نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۸ شماره ۲صفحه‌های ۷۱ تا ۸۲ / سال ۱۳۹۷

ارتباط ضریب جریان با رطوبت سطحی خاک و سطح تراز ایستابی آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: عجب‌شیر)

اسرا عصری[۱*]،رضا صالحی‌نیا[۲]، احمد فاخری‌فرد[۳]

تاریخ دریافت:۹۶/۰۴/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۱۹

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیک: asrasry@gmail.com

چکیده

کاهش سهم جریان ورودی رودخانه‌ها به مخازن آب کشور ازجمله دریاچه ارومیه از مهم‌ترین مسائل روز صنعت آب کشور است بنابراین نقش ضریب جریان برای تعیین جریان ناشی از هر بارش به‌منظور پیش‌بینی و مدیریت جریان رودخانه حائز اهمیت است. رطوبت خاک، به‌ویژه رطوبت خاک سطحی، نقش بسزایی در چرخه آبی طبیعت، خصوصاً در توزیع بارش و تبدیل آن به رواناب و نفوذ، ایفا می‌نماید. جریان رودخانه از طریق نفوذ همواره بر سطح تراز ایستابی آب‌های زیرزمینی تأثیرگذار است. لذا بررسی ارتباط ضریب جریان با رطوبت سطحی خاک و تراز سطح ایستابی به‌منظور تعیین حجم مقادیر رواناب ناشی از بارش می‌تواند یکی از مهم‌ترین مسائل درزمینه مدیریت منابع آب باشد. در این تحقیق از تصاویر سنجنده مودیس جهت برآورد تغییرات مکانی و زمانی رطوبت خاک استفاده گردید و ارتباط ضریب جریان لحظه‌ای (رویدادهای بارش-رواناب) با تراز سطح ایستابی روزانه و همچنین ارتباط آن با رطوبت سطحی خاک روزانه مستخرج از تصاویر مودیس در دو ایستگاه هیدرومتری واقع در ابتدا و انتهای رودخانه‌ی قلعه چای که به دریاچه ارومیه تخلیه می‌گردد، بررسی شد. نتایج حاکی از آن بود که رابطه مستقیم بین ضریب جریان و تراز سطح ایستابی برای ایستگاه‌های شیشوان و ینگجه با ضریب همبستگی ۰/۹ و ۰/۸۴ وجود دارد، همچنین ارتباط مستقیم ضریب جریان با رطوبت سطحی خاک روزانه برای ایستگاه‌های شیشوان و ینگجه با ضریب همبستگی ۰/۷۹۲ و ۰/۸۱۵ محاسبه گردید.

واژه‌های کلیدی: تصاویر سنجنده مودیس، رطوبت سطحی خاک، ضریب جریان، رودخانه، قلعه‌چای

Relationship of Runoff Coefficient with The Surface Soil Moisture and Groundwater Level (Case Study: Ajabshir Basin)

A Asry[1*], R Salehinia[2], A Fakherifard [3]

Received: 2017-06-23 Accepted: 2018-09-10

[1-]M.Sc. Student in Water Resources Engr., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran
[2-] M.Sc. Student in Water Resources Engr., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran
[3-]Prof., Dept. of Water Engr., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran
*Corresponding Author, Email: asrasry@gmail.com

Abstract

Reduction of rivers inflow which discharge to reservoirs of the country such as Lake Urmia is the most important present problem of water industry. so the role of runoff coefficient to determine the runoff arising from precipitation in order to anticipate and manage the stream flow is of great importance. Soil moisture, especially surface soil moisture, plays an important role in the natural water cycle in nature particularly in the distribution of rainfall and its turn into runoff and infiltration. On the other hand, stream flow always affects the level of the groundwater table. Therefore, the relationship between the runoff coefficient with surface soil moisture and water table level in order to determine the volume of runoff arising from precipitation can be one of the most important issues in the field of water resources management. In this study, MODIS satellite images were used to estimate the spatial and temporal variations of soil moisture and relationship between instantaneous runoff coefficient (events) and daily groundwater table level, as well as its relation with daily surface soil moisture extracted from the atellite images for the two hydrometric stations located at the beginning and end of the Ghaleh_Chay river discharging into the Lake Urmia were investigate Results of this research confirmed the existence of a direct relationship between the runoff coefficients and water table at the Shishavan and Yengejeh stations with a correlation coefficient 0.9 and 0.84 respectively. Also direct connection between the runoff coefficient and daily surface soil moisture was registered with correlation coefficient of 0.792 and 0.815 at the stations of Shishavan and Yengejeh, respectively.

Key words: Ghaleh-Chay, MODIS Satellite images, Runoff coefficient, River, Surface soil moisture

مقدمه

در جهان، تقاضا برای منابع آبی شیرین، روزانه در حال افزایش است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند دید کلی و وسیعی را در رابطه با موضوعات مختلف ارائه دهد. امروزه کاهش جریان رودخانه‌های ورودی به مخازن سدهایی که علاوه بر تأمین نیاز شرب و بهداشتی خانوار بخشی از نیاز کشاورزی کشور را نیز تأمین می‌کنند از مهم‌ترین مسائل مورد بحث در مدیریت منابع آب کشور است که حل این مسئله می‌تواند در نجات‌بخشی دریاچه

ارومیه به‌عنوان دومین دریاچه آب‌شور جهان مؤثر باشد. چراکه از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار کاهش سطح آب دریاچه و خشک شدن آن، کاهش جریان رودخانه‌های ورودی به این دریاچه است. از شاخص‌های مهمی که می‌تواند بیانگر جریان رودخانه باشد ضریب جریان رودخانه است. ضریب جریان رودخانه تابع عوامل مختلفی است که هرکدام از آن‌ها می‌توانند بر میزان حجم رواناب خروجی از نقطه پایاب حوضه تأثیر بگذارد (پرهمت ۱۳۹۳). عوامل زیادی روی ضریب جریان حوضه مؤثرند که در این مطالعه تأثیر دو عامل رطوبت سطحی خاک و سطح تراز ایستابی بر روی ضریب جریان لحظه‌ای رودخانه بررسی شد.

