دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

مکان‌یابی استحصال آب از مه در بالادست حوضه وازرود استان مازندران با استفاده از داده‌های سنجش از دور

کریم سلیمانی[1] و فاطمه شکریان[2]

۱- استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: solaimani2001@yahoo.co.uk)
۲- استادیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ ارسال: ۹۸/۰۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۰۸
صفحه: ۲۴۹ تا ۲۵۸

چکیده

مه منبع بالقوه‌ای از آب است که می‌توان آن را با استفاده از فن‌آوری‌های جدید جمع‌آوری و مورد استفاده قرار داد. اگر از سیستم‌های استحصال ساده و کم هزینه استفاده شود، مه می‌تواند به عنوان گزینه مناسب جهت فراهم کردن آب شرب در مناطقی از دنیا که با کمبود آب مواجه هستند مطرح شود. از طرف دیگر کاربردهای سنجش از دور در مدیریت منابع آب و تشخیص ابر و مه ثابت شده است. پژوهش حاضر به مکان‌یابی مناطق مستعد استخراج آب از مه در بالادست حوزه آبخیز وازرود استان مازندران (واقع در دامنه‌ها و ارتفاعات شمالی البرز) با استفاده از سنجش از دور پرداخته است. برای این منظور، تعداد ۱۷ متغیر محیطی استفاده شدند. متغیرهای سنجش از دور براساس تصاویر ماهواره لندست شامل کاربری اراضی، دمای سطح زمین و نقشه ابرناکی بودند. متغیرهای اقلیمی شامل اثر پشت به باد، اثر رو به باد، گرمایش ناهمسانگرد روزانه، گرمایش جریان هوای موثر، عامل نمای آسمان و اثر باد بودند. متغیرهای هیدرولوژیکی شامل شاخص قدرت جریان و شاخص رطوبت توپوگرافی بودند. متغیرهای فیزیوگرافی شامل مدل ارتفاعی رقومی، شیب، جهت، انحنا، مساحت حوزه و شاخص ناهمواری زمین بودند. تمام متغیرهای مذکور در محیط نرم‌افزار R، حاوی مدل‌های ۱۲گانه (BRT، CART، FDA، GAM، GBM، GDM، GLM، MARS، Maxent، MDA، RF و SVM) و همچنین تعداد ۱۹۰ نقطه برداشت توسط GPS-Garmin-76CSx به‌عنوان داده‌های کمکی برای تهیه نقشه‌های اولیه توزیع مکانی استحصال آب از مه استفاده شدند. به منظور ارزیابی صحت مدل‌های مذکور از منحنی ROC در محیط نرم افزار R استفاده شد. بر اساس نتایج منحنی ROC می‌توان دریافت که مدل‌های BRT، GBM، Maxent، RF و SVM به عنوان مدل‌های نهایی با صحت بالا جهت تهیه نقشه استحصال آب از مه می‌باشند. نقشه توزیع مکانی براساس مدل ترکیبی نشان داد که مناطق شرق، جنوب شرقی و جنوب حوضه بیشترین تناسب را در استحصال آب از مه دارا می باشند. همچنین مناطق با ارتفاع بیشتر از ۲۰۰۰ متر، بیشترین تناسب برای استحصال آب از مه را دارند که این اراضی در بخش های جنوبی حوزه واقع شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: جمع آوری آب، سنجش از دور، شاخص رطوبت، وازرود

مقدمه

وجود تعداد بالایی از سکونتگاه‌های انسانی در دامنه‌های شمالی البرز از یک طرف و فقدان منابع آب لازم و تاسیسات آبرسانی در روستاهای مستقر در آن نیاز به راه‌حل‌های مناسب تامین آب شرب را بیش از پیش نشان می‌دهد. در بالادست حوزه آبخیر وازرود با وجود آبادی‌های زیاد و جاذبه‌های گردشگری بالا، متاسفانه آب شرب مورد نیاز ساکنین هر ساله به ویژه در فصل تابستان که همراه با تراکم بالای جمعیت می‌باشد با بحران مواجه است. با وجود شرایط توپوگرافی و اقلیمی که تراکم بالای مه را در فصل تابستان به همراه دارد لذا در منطقه مورد مطالعه، می‌توان سایت‌های مناسب جمع‌آوری آب را شناسایی نمود. بنابراین با توجه به شرایط بالقوه اقلیمی استفاده بهینه از منابع آب و نیز تلاش در جهت دستیابی به منابع آب جدید و روش‌های نوین استحصال آب از مه از اهداف اصلی پژوهش حاضر به حساب می‌آید.

غنمی جابر و همکاران (۱۶) امکان‌سنجی تولید آب از مه را با استفاده از جمع‌کننده‌هایی با ابعاد و شکل‌های متفاوت در شهرستان نمین مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که آب حاصل ازاین جمع‌کننده‌ها به‌طور متوسط در روزهای خشک می‌تواند تا ۴۰ لیتر در روز برسد و تا حد زیادی نیاز آبی منطقه را برطرف نماید.

محمودی و همکاران (۲۴) به مطالعه امکان‌سنجی استحصال آب از رطوبت هوا در جنوب استان سیستان و بلوچستان پرداختند. طی آزمایش میدانی و بررسی آمارهای موجود مشخص گردید بیشترین مقدار آب استحصالی مربوط به ماه خرداد با ۸/۶ لیتر بر مترمربع در روز و کمترین مقدار آن ۱/۱ لیتر بر مترمربع در روز مربوط به ماه بهمن بوده است.

اولیور (۲۸) خلاصه‌ای از روش‌های مورد استفاده برای انتخاب سایت و طراحی سیستم جمع‌آوری آب از مه را در سواحل جنوب غربی آفریقا مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که به‌طور متوسط، میزان آب تولیدشده حدود ۴/۶ لیتر آب در هر متر مربع در روز و با حداکثر تولید روزانه نزدیک به ۴۰۰۰ لیتر بود.

کاشیوا و همکاران (۲۱) از سیکلون خورشیدی به‌عنوان وسیله‌ای برای استخراج آب از مه استفاده کردند. نتایج حاصل از تحقیق امکان استفاده از سیکلون خورشیدی با نتیجه قابل قبول و هزینه مقرون به‌صرفه برای استخراج آب از مه را فراهم می‌کند. عبدالوهاب و لئا (۱) به بررسی تئوری و کاربرد

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.27.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.249]

تکنولوژی جمع‌آوری آب از مه در نقاط مختلف جهان پرداخته‌اند. نتایج حاکی از آن بود که جمع‌آوری آب از مه به کاهش وابستگی به آب‌های زیرزمینی و بهبود کیفیت زندگی در برخی مناطق انجامید. اسکیمنوآر و همکاران (۲۹) امکان استحصال آب از رطوبت هوا در ارتفاعات لیما[1] پرو را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که در این مکان به‌دلیل سرعت بالای باد و به واسطه باران ریزه، می‌توان از ابرهای ضخیمی که به سطح زمین می‌رسد آب با کیفیت استخراج کرد.

