطوبی که دیده می‌شود ناشی از گسترش مناطق شهری و فضای سبز شهر بافت است که در این مطالعه برای اثرات سد لحاظ نمی‌شود. با توجه به داده‌های بارش حاصل از داده‌های ایستگاههای هواشناسی، بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ هیچ کاهشی در نمودار سالیانه بارش (شکل۸) مشاهده نمی‌شود و حتی اندکی افزایش را نیز نشان می‌دهد.

جدول۳- درجات خشکی شاخص TVDI [۱۳]

حالت	شاخص TVDI
خیلی مرطوب	بین ۰ تا ۰/۱
مرطوب	بین ۰/۱ تا ۰/۴
نرمال	بین ۰/۴ تا ۰/۶
خشک	بین ۰/۶ تا ۰/۹
خیلی خشک	بین ۰/۹ تا ۱

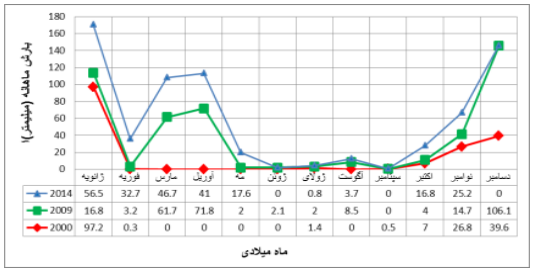


(پ) (ب) (الف)

شکل۷- نقشه های شاخص خشکی TVDI الف) سال ۲۰۱۴ ب) سال ۲۰۰۹ پ) سال ۲۰۰۰

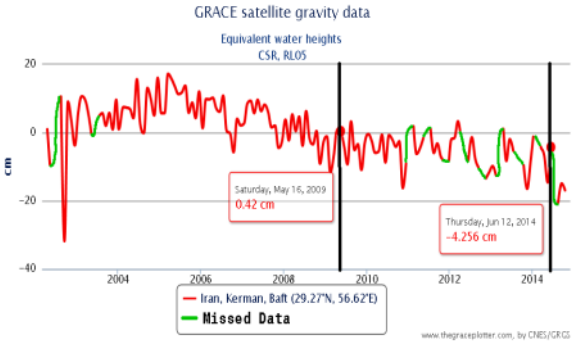
نقشه‌ی پوشش گیاهی MSAVI بدست آمده در سه دوره تصویربرداری (شکل ۹) در سال ۲۰۱۴ میلادی کاهشی را در تراکم پوشش گیاهی در نواحی شمال غربی و شرق و جنوب شرقی سد نشان می‌دهد، در صورتی که انتظار می‌رفت که این حجم عظیم از آب حداقل باعث تراکم پوشش گیاهی در اطراف آن شود. به نظر می‌رسد که با توجه به بلند مدت بودن تاثیر سدهای بزرگ بر اقلیم محلی، این تغییرات باید در بلندمدت دنبال شود.

همانطور که در شکل۱۰ مشاهده می‌شود سطح آب‌های زیرزمینی مناطق نزدیک به سد مخزنی بافت طی سال‌های اخیر به طور کلی با کاهش مواجه بوده است به طوری که از زمان آبگیری سد نیز با کاهشی نزدیک به ۴ سانتی‌متر روبرو شده است. به نظر می رسد که چون طی سال‌های آب گیری سد، سطح آب‌های زیرزمینی در اطراف سد تغییر شدیدی نداشته است نباید به عواملی چون کاهش سطح آب‌های زیرزمینی در تغییر خرد اقلیم‌ها بسنده کرد. از این رو می‌توان افزایش دمای سطح زمین و در نتیجه‌ی آن تغییر در پوشش گیاهی منطقه را به عنوان عامل مهمی در تغییر اقلیم محلی در اطراف سد در نظر گرفت.