همواره رطوبت خاک، به‌ویژه رطوبت خاک سطحی نقش بسیار مهمی در مدیریت منابع آب‌وخاک دارد همچنین نقش بسزایی در چرخه آبی طبیعت، به‌ویژه در توزیع بارش و تبدیل آن به رواناب و نفوذ، از خود ایفا می‌نماید. برآورد دقیق رطوبت خاک فاکتوری کلیدی در مطالعات هیدرولوژی، کشاورزی و سایر علوم مرتبط است. از پارامترهای بسیار مهم و تأثیرگذار در میزان جریان رودخانه بعد از یک بارندگی، میزان رطوبت خاک است. همان‌طور که می‌دانیم هر چه رطوبت خاک زیاد باشد مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا لایه سطحی خاک اشباع شود و جریان سطحی به وقوع بپیوندد کوتاه شده درنتیجه میزان رواناب ناشی از بارندگی افزایش‌یافته و ضریب جریان بالایی را شاهد خواهیم بود. از سوی دیگر با توجه به این‌که رودخانه‌ها در مسیر حرکت خود با منابع آب زیرزمینی در ارتباط هستند؛ بنابراین ضریب جریان رودخانه با تراز سطح ایستابی نیز در ارتباط است طوری که هرچه سطح تراز سطح ایستابی بالاتر باشد ضریب جریان رودخانه نیز بالاتر خواهد بود. در این مطالعه اثر ضریب جریان رودخانه قلعه‌چای واقع در استان آذربایجان شرقی را به‌وسیله پارامتر ضریب جریان[1] (نسبت جریان به بارش) روی رطوبت سطحی خاک و سطح تراز ایستابی بررسی و رابطه رگرسیونی بین آن‌ها استخراج گشت شد. علت انتخاب بارش- رواناب لحظه‌ای حداقل تأثیر اثرات مصارف حوضه در آب‌های سطحی است. هدف از این مطالعه تخمین میزان دبی رودخانه بعد از هر بارندگی بر اساس رطوبت خاک استخراجی از تصویر ماهواره‌ای است. چراکه تصاویر ماهواره‌ای میزان رطوبت خاک را در سطح وسیع و با هزینه‌ای کمتر از مطالعات میدانی به ما می‌دهد. بر اساس روزهای رویداد بارش رواناب در محدوده زمانی موردنظر تصاویر سنجنده MODIS را دریافت نموده و بعد از پردازش تصاویر، مقدار رطوبت خاک با شاخص TVDI تعیین گردید. همچنین با استفاده از رابطه‌ی استخراجی بین ضریب جریان و تراز سطح ایستابی می‌توان با کنترل نوسانات تراز ایستابی از طریق توقف برداشت یا طرح‌های تغذیه مصنوعی و یا بسترسازی خاص در کف رودخانه‌ها میزان ضریب جریان رودخانه را کنترل و به میزان موردنظر رساند تا اگر هدف رساندن آب رودخانه‌ها به مصب آن باشد روش مدیریتی خاصی را در نظر گرفت. اندازه‌گیری رطوبت خاک یکی از مسائل دشوار در علوم هیدرولوژی است. رطوبت خاک ازلحاظ زمانی و مکانی بسیار متغیر است که دلیل آن با توجه به تغییرات بافت خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و روش‌های آبیاری، قابل توجیه است (وسترن و گریسون ۱۹۹۸؛ لانت و جان ۲۰۰۵). وانگ و همکاران (۲۰۰۹) طی پژوهشی که در ارتباط با کارآیی روش‌های سنجش ازدور در مسائل هیدرولوژی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که رطوبت خاک، یکی از مهم‌ترین متغیرهای خاک و از نوع متغیرهای زمانی و مکانی است. این عامل یکی از اجزای مهم مدل‌های آب و هوایی، اکولوژیکی و هیدرولوژیکی محسوب می‌شود و تخمین دقیق آن برای مدل کردن فرآیندها ضروری است. هان و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS به بررسی وضعیت رطوبت سطحی خاک در

[1] Runoff coefficient

کوهستان‌های چانگ بایی در چین پرداختند. آن‌ها نشان دادند که شاخص TVDI، یک شاخص مؤثر برای بررسی وضعیت در ناحیه کوهستانی چانگ بایی است. تحقیقات ویلسن و وسترن (۲۰۰۳) در پنج ایستگاه مختلف در استرالیا نشان داد که اندازه‌گیری میدانی رطوبت خاک علاوه بر طولانی بودن و پرزحمت بودن، نمی‌تواند تغییرات مکانی آن را در سطح حوضه‌ها به نحو مطلوب نشان دهد. آنان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای توانستند تغییرات زمانی و مکانی رطوبت خاک را مورد ارزیابی قرار دهند. نوری و ثنایی نژاد (۱۳۹۲) از داده‌های دمایی و پوشش گیاهی سنجنده مودیس به‌منظور بررسی خشکی با استفاده از شاخص دمای خشکی گیاه TVDI و تغییر شاخص دمای خشکی گیاه MTVDI در استان خراسان شمالی که دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است، بررسی مکانی و زمانی شاخص‌های مذکور نشان داد که با تغییر در میزان بارش، مقادیر شاخص‌ها نیز دستخوش تغییر شده و متناسب با کاهش یا افزایش بارش تغییر می‌کنند. احمدی و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند که ترکیب شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی و دمای سطحی به‌دست‌آمده از تصاویر سنجنده MODIS و محاسبه شاخص دمای خشکی گیاه TVDI می‌تواند ابزاری مفید در جهت پایش وضعیت رطوبت خاک در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف باشد. خان‌محمدی و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که بین مقادیر رطوبت سطحی با شاخص‌های NDVI، NDM و LST همبستگی مناسبی (۶۶٪) وجود دارد. نتایج صحت‌سنجی مدل برآورد رطوبت خاک نیز نشان داد که این مدل با میانگین کمتر از ۰/۰۱۸، قادر به پیش‌بینی رطوبت خاک سطحی است، این خطای اندک، نشان‌دهنده دقت زیاد مدل پیشنهادی برای برآورد رطوبت خاک سطحی می‌باشد. فشائی و همکاران (۱۳۹۴) رطوبت خاک با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس برای دشت مشهد بررسی کردند که نتایج این پژوهش حاکی از ضریب همبستگی ۹۳٪ بین شاخص[۲] WDIو رطوبت خاک اندازه گیری شده در عمق ۵ سانتی متر بود. در ادامه مطالعه به بررسی مطالعات دیگر پژوهشگران درزمینه ضریب جریان بررسی شد. انزابی و همکاران (۱۳۹۴) کارایی روش اینرسی حرارتی ظاهری درتخمین رطوبت سطحی خاک بااستفاده ازتصاویرسنجنده ی MODIS بررسی و نتایج نشان داد روش اینرسی حرارتی روش نسبتا مناسبی برای تخمین رطوبت سطحی خاک است.