ال‌حاج و باهراوی (۱۰) به تکنیک‌های جدید جمع‌آوری آب باران بر اساس داده‌های سنجش از دور پرداختند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که برخی از مناطق جنوب عربستان سعودی به اندازه کافی واجد شرایط هستند تا به‌عنوان سایت‌های احتمالی برای برداشت بهتر آب باران در نظر گرفته شوند.

فس‌های و همکاران (۱۵) به بررسی تکنولوژی‌های گذشته که در جمع‌آوری آب از مه استفاده شده است، پرداختند. آنها اذعان داشتند که اقلیم منطقه و ویژگی‌های توپوگرافیک تاثیر بسزایی در استحصال آب از مه دارد و همچنین تکنیک‌های مدرن مانند سنجش از دور جهت استحصال آب از مه می‌تواند در مدیریت بهتر مشکلات ناشی از منابع آب برای جوامع محلی، کمک زیاد داشته باشد. باتیشا (۴) امکان‌سنجی و پایداری پروژه‌های استحصال آب از مه را مورد مطالعه قرار داد. نتایج نشان داد که قبل از اجرای یک برنامه استحصال آب از مه، ارزیابی در مقیاس آزمایشگاه انجام شود.

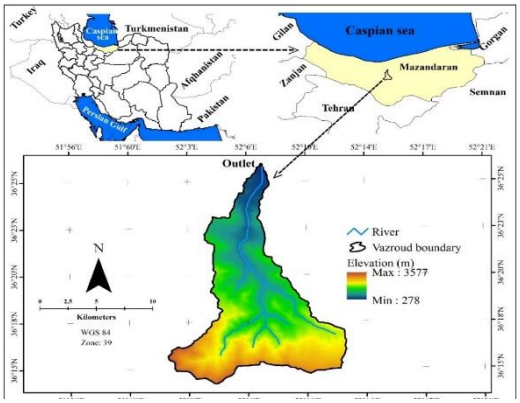
قوش و همکاران (۱۸) امکان احتمالی استخراج مه از برج خنک‌کننده در یک نیروگاه حرارتی را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج حاصل از مطالعه آن‌ها نشان داد که حدود ۴۰ درصد آب از دست‌رفته برای بازیابی ۵۰۰ مگاوات انرژی که حدود ۱۰/۵ متر مکعب آب در ساعت مصرف می‌نماید، را می‌توان با استفاده از روش پیشنهادی بدست آورد.

شارما و همکاران (۳۳) ویژگی‌های برداشت مه در تعداد انگشت‌شماری از جانوران و گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک را مورد مطالعه قرار دادند. تا از خصوصیات منحصر به‌فرد آن‌ها برای دسترسی به آب تمیز استفاده نمایند. به‌همین منظور مکانیسم استحصال آب از مه به وسیله چمن برمودا (*Cynodon dactylon*) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که این گیاه به‌دلیل دو ویژگی بارز ساختار مخروطی مرتب با لبه‌های تیز و بذرهایی با سطوح مسطح و شیارهای شیب دار توانایی جمع‌آوری مه را دارا می‌باشد. تحقیقات بیشتر در خصوص ویژگی‌های ساختاری این گیاه و دیگر گیاهان مشابه در سرتاسر جهان، محققان را به تولید دستگاه‌های زیست ساختاری جهت تولید آب از مه یاری می‌نماید.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه وازرود در استان مازندران در جنوب غربی شهرستان آمل و جنوب شهر چمستان نور واقع شده است که در بالادست آن منطقه کوهستانی با زمستان‌های سرد برفی و در سایر فصول اغلب همراه با مه می‌باشد. حوزه آبخیز وازرود با مختصات "۲۶ '۱۴ °۳۶ تا "۵۴ '۲۵ °۳۶ شمالی و طول "۴۶ '۰۱ °۵۲ تا "۳۰ '۱۲ °۵۲ شرقی، در محدوده ارتفاعی ۲۷۸ تا ۳۵۷۷ متر واقع شده است. مساحت حوزه آبخیز وازرود در حدود ۱۴۰۰۰ هکتار می‌باشد (شکل ۱). میانگین دمای سالیانه هوا ۱۰/۶ درجه سانتیگراد، میزان بارندگی سالیانه به‌طور متوسط ۸۰۰ میلی‌متر که حداقل آن مربوط به ماه مرداد برابر ۳۶/۸ میلی‌متر و حداکثر آن مربوط به ماه آبان و برابر ۹۵/۵ میلی‌متر می‌باشد و با افزایش ارتفاع، در ارتفاعات بالا بارندگی تبدیل به برف شده و بعضا دارای یخچال‌های طبیعی است. اقلیم منطقه براساس روش دو مارتن مرطوب سرد و به روش آمبرژه مرطوب فرا سرد می‌باشد. به‌طورکلی حوزه آبخیز وازرود منطقه کوهستانی است و توپوگرافی منطقه با شیب بسیار بالا بوده و شیب بسیار زیادی وجود دارد (حدود ۵۰ درصد). پوشش گیاهی حوضه برحسب ارتفاع از سطح دریا و تراکم کوه‌ها متغیر بوده و در بعضی از دامنه‌ها جنگل‌های پراکنده و در برخی دیگر جنگل‌های انبوه وجود دارد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز وازرود در البرز مرکزی
Figure 1. Location of Vazrood watershed in Central Alborz

1- Lima

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.27.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.249]

جدول ۱- مشخصات تصویر ماهواره لندست ۸ مورد استفاده در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی
Table 1. Characteristics of Landsat 8 satellite images used in land use mapping

ماهواره	سنجنده	تاریخ شمسی	تاریخ میلادی	قدرت‌تفکیک مکانی (متر)	شماره گذر و ردیف
لندست ۸	OLI	۱۳۹۵/۰۳/۲۲	۲۰۱۶/۰۶/۱۱	۳۰	۱۶۵/۰۳۷