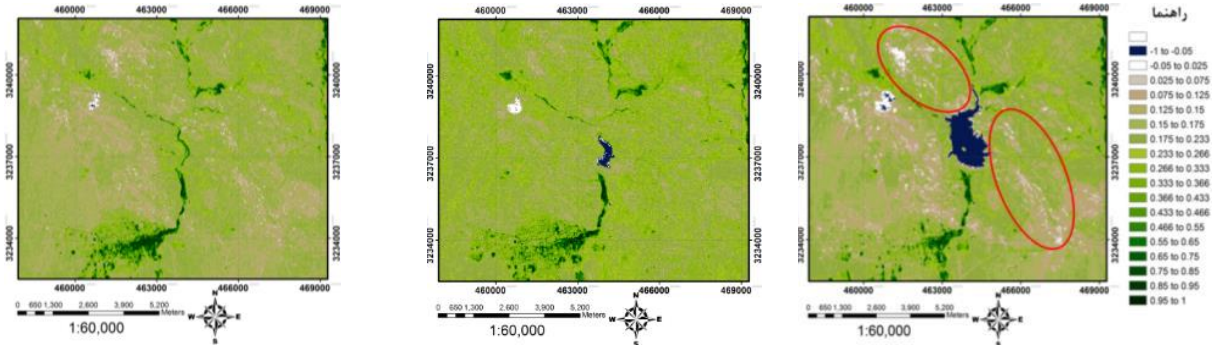


شکل ۸- نمودار مقادیر بارش ماهانه برای سال های ۲۰۰۰، ۲۰۰۹و ۲۰۱۴ میلادی

از آنجا که بارش یکی از مهمترین عوامل تغییر اقلیم است، انتظار تغییر در پوشش گیاهی زمین و حتی شاخص خشکی خاک را به وسعتی که در شکل‌های ۷ و ۹ نشان داده شده است را نداریم. با این حال شاهد تغییرات وسیعی در شاخص خشکی و پوشش گیاهی بوده ایم. لذا شاید بتوان با در نظر گرفتن حجم زیادی از پهنه‌ی آبی که در پشت سد انباشته شده و همچنین با توجه به تحقیقات مشابهی که در مقدمه آمده است، این واقعیت را یادآور شد که پهنه‌های آبی وسیع مانند سدهای مخزنی پتانسیل تغییر در اقلیم‌های محلی را دارند.



شکل۱۰- منحنی تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی با استفاده از داده‌های ماهواره ثقل‌سنجی GRACE [۱۹]



(الف) (ب) (ج)

شکل۹- نقشه‌ی پوشش گیاهی (MSAVI) الف) سال ۲۰۱۴ ب) سال ۲۰۰۹ ج) سال ۲۰۰۰

۴- نتیجه‌گیری

در تحقیقاتی که تاکنون در زمینه‌ی اثرات سدهای بزرگ بر اقلیم محلی انجام شده است همگی بر تاثیرات منفی سدهای بزرگ بر اقلیم و حتی بارش محلی اذعان دارند. در این تحقیق نیز با استفاده از نتایجی که بدست آمد می‌توان به این نتیجه رسید که سدهای مخزنی بزرگ، بویژه در اقلیم‌های نیمه خشک، می‌توانند اثرات نامطلوبی بر میزان رطوبت اقلیم محلی داشته باشند. این گونه مطالعات سعی در نادیده گرفتن تاثیرات زیاد سدها بر کشاورزی و آب شرب ندارند بلکه به ما دید جدیدی در رابطه با اثرات طولانی مدت این سدها می‌دهند تا هنگام احداث سدهای مخزنی بزرگ علاوه بر رفع نیازها، اثرات منفی آن‌ها را نیز مد نظر قرار داده و در مطالعات مکانیابی سدهای بزرگ با استفاده از روش‌های سنجش از دوری در اقلیم‌شناسی، مکان احداث سد را نیز بهینه کنیم تا اثرات منفی ساخت چنین سدهایی را به حداقل برسانیم. گرچه برای اثبات نقش گسترده سدهای مخزنی بزرگ نیاز به مطالعات گسترده تری است، اما حداقل نتیجه‌ای که می‌توان از تحقیق پیش رو گرفت این است که:

۱- سنجش از دور ابزاری کارآمد در زمینه مطالعات اقلیمی خرد و کلان است.