ضریب جریان لحظه‌ای (رگبار-سیلاب)، درک درستی از پاسخ هیدرولوژیک حوضه نسبت به رگبار اتفاق افتاده است (سیواپلن و همکاران ۲۰۰۵). ضریب جریان لحظه‌ای یک مفهوم ارزشمند در علم هیدرولوژی است. این ضریب هنوز به‌طور گسترده‌ای در طراحی پروژه‌های مهندسی استفاده می‌شود. لینکون و همکاران (۲۰۰۷) عوامل اقلیمی مؤثر (بارش و دما) بر ضریب جریان در ابتدای حوضه رودخانه هوانق بررسی کرد. ازآنجایی‌که تغییرات آب‌وهوایی تأثیر مهمی بر قابل‌دسترس بودن منابع آب دارد و ضرایب رواناب، شاخص مهم منابع آب در یک حوضه آبریز خاص از منظر چرخه آب است بنابراین تأثیر این عوامل بر ضریب جریان را بررسی کرد. برای به دست آوردن ضریب جریان یک‌بار هیدروگراف را به‌طورکلی و یک‌بار جریان پایه را از رواناب مستقیم آن را جدا کرد، که پس از جداسازی ضریب رواناب (R/P) به دو قسمت شامل ضریب جریان پایه (Br/P) و ضریب جریان مستقیم (Dr/P) تقسیم شد. نتایج نشان داد که در حوضه رودخانه، متوسط سالانه ضریب جریان پایه رودخانه بیشتر از ضریب جریان رواناب مستقیم بود و همچنین ارتباط بارش و ضریب جریان به‌صورت مستقیم و دما و ضریب جریان به‌صورت معکوس در این منطقه مشاهده شد. سردان و همکاران (۲۰۰۴)، حدود ۳۴۵ رویداد بارش رواناب را در سه حوضه با اندازه‌های مختلف در کشور فرانسه به‌منظور بررسی تأثیر مقیاس روی سری زمانی رواناب مطالعه کردند. آن‌ها دریافتند که با افزایش مساحت حوضه ضریب

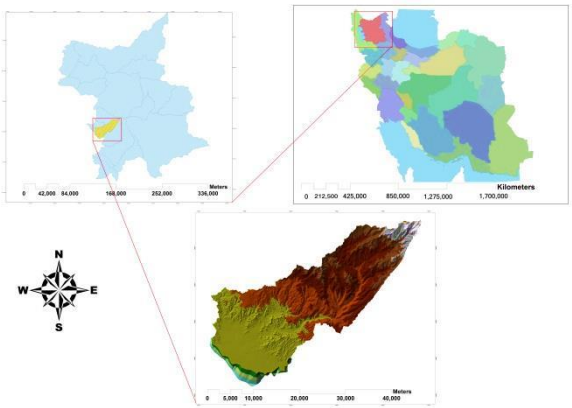
[۲] Water Deficit Index

جریان به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. مرز و همکاران (۲۰۰۶) مقادیر ضریب رواناب را با استفاده از داده‌های ساعتی رواناب، بارندگی ونیز تخمین‌هایی از بارش برف محاسبه کردند. در این مطالعه به‌طورکلی در حدود ۵۰۰۰۰ مورد رواناب در ۳۳۷ حوضه آبریز اتریش با وسعتی بین ۸۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع، طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۰ ضریب جریان لحظه‌ای برآورد شده و موردبررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که توزیع مکانی ضریب رواناب، همبستگی شدیدی با میانگین بارش سالانه داشته ولی با نوع خاک و کاربری اراضی وابستگی بسیار کمی دارد. پیفستر و همکاران (۲۰۰۲) مقدار تغذیه آب زیرزمینی را با استفاده از معادله بیلان و داده‌های بارش، رواناب رودخانه و سطح آب زیرزمینی بررسی نمود و رابطه رگرسیونی بین تبادل آبی و ضریب رواناب رودخانه آلزیتی[۳] در طی بارش‌های زمستانه محاسبه کرد که همبستگی ۰/۷۵ برای حالت اشباع حوضه مشاهده شد. همچنین برای رویدادهای بارشی که میزان تبادل آبی ۱۸۰ میلی‌متر (بیشتر) را دارا بودند، رابطه خطی بین بارش نهایی و جریان نهایی در رودخانه آلزیتی به دست آمد و همبستگی آن‌ها ۰/۹۹ نتیجه شد. هدف از مطالعه حاضر نشان دادن ارتباط متقابل ضریب رواناب رودخانه قلعه‌چای با رطوبت خاک سطحی و سطح تراز ایستابی است تا بتوان با توجه به روابط و معادلات حاصل و داشتن تراز سطح ایستابی یا رطوبت خاک سطحی، ضریب جریان و در نتیجه میزان دبی رودخانه را برآورد و در هر زمانی بعد از بارندگی میزان دبی حاصل از آن را برآورد نمود.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

محدوده مطالعاتی عجب‌شیر در حوضه آبریز دریاچه ارومیه که یکی از حوضه‌های سی‌گانه کشور می‌باشد واقع‌شده است. این محدوده از شمال و شمال غرب به محدوده‌های مطالعاتی آذرشهر و شیر آمین، از شرق و جنوب به محدوده مطالعاتی مراغه- بناب و از جنوب غرب به دریاچه ارومیه محدود می‌گردد. شکل ۱ موقعیت محدوده را نشان می‌دهد. وسعت کل محدوده مطالعاتی عجب‌شیر برابر با ۵۹۰ کیلومترمربع است که حدود ۱۳۱ کیلومترمربع آن را دشت عجب‌شیر تشکیل می‌دهد.