استخراج متغیرهای سنجش از دوری

تهیه نقشه‌های کاربری اراضی

برای تهیه نقشه کاربری اراضی، تصاویر سری ماهواره‌های لندست ۸ مربوط به سنجنده OLI از پایگاه سازمان زمین‌شناسی امریکا برای سال ۱۳۹۵ تهیه شد (جدول ۱). تصحیحات اتمسفری با استفاده از نرم‌افزار ENVI5.3 و روش QUAC روی تصاویر اعمال شد (۳،۱۳). سپس نقشه کاربری اراضی با استفاده از رویکرد طبقه‌بندی تلفیقی (Fusion) و روش درخت تصمیم‌گیری و الگوریتم‌های طبقه‌بندی‌کننده نظارت‌شده در محیط نرم‌افزار ENVI5.3 طبقه‌بندی شد. به‌منظور ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی از ضرایب صحت کلی و کاپا استفاده گردید (۸،۹). همچنین از دستگاه GPS مدل Garmin-76CSx برای تعیین مختصات نمونه‌های تعلیمی و از نرم‌افزار Arc GIS10.3 برای تهیه خروجی‌های مورد نظر استفاده شد. رویکرد طبقه‌بندی تلفیقی به این صورت است که نقشه‌های کاربری اراضی برای هر یک از سال‌های مختلف با استفاده از طبقه‌بندی‌کننده‌های مختلف تهیه شده و بعد از تهیه نقشه‌ها، صحت‌سنجی نقشه‌های تولیدی براساس تشکیل ماتریس خطا، معیارهای صحت کلی، ضریب کاپا، صحت تولیدکننده و صحت کاربر صورت می‌پذیرد (۸). لازم به‌ذکر است در تحقیق حاضر طبقه‌بندی‌کننده‌های مورد استفاده شامل حداقل فاصله، حداکثر احتمال، نقشه‌برداری زاویه طیفی، شبکه عصبی و ماشین‌بردار پشتیبان بودند. کاربری اراضی منطقه شامل پنج کلاس جنگل متراکم، جنگل نیمه‌متراکم، مراتع، اراضی کشاورزی و اراضی مسکونی بود. تعداد نمونه‌های تعلیمی برای تصویر ماهواره‌ای مربوط به سال ۱۳۹۵ برابر با ۱۳۰۰ نقطه بود که ۷۰ درصد داده‌ها برابر با۹۱۰ برای مرحله واسنجی و ۳۰ درصد آنها برابر با ۳۹۰ برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد.

دمای سطح زمین

به‌منظور بازیابی دمای سطح زمین تصاویر خام مورد نظر به تابش طیفی تبدیل و با استفاده از تابع پلانک، تابش طیفی نیز به دمای روشنایی سنجنده ماهواره موردنظر تبدیل شد.

در پژوهش حاضر استخراج دمای سطح زمین طی مراحل زیر انجام شد:

(الف) بعد از عملیات پیش‌پردازش (تصحیحات اتمسفریک به روش QUAC[1] داده‌های خام تصاویر منطقه مورد مطالعه برای انجام عملیات پردازش به بازتاب جو تبدیل شده و سپس منطقه مورد مطالعه از کل تصویر برش داده شد.

شاخص NDVI: شاخص NDVI یا شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی برای تخمین فراوانی پوشش گیاهی و بررسی ارتباط آن با دمای سطح زمین مورد استفاده قرار گرفت. شاخص مذکور با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (۳۸،۴۰).

$$NDVI=\frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (۱)$$

NIR: انعکاس باند مادون قرمز نزدیک، RED: انعکاس باند قرمز.

(ب) تبدیل عدد رقومی به تابش طیفی: برای تبدیل داده‌های عدد رقومی DN[2] به تابش طیفی از معادله (۲) استفاده شد (۲۰).

$$L_\lambda = M_l * Q_{cal} + A_P \quad (۲)$$

L_λ: تابش طیفی، M_l: عامل تغییر ضریب باند مورد نظر، Q_{cal}: مقادیر پیکسل محصول استاندارد کالیبره‌شده و رقومی‌شده، A_P: عامل افزایشی باند مورد نظر.

(پ) تبدیل تابش طیفی به دمای روشنایی سنجنده: برای تبدیل تابش طیفی به دمای روشنایی سنجنده، با توجه به تابع پلانک با در نظرگرفتن دو پارامتر K_1 و K_2 برای داده‌های ماهواره‌ای لندست، معادله (۳) استفاده شد (۷،۳۲):

$$TB=\frac{K_2}{\ln\left(1+\frac{K_1}{L_\lambda}\right)} \quad (۳)$$

TB: دمای روشنایی سنجنده ماهواره لندست، K_1، K_2 ثابت کالیبراسیون فایل MTL آرشیو تصاویر ماهواره لندست و L_λ نشان‌دهنده رادیانس طیفی سنجنده ماهواره لندست می‌باشد. چون مقدار TB بر مبنای جسم سیاه می‌باشد، بنابراین توان تشعشعی براساس پوشش سطح زمین انجام شد، سپس دمای سطح زمین براساس معادله (۴) محاسبه شد (۳۹):

$$LST=\frac{TB}{1+W}*\left(\frac{TB}{P}\right)*\ln(LSE) \quad (۴)$$

LST: دمای سطح زمین، TB: دمای روشنایی سنجنده ماهواره لندست، W: طول موج رادیانس تابشی P: ثابت پلانک و LSE: توان تشعشعی

(ت) توان تشعشعی طیفی: برای منظورکردن توان تشعشی طیفی یا LSE[3] از رابطه (۵) استفاده شد (۳۵).

$$LSE=0.004\times Pv+0.986 \quad (۵)$$

LSE: توان تشعشع طیفی و PV: پوشش گیاهی نسبی است که مقدار آن بین صفر و یک می‌باشد و از طریق رابطه (۶) محاسبه شد (۳۵).

$$PV=\left(\frac{NDVI-NDVImin}{NDVImax-NDVImin}\right)2 \quad (۶)$$

1- Quick Atmospheric Correction 2- Digital Number 3- Land Surface Emissivity

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.27.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.249]

که در آن $NDVI_{max}$، مقدار NDVI برای ایده‌آل‌ترین شرایط موجود در منطقه از نظر پوشش گیاهی و NDV_{Imin}، مقدار NDVI در حداقل شرایط پوشش گیاهی موجود در منطقه مورد مطالعه و NDVI نیز بیانگر مقدار عددی هر پیکسل با توجه به شرایط پوشش گیاهی آن می‌باشد.

(ث) تبدیل تابش به بازتاب جو: تصاویر سنجنده OLI با استفاده از ضرایب بازتاب ارائه‌شده در فایل MTL آن‌ها و با استفاده از رابطه (۷) به بازتاب جو تبدیل شدند.

$$\rho\lambda' = M\rho Qcd + A\rho \qquad (۷)$$

$\rho\lambda'$: بازتاب جو بدون تصحیح زاویه خورشیدی. $M\rho$ عامل تغییر ضریب باند مورد نظر در فایل MTL، $A\rho$ عامل افزایشی باند مورد نظر در فایل MTL ، Qcd مقادیر پیکسل محصول استاندارد کالیبره‌شده و رقومی‌شده. در تحقیق حاضر دمای سطح زمین برای تصاویر بدون ابری ماهواره لندست استخراج شدند و سپس میانگینی از آنها به‌عنوان نقشه نهایی LST در نظر گرفته شد.