۲- اهمیت نقش سیستم برهمکنش بین جوّ و زمین به همان اندازه‌ی نقشی است که سیستم آب‌های زیرزمینی در رابطه با تغییر اقلیم در محدوده‌های خرد ایفا می‌کند.

۳- تحقیقاتی در سرتاسر دنیا وجود دارد که به نقش سدهای بزرگ در تاثیرات شدید بر محیط زیست اشاره دارد. اهمیت موضوعات زیست محیطی در سراسر دنیا و به طور ویژه در کشور ایران که در چند سال اخیر با کاهش شدید منابع آب روبرو بوده است، دلیل بسیار قانع کننده و شایان توجهی است که باید به آن پرداخت.

سپاسگزاری

لازم است که از اداره کل هواشناسی استان کرمان و ایستگاه سینوپتیک شهرستان بافت که داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک لاله‌زار، بافت و سیرجان را در اختیار نویسندگان قرار دادند، قدردانی و سپاسگزاری گردد.

مراجع

[1] Miller, N. L., Jin, J., & Tsang, C. F. (2005). Local climate sensitivity of the Three Gorges Dam. Geophysical Research Letters, 32(16).

[2] Hong, S., Lakshmi, V., & Small, E. E. (2007). Relationship between vegetation biophysical properties and surface temperature using multisensor satellite data. Journal of climate, 20(22), 5593-5606.

[3] Degu, A. M., F. Hossain, D. Niyogi, R. Pielke Sr., J. M. Shepherd, N. Voisin, and T. Chronis (2011), The influence of large dams on surrounding climate and precipitation patterns, Geophys. Res. Lett., 38, L04405

[4] Tahmiscioğlu, M. S., Anul, N., Ekmekçi, F., & Durmuş, N. (2007, March). Positive and negative impacts of dams on the environment. In International Congress on River Basin Management (pp. 22-24).

[5] https://www.tntech.edu/news/releases/large-dams-can-affect-local-climates-alter-rainfall-says-ttu-led-study

[6] Preece, R. M., & Jones, H. A. (2002). The effect of Keepit Dam on the temperature regime of the Namoi River, Australia. River Research and Applications, 18(4), 397-414.

[7] Alcântara, E. H., Stech, J. L., Lorenzzetti, J. A., Bonnet, M. P., Casamitjana, X., Assireu, A. T., & de Moraes Novo, E. M. L. (2010). Remote sensing of water surface temperature and heat flux over a tropical hydroelectric reservoir. Remote Sensing of Environment, 114(11), 2651-2665.

[8] http://www.shbaft.ir/index.php?option=com_content&task=view&id=117&Itemid=47

[9] http://dir.wikipg.com/wiki

[10] http://www.irna.ir/fa/News/81094399/

[11] Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. Remote Sensing of environment, 90(4), 434-440.

[12] http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/

[13] Han,Y.,Wang,Y.,& Zhao,Y. (2010). Estimating soil moisture conditions of the greater Changbai Mountains by land surface temperature and NDVI. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 48(6), 2509-2515.

[14] Price, J. C. (1990). Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 28(5), 940-948.

[15] Sandholt, I., Rasmussen, K., & Andersen, J. (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. Remote Sensing of environment, 79(2), 213-224.

[16] Qi J., Kerr Y., Chehbouni A., 1994. External factor consideration in vegetation index development. Proc. of Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, ISPRS, 723-730.

[17] فیروز مجرد، حدیث صادقی، (۱۳۹۲) "بررسی رابطه‌ی دمای سطح زمین با اعماق خاک (مطالعه موردی: استان کرمانشاه)"، پژوهشهای جغرافیای طبیعی, ۴۵(۱), ۱۰۱-۱۱۸

[18] مهران ابراهیمی، علی اسماعیلی، (۱۳۹۲) "بررسی نقش بارندگی بر رطوبت خاک با استفاده از شاخص TVDI " بیستمین همایش ملی ژئوماتیک

[19] http://www.thegraceplotter.com/