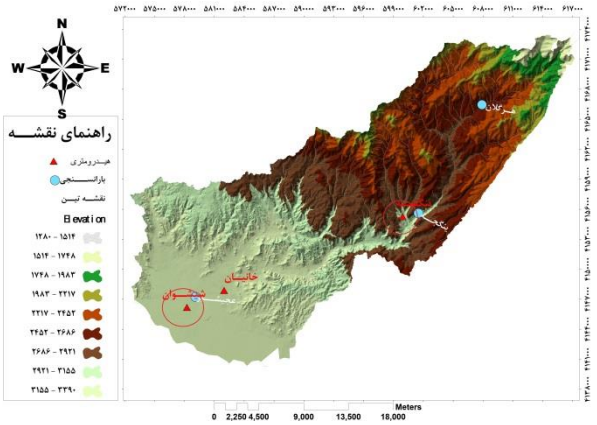


شکل ۱- موقعیت دشت عجب‌شیر.

رودخانه قلعه چای، مهم‌ترین رودخانه محدوده است که از کوه سهند سرچشمه می‌گیرد و در راستای شمال شرقی- جنوب غربی جریان یافته و پس از گذر از دشت عجب‌شیر به دریاچه ارومیه می‌ریزد. (بی‌نام ۱۳۹۰). وجود خاک مناسب زراعی و دشت مسطح باعث رواج کشاورزی در این محدوده گشته و درآمد اصلی اکثر روستائیان اطراف دشت عجب‌شیر از طریق کشاورزی است. در شکل ۲ موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی منطقه آورده شد. پس از بررسی داده‌های ایستگاه‌های موجود در منطقه، دو ایستگاه هیدرومتری ینگجه و شیشوان که

[۳] Alzette

موقعیت آن‌ها به ترتیب در بالادست و پایین‌دست رودخانه قلعه چای واقع‌شده انتخاب شد.



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری مورداستفاده.

مواد و روش‌ها

ضریب جریان همواره به‌عنوان بخشی از بارش که تبدیل به جریان می‌شود تعریف‌شده است. منظور از ضریب جریان لحظه‌ای، آن بخش از یک رگبار ثبت‌شده است که مستقیماً به سیلاب (در رودخانه) تبدیل می‌شود (چاو و همکاران ۱۹۸۸). به‌منظور بررسی این رویدادها ابتدا دبی پایه[۴]از جریان رودخانه کسر و رواناب مستقیم رویداد محاسبه شد. سپس حجم جریان متناظر با رواناب مستقیم با حذف اثر زمان محاسبه‌شده و با تقسیم حجم رواناب به مساحت حوضه ایستگاه هیدرومتری موجود ارتفاع جریان به‌دست‌آمد. ضریب جریان لحظه‌ای با تقسیم ارتفاع جریان بر مجموع ارتفاع بارش همزمان آن محاسبه شد. هدف از انتخاب ضریب جریان لحظه‌ای عدم دخالت مصارف سطحی و زیرزمینی در ضریب جریان است تا اثر مصارف و ذخایر جانبی حوضه روی این عوامل کاهش یابد. پس از به دست آوردن ضریب جریان لحظه‌ای، تراز سطح ایستابی همزمان با روز رویدادهای انتخاب‌شده استخراج و ارتباط ضریب جریان لحظه‌ای با تراز سطح ایستابی بررسی و رابطه رگرسیونی آن برقرار شد. به‌منظور تعیین کمی این ارتباط بایستی درک درستی از تراز سطح ایستابی در محل مدنظر داشت و پیزومترهایی را انتخاب نمود که تأثیرپذیری زیادی داشته باشد. بنابراین، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS از آمار نزدیک‌ترین پیزومترهای نزدیک به رودخانه در منطقه استفاده شد. بررسی ضریب جریان لحظه‌ای در دو ایستگاه هیدرومتری نشان می‌دهد که مقدار ضریب جریان لحظه‌ای در انتهای رودخانه به‌شدت کاهش می‌یابد.

در ادامه این مطالعه برای استخراج ارتباط ضریب جریان لحظه‌ای با رطوبت سطحی خاک در روز رویدادهای بارش رواناب رطوبت خاک منطقه مطالعاتی از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد. برای استخراج رطوبت با مراجعه به وب‌سایت MODIS تصاویر ماهواره‌ای در دوره‌های زمانی موردنظر و با رعایت نکات عدم وجود پوشش ابر، برف و خطا در محدوده‌ی منطقه استخراج گردید، لازم به ذکر است که دلیل استفاده از تصاویر سنجنده مودیس به علت تصویربرداری روزانه این ماهواره است که امکان مشاهده تغییرات در بازه زمانی روزانه را در مطالعات فراهم می‌کند. در ابتدا تصاویر ماهواره‌ای را بر اساس روزهای بارندگی در محدوده زمانی موردنظر از سایت MODIS دریافت نموده و بعد از پردازش و تجزیه‌وتحلیل تصاویر ماهواره‌ی با نرم‌افزار ENVI 4.7 و در صورت وجود خطا پس از رفع خطاهای هندسی و خطاهای رادیومتریکی، مقدار رطوبت خاک برآورد گردید.