استخراج نقشه ابرناکی منطقه

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده شامل تصاویر سنجنده OLI از ماهواره لندست ۸ مربوط به سال‌های، ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ (۲۰۱۳/۱۰/۲۱ تا ۲۰۱۷/۰۵/۲۲) بود. لازم به توضیح است که در پژوهش حاضر دلیل استفاده از تصاویر اخذ شده در تاریخ‌های ارائه شده به دلیل اینکه پوشیده از ابر بیشتر مد نظر بود، انتخاب شدند. پس از تهیه تصاویر از سایت USGS پیش‌پردازش‌ها و پردازش‌ها و در نهایت پس‌پردازش‌ها روی این تصاویر به‌منظور استخراج نقشه کاربری اراضی انجام شد. لازم به‌ذکر است که به‌منظور تهیه نقشه‌های ابرناکی منطقه مورد مطالعه باند ۹ سنجنده OLI بیشترین کاربرد را به‌دلیل شناسایی بهتر ابرهای سیروس حتی در فصولی که ابرهای پرتراکم وجود ندارند و تنها راه، شناسایی ابرهای کم ارتفاع بود، استفاده شد.

استخراج متغیرهای اقلیمی

به‌منظور استخراج متغیرهای اقلیمی از نقشه مدل ارتفاع رقومی (DEM) با دقت ۱۲/۵ متر از سایت (۲۵) و نرم‌افزار SAGA GIS استفاده شد. متغیرهای اقلیمی شامل اثر پشت به باد، اثر رو به باد، گرمایش ناهمسانگرد روزانه، گرمایش جریان هوای موثر، عامل نمای آسمان و اثر باد بودند.

استخراج متغیرهای هیدرولوژیکی

برای استخراج متغیرهای هیدرولوژیکی مطابق روش استخراج متغیرهای اقلیمی انجام شد. متغیرهای هیدرولوژیکی شامل Stream Power Index و Topographic Wetness Index بودند. شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI[1]) یکی از شاخص‌های تاثیرگذار بر وقوع و پتانسیل سیل در حوزه‌های آبخیز به‌شمار می‌رود. برای تهیه نقشه این شاخص از نرم‌افزار SAGA GIS استفاده و نقشه حاصل به پنج کلاس تقسیم گردید. رابطه (۸) برای به‌دست‌آوردن شاخص رطوبت توپوگرافی استفاده شد.

$$TWI = Ln\left(\frac{A_S}{tan\beta}\right) \qquad (۸)$$

که در آن A_S سطح ویژه حوزه آبخیز و β شیب زمین (بر حسب درجه) می‌باشند. شاخص توان آبراهه (SPI[2]) یکی از شاخص‌های پارامترهای مهم در پتانسیل سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز به‌شمار می‌رود و از رابطه (۹) تعریف می‌شود (۳۵)، برای تهیه این نقشه از نرم‌افزار SAGA GIS استفاده و نقشه حاصل به ده کلاس تقسیم گردید.

$$SPI = A_S\, tan\beta \qquad (۹)$$

استخراج متغیرهای فیزیوگرافیک

به‌منظور استخراج متغیرهای فیزیوگرافیک مطابق روش متغیرهای اقلیمی اقدام گردید. متغیرهای فیزیوگرافی شامل DEM، Slop، Aspect، Curvature، Catchment area و Terrain Ruggedness Index بودند.

برداشت نقاط مه‌گیر با استفاده از GPS

تعداد ۱۹۰ نقطه در منطقه (۱۰۰ منطقه به‌عنوان نقاط مه‌گیر و ۹۰ منطقه به‌عنوان نقاطی که مه‌گیر نبودند) براساس بازدیدهای میدانی در طول فصول مختلف سال تهیه گردید. این مجموعه به‌صورت تصادفی در یک گروه متشکل از ۱۳۳ نقطه (۷۰٪) برای واسنجی و یک گروه متشکل از ۵۷ نقطه (۳۰٪) برای اعتبارسنجی تقسیم شدند.

الگوریتم‌های داده‌کاوی

در تحقیق حاضر از بسته نرم افزار کدنویسی SDMs (Spatial distributions models) که حاوی تعداد ۱۲ مدل شامل: BRT (۱۱)، CART (۳۴)، FDA (۱۷)، GAM (۲۳)، GBM (۳۰)، GDM (۱۴، ۲۲)، GLM (۲۶)، MARS، Maxent (۱۲) (۶)، MAD (۱۹)، RF (۵)، SVM (۳۶) و Ensemble Model یا مدل ترکیبی که از ترکیب سه مدل برتر از نظر عملکرد در بین مدل‌های ۱۲گانه می‌باشد استفاده شد.

صحت‌سنجی نقشه‌های حاصل از مدل‌های SDM

پس از تهیه نقشه‌های توزیع مکانی و جغرافیایی توسط ۱۲ مدل مذکور در مرحله اول با استفاده از دو روش، به‌منظور ارزیابی صحت مدل‌ها از محاسبه ویژگی‌های عامل نسبی (ROC) در محیط نرم‌افزار R استفاده شد (۲۵). در روش ROC، مساحت زیر منحنی (AUC) مقادیر بین ۰/۵ تا ۱ داشته و برای ارزیابی دقت مدل به‌کار می‌رود (۲۹). هر چقدر مقدار AUC به (۱) نزدیک‌تر شود، دقت مدل بیشتر است. از ۳۰ درصد نقاط در منطقه مورد مطالعه که در ابتدا جهت تست مدل انتخاب شده بود استفاده گردید.

استخراج متغیرهای غیرمحیطی

متغیرهای غیرمحیطی شامل فاصله از روستا یا اراضی مسکونی، فاصله از دام‌سرا و فاصله از جاده بودند. برای تهیه نقشه‌های مذکور لایه‌های رستری نقطه‌ای روستاها و دام‌سراها و همچنین لایه‌های GISای خطی جاده تهیه شدند. سپس نقشه‌های فاصله از عارضه‌های مذکور در محیط GIS به‌صورت فازی تهیه شدند. همچنین نقشه ابرناکی تهیه‌شده در مراحل قبل نیز در این مرحله استفاده و در محیط نرم‌افزاری GIS به‌صورت فازی تهیه شد. بنابراین در این بخش تعداد ۴ لایه رستری با اندازه پیکسل ۱۲/۵ متر استفاده شد. سپس با استفاده از روش AHP و نرم‌افزار Expert

1- Topographic Wetness Index

2- Stream Power Index

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.27.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.249]

choice و تهیه فرم‌های پرسشنامه اقدام به وزن‌دهی لایه‌های ۴ گانه مذکور گردید، تا روی هم‌گذاری وزنی لایه‌ها در محیط نرم‌افزاری GIS فراهم شود.

نتایج و بحث

متغیرهای سنجش از دوری

نقشه کاربری اراضی

نتایج حاصل از نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز وازرود نشان داد که بیشترین مساحت حوزه را اراضی جنگل متراکم و اراضی مرتعی و کمترین مساحت را مناطق مسکونی به‌خود اختصاص داده است. همچنین به‌منظور ارزیابی دقت نقشه تولیدشده، دقت کاربر و دقت تولیدکننده آن محاسبه و خطای گماشته‌شده و حذف‌شده مربوط به کلاس‌های کاربری اراضی مورد بررسی قرار گرفت. خطای گماشته‌شده نشان‌دهنده مساحت اراضی یک کلاس است که واقعا به آن کلاس تعلق ندارد و خطای حذف‌شده نشان‌دهنده میزان مساحت اراضی یک کلاس است که جزء کلاس‌های دیگر طبقه‌بندی شدند. ارزیابی نتایج طبقه‌بندی مربوط به نقشه کاربری اراضی در جدول (۲) ارائه شد. برای هر کاربری با توجه به بیشترین مقدار پارامترهای صحت‌سنجی اقدام به انتخاب آن طبقه‌بندی‌کننده شد و نقشه کاربری اراضی برای آن کاربری انتخاب و ضریب کاپا و دقت کلی برای نقشه کاربری اراضی تولیدشده محاسبه گردید جدول (۳).

نقشه دمای سطح زمین

در پژوهش حاضر روند تغییرات مکانی دمای سطح زمین برای تصاویری که عاری از ابر بودند، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که حداکثر دمای سطح زمین در دوره زمانی مورد مطالعه در ارتفاعات جنوبی منطقه مورد مطالعه رخ داده است. در مقیاس میکرو اقلیم، یکی از دلایل آن تاثیر روستانشینان اطراف منطقه روی اراضی و تاثیر ارتفاعات اطراف روی سرعت باد (کاهش تبادلات جوی) می‌باشد.

مدل‌های داده‌کاوی

اشکال (۲) تا (۴) به‌عنوان بهترین مدل جهت تهیه نقشه توزیع مکانی استحصال آب از مه بر اساس متغیرهای محیطی و نقاط برداشت‌شده توسط GPS می‌باشند. بنابراین برای تهیه مدل ترکیبی نیز از این مدل‌ها استفاده شد. در شکل (۵) نقشه توزیع مکانی استحصال آب از مه براساس متغیرهای محیطی و منحنی ROC برای مدل ترکیبی (Ensemble) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل پیداست، مناطق شرق، جنوب‌شرقی و جنوب حوزه آبخیز وازرود بیشترین تناسب را بر اساس نتایج داده‌کاوی و متغیرهای محیطی و نقاط برداشت‌شده دارا می‌باشد.

جدول ۲- ارزیابی نتایج طبقه‌بندی مربوط به نقشه کاربری اراضی تولیدشده

Table 2. Assesment of the classification results related to the produced land use map

نام سنجنده	سال	باندهای مورد استفاده	ضریب کاپا	صحت کلی (درصد)
OLI	۱۳۹۵	۱-۷	۰/۹۳	۹۵/۰۰

متغیرهای غیرمحیطی

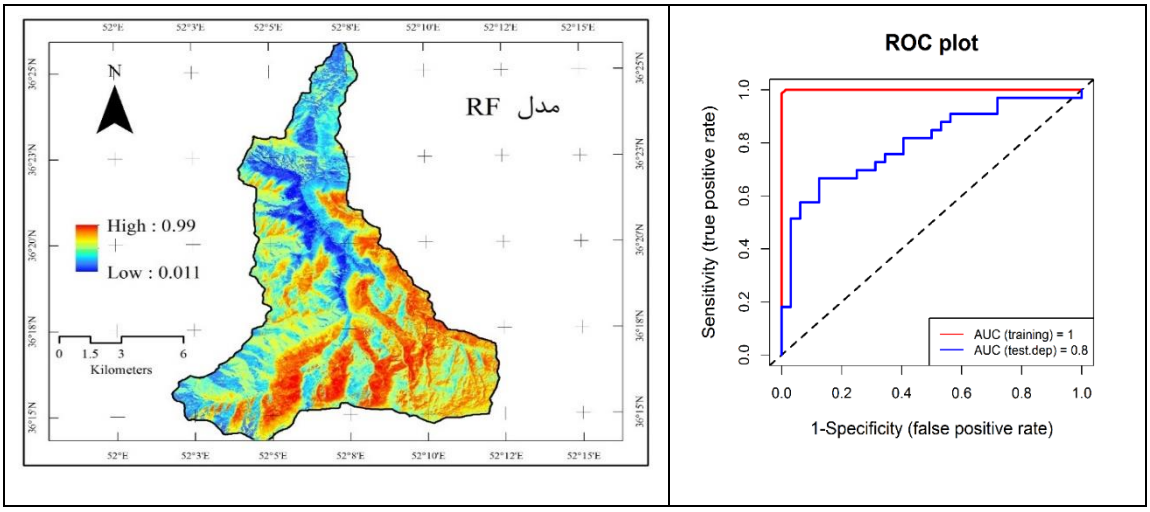
متغیرهای غیر محیطی مورد استفاده در تحقیق حاضر شامل فاصله از جاده، فاصله از دام سرا، فاصله از اراضی مسکونی با روستاها و نقشه ابرناکی در سطح حوزه آبخیز وازرود بود.

جدول ۳- ضریب کاپا و دقت کلی مربوط نقشه کاربری اراضی تولیدشده

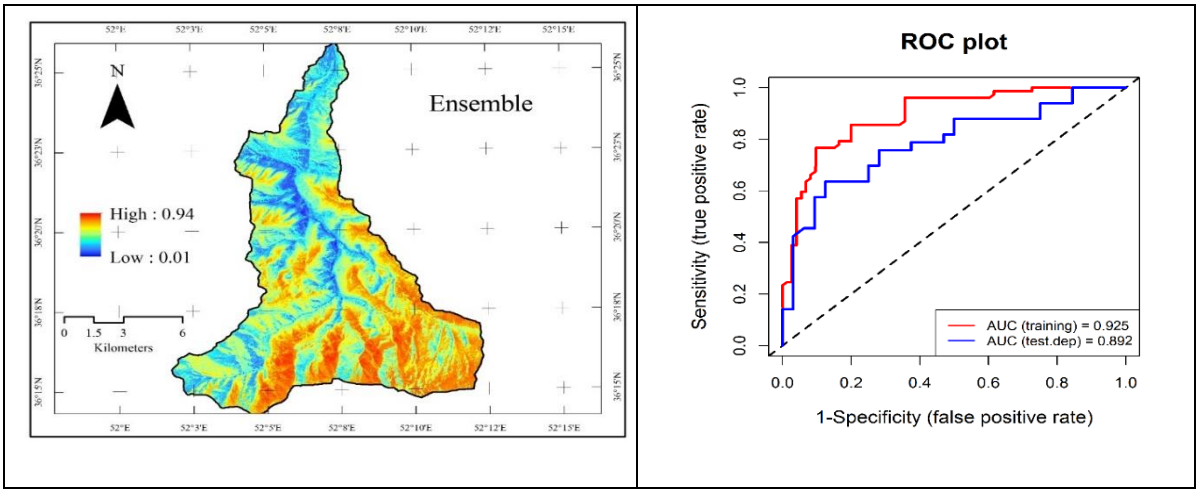
Table 3. Kappa coefficient and overall accuracy of the produced land use map