برای به دست آوردن مقدار رطوبت خاک ابتدا شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی NDVI[۵]از تصویر ماهواره‌ای منطقه استخراج شد که درواقع همان بازتاب طیفی گیاهان است. این شاخص بیشترین رابطه را با حجم زنده گیاهی

[۴] Base flow

[۵] Normalized difference vegetation index

در میان مشخصه‌های پوشش گیاهی دارد که از رابطه زیر به دست می‌آید (توکر ۱۹۷۹).

$$NDVI=\frac{P_{857}-P_{645}}{P_{857}+P_{645}} \quad [۱]$$

P_{857}: انعکاس طیفی باند مادون‌قرمز نزدیک (NIR)

P_{645}: انعکاس طیفی باند مادون‌قرمز (RED)

با استفاده از این شاخص مقدار دمای سطح زمین LST[۶] با استفاده از رابطه پرایس، دمای روشنایی حاصل از باند ۳۱ (کلوین) T31 و دمای روشنایی حاصل از باند ۳۲ (کلوین) T32 و درنهایت دمای سطح زمین (LST) برای منطقه به دست می‌آید؛ که در روابط زیر ε_{31}: توان تشعشعی باند ۳۱، ε_{32}: توان تشعشعی باند ۳۲ است.

$$LST = T_{31} + 1.8(T_{31} - T_{32}) + 48(1 - \varepsilon) - 75\Delta\varepsilon \quad [۲]$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{31}+\varepsilon_{32}}{2} \quad [۳]$$

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{31} - \varepsilon_{32} = 0.01019 + 0.01344ln(NDVI) \quad [۴]$$

$$\varepsilon_{31} = 0.989 + 0.029ln(NDVI) \quad [۵]$$

$$\varepsilon_{32} = 0.97951 + 0.01556\ln(NDVI) \quad [۶]$$

شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی NDVI، اطلاعات را درباره وضعیت رشد و شرایط پوشش گیاهی در روی زمین به ما می‌دهد که هر چه پوشش گیاهی در منطقه وسیع و متراکم باشد نشان از دسترسی نامحدود به رطوبت است و از طرفی دمای سطح زمین نیز وضعیت رطوبت خاک را منعکس می‌کند هر چه دمای سطح زمین LST بالا باشد نشان از عدم دسترسی مناسب به رطوبت کافی است درنتیجه ترکیب این دو می‌تواند یک رابطه بالقوه برای آشکار نمودن رطوبت سطح زمین ایجاد کند.

درنهایت با استفاده از دمای سطح زمین و شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی، شاخص دمای خشک گیاه TVDI[۷] برآورد شد. شاخص TVDI مقداری بین یک (دسترسی به آب محدود) و صفر (بیشینه تبخیرتعرق و درنتیجه دسترسی به آب نامحدود) به دست می‌دهد و به‌صورت زیر تعریف می‌گردد (پرایس ۱۹۸۴).

$$TVDI = \frac{T_S - T_{s\,min}}{T_{s\,max} - T_{s\,min}} \quad [۷]$$

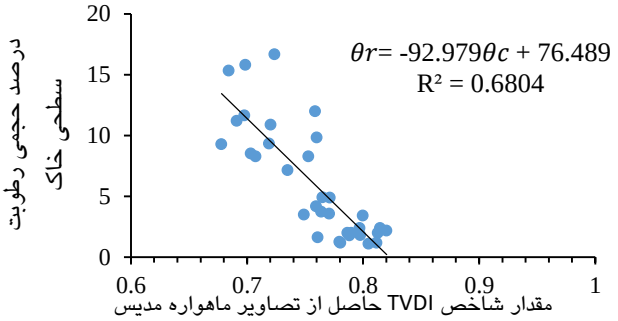
Ts min کمترین مقدار دمای زمین و Ts max درجه حرارت بیشینه زمین در منطقه مطالعاتی است. رابطه خطی بین دمای سطح زمین با شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی (NDVI) به صورت Ts= a + b*NDVI است که با استفاده از برازش خط رگرسیونی به داده به دست می‌آید. شاخص TVDI استخراجی وضعیت رطوبت خاک را نشان می‌دهد، برای آنکه مقدار درصد حجمی رطوبت تعیین گردد بایستی از رابطه واسنجی شده برای منطقه استفاده شود. برای کالیبره کردن نتایج سنجنده مودیس، طی دوره آماری ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۳ که مقادیر رطوبت خاک سطحی روزانه در دسترس بودند ۳۴ روزی که تصاویر ماهواره‌ای مناسب برای پایش رطوبت خاک در دسترس بودند انتخاب گردید، تصاویر انتخابی فاقد پوشش ابر و برف بودند تا استخراج مقادیر رطوبت با دقت بیشتری انجام پذیرد. ترسیم مقادیر رطوبت خاک سطحی که از تصاویر ماهواره‌ای استخراج گردید در مقابل مقادیر متناظر اندازه‌گیری شده در ایستگاه تحقیقاتی خسروشاه که در شکل ۳ ارائه‌شده است، رابطه زیر به دست آمد:

$$\theta_r = -92.979\theta_c + 76.489 \quad [۸]$$

که در آن θ_c مقدار شاخص TVDI است که از تصاویر ماهواره‌ای استخراج گردید و مقادیر θ_r رطوبت واقعی خاک سطحی منطقه موردمطالعه است. ضریب تبیین R^2 معادل ۰/۶۸ برای رابطه ۱ نشانه همبستگی مناسب مقادیر شاخص TVDI و رطوبت واقعی خاک سطحی است.

[۶] Land surface temperature

[۷] Temperature vegetation dryness index

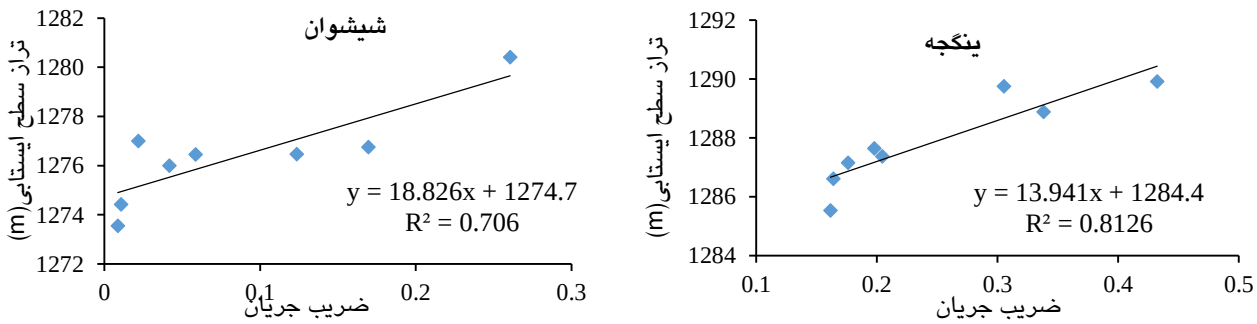


شکل ۳-رابطه رطوبت سطحی خاک و رطوبت استخراجی از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس.