سال	نوع کاربری	طبقه‌بندی‌کننده	دقت کاربر	دقت تولیدکننده	خطای گماشته‌شده	خطای حذف‌شده
۱۳۹۵	جنگل متراکم	حداکثر احتمال	۹۳	۸۹/۵۰	۷	۱۰/۵۰
	جنگل نیمه‌متراکم	حداقل فاصله	۸۵/۴۱	۹۱/۳۷	۱۴/۴۹	۹/۴۳
	اراضی مرتعی	حداکثر احتمال	۹۲/۰۰	۸۵/۲۵	۸/۰۰	۱۴/۷۵
	اراضی مرتعی کشاورزی	ماشین بردار پشتیبان	۸۸/۸۸	۸۷/۵۵	۱۱/۱۲	۱۲/۴۵
	اراضی مسکونی	حداقل فاصله	۸۹/۵۰	۸۷/۳۲	۹/۵۰	۱۲/۶۸

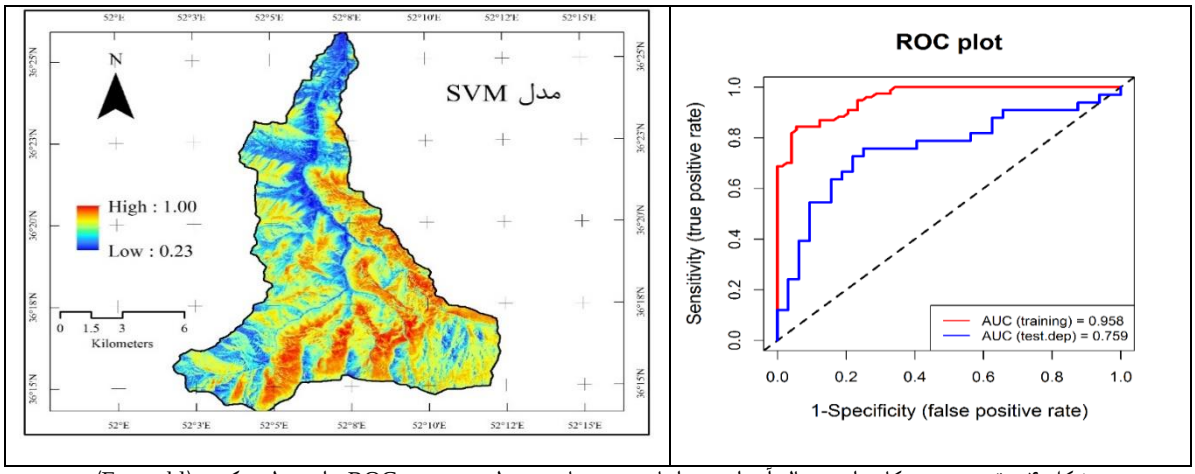
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.27.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.249]



شکل ۲- نقشه توزیع مکانی استحصال آب از مه براساس متغیرهای محیطی و منحنی ROC برای مدل RF
Figure 2. Spatial distribution map of water harvesting from fog based on environmental variables and ROC curve for RF model



شکل ۳- نقشه توزیع مکانی استحصال آب از مه براساس متغیرهای محیطی و منحنی ROC برای مدل SVM
Figure 3. Spatial distribution map of water harvesting from fog based on environmental variables and ROC curve for SVM model

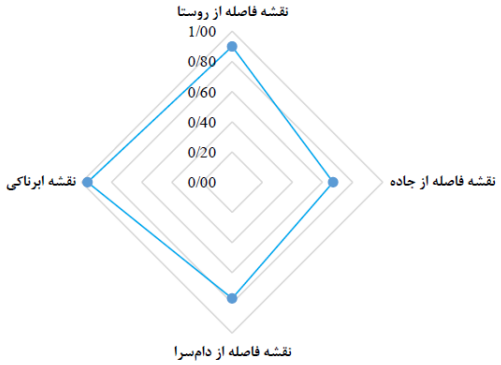


شکل ۴- نقشه توزیع مکانی استحصال آب از مه براساس متغیرهای محیطی و منحنی ROC برای مدل ترکیبی (Ensembl)
Figure 4. Spatial distribution map of water harvesting from fog based on environmental variables and ROC curve for hybrid model (Ensembl)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.27.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.249]

وزن‌دهی متغیرهای غیرمحیطی براساس روش AHP

وزن‌دهی متغیرهای چهارگانه غیرمحیطی شامل فاصله از روستا، فاصله از دام‌سرا، فاصله از جاده و نقشه ابرناکی بر اساس نظر کارشناسی و روش AHP انجام شد. وزن متغیرهای حاکی از آن است که نقشه ابرناکی بیشترین وزن (۰/۹۶) و فاصله از جاده کمترین وزن (۰/۶۷) را به‌خود اختصاص داد (شکل ۵).



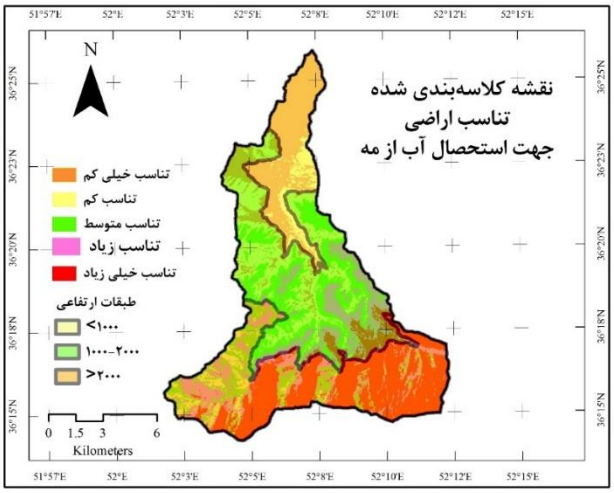
شکل ۵- وزن و اهمیت متغیرهای غیرمحیطی بر اساس روش AHP
Figure 5. Weight and importance of non-environmental variables based on AHP method

همپوشانی متغیرهای غیرمحیطی

بعد از وزن‌دهی و اهمیت متغیرهای غیرمحیطی اقدام به همپوشانی لایه‌های مذکور در محیط GIS شد. نقشه همپوشانی متغیرهای غیرمحیطی نشان می‌دهد که مناطق جنوب‌شرقی، جنوبی و جنوب‌غربی حوزه آبخیز وازرود دارای بیشترین اولویت برای استحصال آب از مه هستند.

همپوشانی لایه‌های محیطی و غیرمحیطی

شکل (۶) نقشه نهایی کلاسه‌بندی تناسب اراضی برای استحصال آب از مه بر اساس طبقات ارتفاعی در حوزه را نشان می‌دهد که مناطق با ارتفاع بیشتر از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا بیشترین تناسب برای استحصال آب از مه را دارند و این اراضی در بخش‌های جنوبی حوزه واقع شده‌اند. همچنین مناطق با تناسب کم در بخش شمالی و قسمت خروجی حوزه که دارای کمترین ارتفاع از سطح دریا (کمتر از ۱۰۰۰ متر) هستند را به‌خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۶- نقشه نهایی کلاسه‌بندی تناسب اراضی برای استحصال آب از مه و نقشه طبقات ارتفاعی در حوزه آبخیز وازرود
Figure 6. Final map of land suitability classification for water harvesting from fog and elevation map in Vazrood watershed

در مطالعه حاضر، مناطق مناسب استحصال آب از مه براساس ۱۲ مدل داده‌کاوی و همچنین مدل ترکیبی در تلفیق با نقشه همپوشانی متغیرهای غیرمحیطی تهیه شد. برای تهیه نقشه مذکور متغیرهای سنجش از دور (شامل نقشه کاربری اراضی، نقشه دمای سطح زمین و نقشه ابرناکی)، متغیرهای اقلیمی، متغیرهای هیدرولوژیکی و متغیرهای فیزیوگرافیک و

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.27.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.249]

همچنین تعداد ۴ متغیر غیرمحیطی تاثیرگذار (فاصله از روستا، فاصله از دام سرا، فاصله از جاده و نقشه ابرناکی) بر اولویت‌بندی مناطق استحصال آب از مه براساس تصاویر لندست محاسبه و مورد استفاده قرار گرفتند.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر مشخص شد که مناطق جنوبی و جنوب‌شرقی حوضه که در ارتفاعات بالاتر از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا قرار دارند دارای بیشترین اولویت برای استخراج آب از مه هستند. همچنین مناطق با تناسب کم در بخش شمالی و قسمت خروجی حوزه که دارای کمترین ارتفاع از سطح دریا (کمتر از ۱۰۰۰ متر) هستند را به‌خود اختصاص داده‌اند. لازم به‌ذکر است که نتایج تحقیق حاضر ضرورت استفاده از داده‌ها یا تصاویر سنجش از دور با قدرت زمانی و مکانی مناسب در مکان‌یابی و حتی زمان‌یابی استحصال آب از مه را به‌خوبی مشخص نمود. در مورد شرایط مختلف در استقرار ادوات استحصال آب از مه، مطالعات نشان می‌دهد که جمع‌کننده‌هایی که در سطوح پایین نصب می‌شوند به‌دلیل اینکه در این سطوح، جریان باد با شدت کم می‌وزد و رطوبت و مه مداوم وجود دارد، قابلیت برداشت آب بیشتری را دارند، ولی در سطوح بالاتر جریان متلاطم هوا و رطوبت کمتر، باعث می‌شود که آب استحصالی توسط جمع‌کننده به‌مراتب کمتر باشد.

در پژوهش حاضر روند تغییرات مکانی دمای سطح زمین نشان داد که حداکثر دمای سطح زمین در ارتفاعات جنوبی منطقه رخ داده است. بطوری‌که می‌توان اذعان داشت در مقیاس میکرو اقلیم، یکی از دلایل آن تاثیر روستانشینان اطراف منطقه روی اراضی و تاثیر ارتفاعات اطراف روی سرعت باد (کاهش تبادلات جوی) می‌باشد. اگر یک پدیده آب و هوایی که مه را تولید می‌کند ثابت باشد، مه مرتبا شکل خواهد گرفت. به هر جهت این رفتار ممکن است از یک منطقه به منطقه‌ای دیگر متفاوت باشد و اتفاقات فصلی خاصی رخ دهد. مطالعات توپوگرافی، مکان‌هایی با ارتفاع مناسب، رشته کوه‌ها، تعداد قلل، سطح کشیدگی‌ها و گذرگاه‌ها را آشکار خواهد کرد. آشنایی با مکان‌های مناسب و سیستم‌های جمع‌کننده می‌تواند موجب تولید بیشرین آب خروجی از دستگاه شود.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر مستخرج از نتایج طرح پژوهشی با کد ۰۲-۱۳۹۶-۰۴ از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری می‌باشد. بدین‌وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهشی این دانشگاه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. AbdulWahab, S.A. and V. Lea. 2008. Reviewing fog water collection worldwide and in Oman. International Journal of Environmental Studies, 65(3): 487-500.
2. Acharya, A., T.C. Piechota, H. Stephen and G. Tootle. 2011. Modeled streamflow response under cloud seeding in the North Platte River watershed. Journal of Hydrology, 409(1-2): 305-314.
3. Amer, R. and H. El-Desoky. 2017. A remote sensing method for mapping sillimanite mineralization. Journal of African Earth Sciences, 134: 373-382.
4. Batisha, A.F. 2015. Feasibility and sustainability of fog harvesting. Sustainability of water quality and ecology, 6: 1-10.
5. Catani, F., D. Lagomarsino, S. Segoni and V. Tofani. 2013. Landslide susceptibility estimation by random forests technique: sensitivity and scaling issues. Natural Hazards and Earth System Sciences, 13(11): 2815-2831.
6. Chen, W., H.R. Pourghasemi, A. Kornejady and N. Zhang. 2017. Landslide spatial modeling: introducing new ensembles of ANN, MaxEnt and SVM machine learning techniques. Geoderma, 305: 314-327.
7. Chen, W., Y. Zhang, W. Gao and D. Zhou. 2016. The Investigation of Urbanization and Urban Heat Island in Beijing Based on Remote Sensing. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 216: 141-150.
8. Darabi, H., K. Shahedi, K. Solaimani and M. Miryaghoubzadeh. 2014. Prioritization of subwatersheds based on flooding conditions using hydrological model, multivariate analysis and remote sensing technique. Water and environment journal, 28(3): 382-392.
9. Das, T. 2009. Land use/land cover change detection: an object oriented approach, Münster Germany. M.Sc. in Geospatial Technologies, Institute for Geoinformatics University of Münster, 70 pp.
10. Elhag, M. and J.A. Bahrawi. 2014. Conservational use of remote sensing techniques for a novel rainwater harvesting in arid environment. Environmental Earth Sciences, 72(12): 4995-5005.
11. Elith, J., J.R. Leathwick and T. Hastie. 2008. A working guide to boosted regression trees. Journal of Animal Ecology, 77(4): 802-813.
12. Felicísimo, Á.M., A. Cuartero, J. Remondo and E. Quirós. 2013. Mapping landslide susceptibility with logistic regression, multiple adaptive regression splines, classification and regression trees, and maximum entropy methods: a comparative study. Landslides, 10(2): 175-189.
13. Fereydooni, H. and S. Mojeddifar. 2017. A directed matched filtering algorithm (DMF) for discriminating hydrothermal alteration zones using the ASTER remote sensing data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 61: 1-13.
14. Ferrier, S., G. Manion, J. Elith and K. Richardson. 2007. Using generalized dissimilarity modelling to analyze and predict patterns of beta diversity in regional biodiversity assessment. Diversity and Distributions, 13(3): 252-264.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.27.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.249]