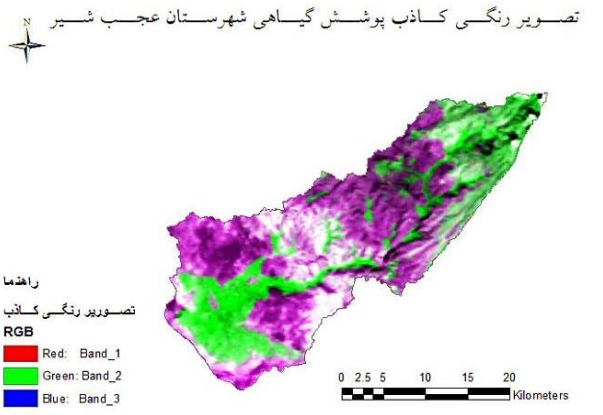
شاخص TVDI را با استفاده از رابطه رطوبتی به درصد حجمی رطوبت در منطقه تبدیل کرده و درنتیجه مقدار رطوبت خاک سطحی در منطقه عجب‌شیر به دست آید. درنهایت با داشتن درصد حجمی رطوبت سطحی خاک و ضریب جریان حاصل از بارندگی، رابطه رطوبت سطحی خاک و ضریب جریان به دست آمد.

نتایج و بحث

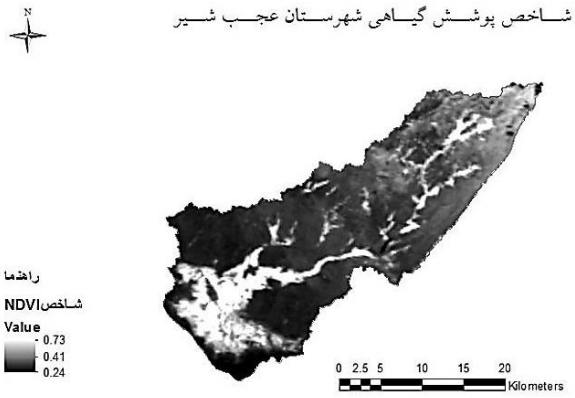
بررسی رویدادها نشان داد که درمجموع در منطقه ۸ رویداد همزمان بارش-رواناب در ایستگاه‌های هیدرومتری مذکور ثبت‌شده است. همبستگی مثبت این دو عامل ثابت می‌کند که با افزایش تراز سطح ایستابی، ضریب جریان افزایش می‌یابد. روابط رگرسیونی استخراج‌شده بین ضریب جریان و تراز سطح ایستابی همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود همبستگی بالای عوامل مذکور را در محدوده‌ی معنی‌دار نشان داد. بررسی رابطه رگرسیونی در ایستگاه ینگجه به دلیل بالا بودن تراز سطح ایستابی و بالا بودن ضریب جریان همبستگی بالایی در حدود ۰/۹۰۱ =Rنشان می‌دهد. برای ایستگاه شیشوان در پایین‌دست رودخانه که برداشت از منابع آب زیرزمینی بسیار بالا است، مقدار ضریب جریان لحظه‌ای بسیار ناچیز بوده و همبستگی آن عدد R=۰/۸۴ را نشان می‌دهد. پس از بررسی ارتباط ضریب جریان با تراز سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی منطقه، ارتباط ضریب جریان با رطوبت سطحی خاک اندازه‌گیری شد. به‌منظور استخراج رطوبت سطحی خاک از تصاویر ماهواره‌ای، نیاز به استخراج شاخص پوشش گیاهی است که در شکل ۵ برای منطقه مطالعاتی استخراج شد. بعد از برش منطقه عجب‌شیر، تصاویر مربوط به شاخص پوشش گیاهی (NDVI) استخراج گردید. بعد از برش منطقه عجب‌شیر، تصاویر مربوط به شاخص پوشش گیاهی (NDVI) استخراج گردید. در شکل ۶ مقدار این شاخص برای تاریخ ۹۱/۶/۲۱ استخراج گشت که محل-های روشن نشان‌دهنده رطوبت بالای خاک است که این مناطق همان مناطق کشاورزی و محل بارنگ‌های تیره نشان از مناطق طبیعی (به‌دوراز مناطق کشاورزی) می-باشند.



شکل ۴- نمودار ارتباط ضریب جریان لحظه‌ای با تراز سطح ایستابی.

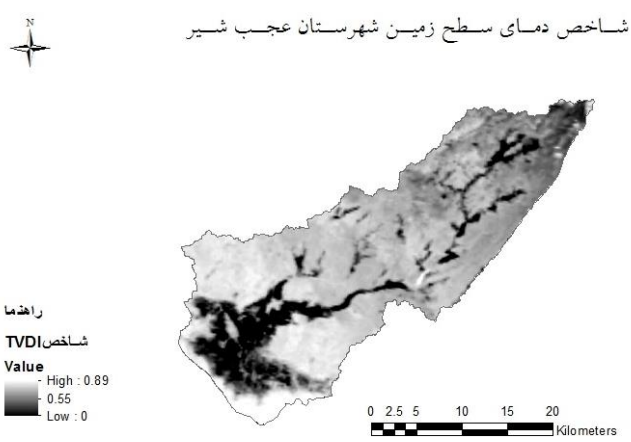


شکل ۵-تصویر رنگی کاذب پوشش گیاهی ماهواره لند ست برای منطقه عجب‌شیر.



شکل ۶- شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) منطقه مطالعاتی.

شاخص دمای خشکی گیاه (TVDI) با استفاده از NDVI به دست می‌آید این شاخص که مقادیری بین ۰-۱ است میزان رطوبت خاک را نشان می‌دهد، هر چه رطوبت سطحی خاک بیشتر باشد این مقدار به سمت صفر متمایل می‌شود و همچنین عدد یک نشان از خاک خشک (بدون رطوبت) است (شکل ۷).