15. Fessehaye, M., S.A. Abdul-Wahab M.J. Savage, T. Kohler, T. Gherezghiher and H. Hurni. 2014. Fog-water collection for community use. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 29: 52-62.
16. Ghanamijaber, M., M. Maleki and M. Gholizadeh. 2016. The Feasibility of Producing Water from Fog Case Study Fandooglo in Namin city. 5th conference on rainwater catchment systems. Gilan-Rasht, 24-25 February, 1-8 (In Persian).
17. Ghassabeh, Y.A., F. Rudzicz and H.A. Moghaddam. 2016. Fast adaptive algorithms for optimal feature extraction from Gaussian data. Pattern Recognition Letters, 70: 73-79.
18. Ghosh, R., T.K. Ray and R. Ganguly. 2015. Cooling tower fog harvesting in power plants-A pilot study. Energy, 89: 1018-1028.
19. Halbe Z. and M. Aladjem. 2005. Model-based mixture discriminant analysis-an experimental study. Pattern Recognition, 38(3): 437-440.
20. https://landsat.usgs.gov.
21. Kashiwa, B.A. and C.B. Kashiwa. 2008. The solar cyclone: a solar chimney for harvesting atmospheric water. Energy, 33(2): 331-339.
22. Koubbi, P., M. Moteki, G. Duhamel, A. Goarant, P.A. Hulley, R. O'Driscoll and G. Hosie. 2011. Ecoregionalization of myctophid fish in the Indian sector of the Southern Ocean: results from generalized dissimilarity models. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 58(1-2): 170-180.
23. Liu, H. 2008. Generalized additive model. Department of Mathematics and Statistics University of Minnesota Duluth: Duluth, MN, USA, 43 pp.
24. Mahmoudi, P., Ch. Khajeh Amiri Khaledi and M.R. Salari Fanodi. 2016. Examining the feasibility of water harvesting from air humidity in the Southern province of Sistan and Baluchestan. Journal of Water and Soil Conservation, 23(2): 253-265.
25. Monde-geospatial.com
26. Moosavi, V. and Y. Niazi. 2016. Development of hybrid wavelet packet-statistical models (WP-SM) for landslide susceptibility mapping. Landslides, 13(1): 97-114.
27. Oh, H.J. and B. Pradhan. 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. Computers and Geosciences, 37(9): 1264-1276.
28. Olivier, J. 2004. Fog harvesting: An alternative source of water supply on the West Coast of South Africa. Geo Journal, 61(2): 203.
29. Ozdemir, A. 2011. Using a binary logistic regression method and GIS for evaluating and mapping the groundwater spring potential in the Sultan Mountains (Aksehir, Turkey). Journal of Hydrology, 405(1-2):123-136.
30. Ridgeway, G. 2007. Generalized Boosted Models: A guide to the gbm package. Update, 1(1): 12 pp.
31. Schemenauer, R.S. and P. Cereceda. 2009. Meteorological conditions at a coastal fog collection site in Peru. Atmosfera, 6(3): 175-188.
32. Shahmohamadi, P., A.I. Che-Ani, N. Abdullah, M.M. Tahir, K.N.A. Maulud and M.F.I. Mohd-Nor. 2010. The Link between urbanization and climatic factors: a concept on formation of urban heat island. WSEAS Transactions on Environment and Development, 6(11): 754-768.
33. Sharma, V., M. Sharma, S. Kumar and V. Krishnan. 2016. Investigations on the fog harvesting mechanism of Bermuda grass (Cynodon dactylon). Flora, 224: 59-65.
34. Singh, R., T. Wagener, R. Crane, M.E. Mann and L. Ning. 2014. A vulnerability driven approach to identify adverse climate and land use change combinations for critical hydrologic indicator thresholds: Application to a watershed in Pennsylvania, USA. Water Resources Research, 50(4): 3409-3427.
35. Sobrino, J.A., J.C. Jiménez-Muñoz and L. Paolini. 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. Remote Sensing of Environment, 90(4): 434-440.
36. Statnikov, A., C.F. Aliferis, D.P. Hardin and I. Guyon. 2011. A gentle introduction to support vector machines in biomedicine: Volume 1 Theory and Methods. Stallion Press, 200 pp.
37. Tehrany, M.S., B. Pradhan and M.N. Jebur. 2014. Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. Journal of Hydrology, 512: 332-343.
38. Weng, Q., D. Lu and J. Schubring. 2004. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote sensing of Environment, 89(4): 467-483.
39. Xiong, Y., S. Huang, F. Chen, H. Ye, C. Wang and C. Zhu. 2012. The impacts of rapid urbanization on the thermal environment: A remote sensing study of Guangzhou, South China. Remote Sensing, 4(7): 2033-2056.
40. Zha, Y., J. Gao and S. Ni. 2003. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. International Journal of Remote Sensing, 24(3): 583-594.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.27.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.249]

Suitable Site Selection of Fog Water Harvesting Based-On RS Data in Upstream of Vazrud Watershed in Iran

Karim Solaimani[1] and Fatemeh Shokrian[2]

1- Professor, Department of Watershed Management Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (Corresponding author: solaimani2001@yahoo.co.uk)
2- Assistant Professor, Department of Watershed Management Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
Received: October 7, 2019 Accepted: March 27, 2020

Abstract

Fog is a potential source of water that can be collected and used with new technologies. If we used simple and low-cost harvesting systems, fog can be mentioned as suitable option to provide drinking water in the World. On the other hand, remote sensing applications have been proven in water resources management and detection of cloud and fog. The present study was carried out to determine the prone-areas for fog-water harvesting in the upstream of the Vazrud Watershed (located on the highlands of Alborz) using remote sensing technique. For this purpose, 17 environmental variables were used. The remote sensing variables (based on Landsat satellite imagery) included land use, surface temperature, and cloudy maps. Climate variables are included leeward effect, windward effect, daylight anisotropy heating, effective air flow heating, sky view factor, wind effect. Hydrological variables are included stream power index and topographic wetness index. Physiographic variables are included DEM, slope, aspect, curvature, catchment area and terrain ruggedness index. All above mentioned variables with the SDMs package in the R program that include 12 models (BRT, CART, FDA, GAM, GBM, GDM, GLM, MARS, Maxent, MDA, RF and SVM) as well as 190 ground control points using GPS-Garmin-76CSx were used as auxiliary data to prepare spatial distribution of fog-water harvesting. In order to evaluate above mentioned models, the ROC curve was used in the R program. The results based on ROC curve indicated that BRT, GBM, Maxent, RF and SVM models were selected as final models (high accuracy) for preparing a fog-water harvesting map. Therefore, the above models were used to prepare the Ensemble model. The spatial distribution of fog-water harvesting map based on the Ensemble model showed that the east, southeast and south of the Vazrud Watershed have the most suitable potential for water harvesting. Also, the areas with more than 2000 meters above sea level are the best fit for the extraction of water from fog, which are located in the southern parts of the basin.

Keywords: Remote sensing, Vazrud, Water harvesting, Wetness index

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.27.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.249]