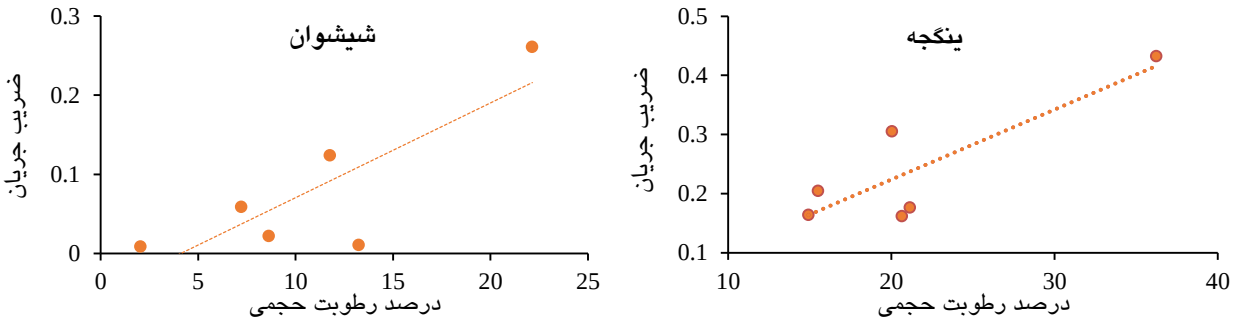
شکل ۷- نقشه شاخص دمای سطح زمین(TVDI) برای تعیین رطوبت خاک.

شاخص TVDI استخراجی از تصاویر سنجنده MODIS با رابطه‌ی ۸ برای تعیین درصد رطوبت خاک سطحی در مناطق ینگجه و شیشوان استفاده گردید و مقادیر رطوبت سطحی خاک در تاریخ‌های وقوع رویداد بارش رواناب تعیین گردید. با ترسیم مقادیر رطوبت واقعی خاک سطحی که از تصاویر ماهواره‌ای استخراج گردید در مقابل مقادیر ضریب جریان برآورد شده متناظر با آن، رابطه زیر به ترتیب برای ایستگاه‌های ینگجه و شیشوان به دست آمد که در شکل ۸ ارائه‌شده است:

$$C=0.012\theta r-0.0491 \quad [9]$$

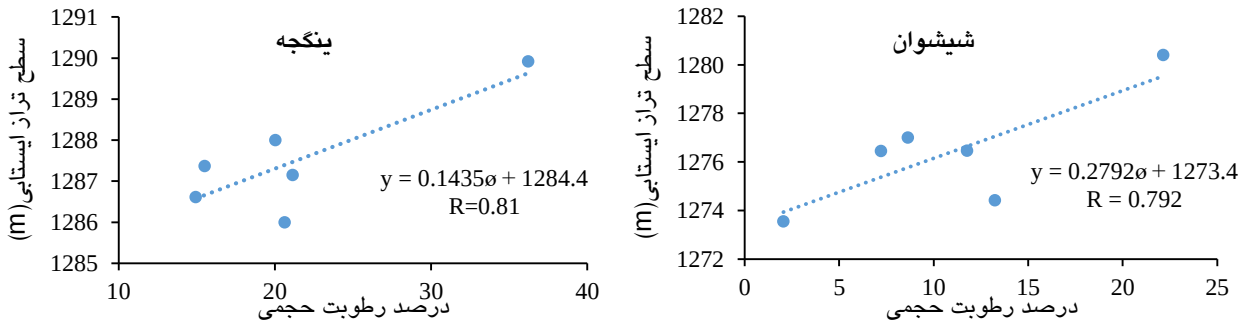
$$C=0.0118\theta r-0.0128 \quad [10]$$

بررسی رابطه رگرسیونی در ایستگاه ینگجه برای درصد رطوبت سطحی و ضریب جریان همبستگی در حدود ۰/۸۴ =Rنشان می‌دهد.



شکل ۸- رابطه بین رطوبت سطحی خاک و ضریب جریان

برای ایستگاه شیشوان که در پایین‌دست رودخانه و در قسمت دشت منطقه است و برداشت از رودخانه بسیار بالا بوده، مقدار ضریب جریان لحظه‌ای بسیار ناچیز شد لیکن درصد همبستگی رطوبت سطحی و ضریب جریان و عدد R=۰/۸۲ را نشان می‌دهد. روابط به‌دست‌آمده دارای شیب‌خطی تقریباً یکسانی می‌باشند ولی با توجه به متفاوت بودن منطقه ینگجه و شیشوان ازنظر کاربری اراضی دارای عرض از مبدأ متفاوتی می‌باشند. با توجه به رابطه رطوبت سطحی خاک قبل از بارش و ضریب جریان که ذیلاً استخراج گردید، رابطه رطوبت سطحی خاک قبل از بارندگی و سطح تراز ایستابی لازم به مطالعه شناخته شد. بررسی ارتباط بین رطوبت سطحی خاک و تراز سطح ایستابی (شکل ۹) در محل ایستگاه‌های هیدرومتری همبستگی بالایی بین این دو عامل را نشان می‌دهد؛ بنابراین رطوبت خاک سطحی می‌تواند نشان‌دهنده‌ی سطح تراز ایستابی باشد. رابطه‌ی استخراجی برای ایستگاه هیدرومتری ینگجه در بالادست رودخانه قلعه‌چای به‌صورت $Y = 0.2792\theta_r - 1273.4$ و با همبستگی R=0.8150 و رابطه استخراجی برای ایستگاه هیدرومتری شیشوان $Y = 0.1435\theta_r - 1284.4$ با همبستگی R=0.7927 است. بررسی میزان همبستگی برای این دو ایستگاه نشان‌دهنده‌ی ارتباط بالای این دو عامل است. بنابراین در یک منطقه با تعیین درصد رطوبت سطحی خاک می‌توان ضریب جریان و درنتیجه جریان حاصل از یک بارش را پیش‌بینی نمود. همچنین سطح تراز ایستابی نیز به همین ترتیب قابل پیش‌بینی است.



شکل ۹- رابطه بین رطوبت سطحی خاک و سطح تراز ایستابی.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اهمیت کاربردی ضریب جریان در مباحث رودخانه و مخازن آب کشور و اهمیت مهندسی این ضریب بنابراین بررسی ارتباط ضریب جریان با پارامترهای همانند سطح تراز ایستابی و رطوبت خاک سطحی امری ضروری در صنعت آب و از ضروریات رودخانه‌های منتهی به مخازن حیاتی کشور ازجمله دریاچه ارومیه است؛ بنابراین بررسی این ارتباط برای دشت عجب‌شیر و رودخانه قلعه‌چای یکی از رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه بسیار باارزش است. همبستگی بالای بین ضریب جریان و رطوبت سطحی خاک حاکی از ارتباط قوی و مثبت بین این عوامل است؛ بنابراین با توجه به روابط استخراجی بین ضریب جریان با سطح تراز ایستابی و رطوبت سطحی خاک می‌توان میزان این ضریب و به‌تبع آن میزان دبی رودخانه را برآورد کرد، درنتیجه در هرزمانی بعد از بارندگی می‌توان دبی حاصل از آن را برآورد و در صورت موجود بودن دبی پایه، میزان دبی رودخانه را در زمان موردنظر یافت و در مطالعات هیدرولوژی، کشاورزی و... به کاربرد و حتی در بارندگی با شدت بالا دستورات لازم برای خطرات احتمالی را صادر نمود. درصورتی‌که آبرسانی به مخازن و دریاچه‌های کشور(همچون احیای دریاچه‌ی ارومیه) در اولویت اهداف مدیریت منابع آب کشور باشد می‌توان با استفاده از ارتباطات حاصل‌شده بین ضریب جریان رودخانه با رطوبت خاک و سطح تراز ایستابی، ضریب جریان را کنترل نموده تا سهم جریان ورودی به دریاچه ارومیه از طریق رودخانه‌ها افزایش یابد و بتوان گامی در جهت احیای این دریاچه برداشت.

منابع مورداستفاده

Ahmadi, Bayat B, Abdi Nejad P and Movahed F, 2011. Study of Soil Moisture Surface Using the TVDI Index and MODIS Figures. Case Study of Kermanshah Province, Geometrics National Conference and Exhibition 520-528.

Report of optimal operation model in a combination of surface water and underground water resources of Ajbashir Plain, 2011. Regional water company, East Azarbaijan

Porhemat J, Abbasi A and Khoshbazm A, 2014. Investigating the relationship between runoff coefficient and rainfall intensity in rangelands (Case study: Sanganeh Kalat). Journal of Scientific and Promotion of Systems for Rainfall ConcentrationS 2(1): 61-67.

Khanmohammadi M, Homay M and Nouroozi A, 2014. Estimation of soil moisture by using vegetation indices and soil surface temperature and normalized moisture index using images (MODIS). Journal of Water and Soil Conservation 4(2): 37-45.

Fashai M, Sanai nezhad H, Davary K, 2015. Estimation of Soil Moisture Using Modis Images (Case Study: Range of Mashhad Plain). Water and Soil Journal (Agriculture Sciences and Technology) 29(6): 1748-1735.

Mahmoudi Anzabi A, Ghazizadeh Hashemi S., Jalilvand A., Daneshkar araste P, 2015. The Effect of Apparatus Thermal Inertial Method on Soil Moisture Surface Using MODIS Values Case Study: Astan-e-Qods Sample Field, , 10th International Congress on Civil Engineering, May 15th-17th, Civil Engineering Faculty, Tabriz University 3697-370.

Nouri S and Sanei Nejad S, 2013. Drought Evaluation using Temperature-Plant Drought Index (NVDI) and Modified Temperature (MTVDI) and Modis Sensor Images. Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Technology 2(4): 753-762.

Chow VT, Maidment D and Mays L, 1988. Applied Hydrology. McGraw- Hill, New York.

Cerdan O, Le Bissonnais Y, Govers G, Leconte V, van Oost K, Couturier A, King C and Dubreuil N, 2004. Scale effects on runoff from experimental plots to catchments in agricultural areas in Normandy. Journal of Hydrology 299: 4-14.

Han Y, Wang Y and Yunsheng Z, 2010. Estimating soil moisture conditions of the Greater Changbai Mountains by land surface temperature and NDVI. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing 48: 2509-2515.

Liqun CH, Changming L, Yanping L and Guoqiang W, 2007. impacts of climatic factors on runoff coefficients in source regions of the Huanghe River. Journal of Chinese Geographical Science 17(1): 47-55.

Lunt LA, Hubbard SS and Rubin Y, 2005. Soil moisture content estimation using ground penetrating radar reflection data. Journal of Hydrology 307: 254-837.

Merz R, Bloschl G and Parajka J, 2006. Spatio-temporal variability of event runoff coefficients. PhD thesis in Institute for Hydraulic and Water Resources Engineering, Vienna University of Technology, Wien, Austria.

Pfister L, Iffly JF, Humbert J and Hoffmann L, 2002. The role of groundwater resurgence on runoff coefficients of the Alzette River (Grand-duchy of Luxembourg). ERB and Northern European FRIEND Project 5 Conference, Demänovská dolina, Slovakia.

Price JC, 1984. Land surface temperature measurementsf the split window channels of the NOAA 7 advanced very high resolution radiometer. Geophysical Research Atmospheres 89: 7231-7237.

Sivapalan M, Bloschl G, Merz R and Gutknecht D, 2005. Linking flood frequency to long-term water balance:incorporating effects of seasonality. Water Resources Research 41(6): W6012.

Western AW and Grayson RB, 1998. The Tarrawarra data set: soil moisture patterns, soilCharacteristics. Journal of Water Resources Research 34: 2765-2768.

Wang L and John Qu J, 2009. Satellite remote sensing application for surface soil moisture monitoring. Journal of Frontiers of Earth Science in China 3: 237-247.

Wilson D and Western AW, 2003. Spatial distribution of soil moisture over 6 and 30 cm depth, Machurangi river catchment, New Zealand. Journal of Hydrology 276: 254-274.