Sustainable Urban & Regional Development Studies Quarterly

Volume 5, Issue 3 - Serial Number 17, Fall 2024 **Online ISSN: 2783-0764**

Journal Hompage https://www.srds.ir/

https://www.srds.ir/article_217568.html?lang=en

Preparing soil data in the SWAT model using geological maps and remote sensing techniques (Case study: Sahajar Tonekabon watershed)

Mousa Abedini[1], Behnaz Saraei[*2], Ali Talebi[3]

1.Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences,University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2.PhD student in Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3.Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

Received Date: 12 September 2024 **Accepted Date:** 15 November 2024

Abstract

Background and objective: Global soil maps, such as the data provided by FAO and other data sets, serve as an important basis for modeling hydrological processes. However, these maps are often not suitable for accurate calibration of models such as SWAT (Soil and Water Assessment Model) due to their large scale or lack of sufficient detail. This challenge is especially evident in marginal logic with limited access to data.

Methodology: The present study aims to prepare a soil map and its parameters for the hydrological SWAT model of the Sehazhar watershed in northern Iran, Tonekabon Township, and Mazandaran Province. Therefore, using remote sensing and geological map data and slope map, it takes a step towards helping to solve this problem that exists in watershed studies in areas lacking soil data. For this purpose, first, from the World Soil Map (FAO), then by averaging based on geological map information such as formation type, period, rock type and hydrological group, and slope map, 5 general soil types with their characteristics were extracted. Then, they were converted into soil maps in Geographic Information System (GIS) software. The adjacent basin of the Sardabrood region (Kalardasht) was also used for comparison and validation.

Findings and conclusions: In this study, 10 soil factors required for use in the SWAT model were extracted, including: number of layers, soil depth, horizon thickness, bulk density, available water capacity, saturated electrical conductivity, soil organic matter, clay, silt, sand, rock in the horizon, and albedo ratio. According to the results of the study, 5 general soil types of the basin include: chernozem or pseudo-chernozem soils, verticillium, molly-soil, podzol, and lithosol. The results of the validation of the present study showed that using the above method to facilitate the preparation of soil maps and the estimation of soil data values has acceptable accuracy. Therefore, in areas without soil data and in studies with time constraints, the soil data preparation method is the appropriate method. Therefore, a promising solution is to use geological maps and remote sensing analyses to extract soil characteristics.

Keywords: soil data, model optimization, preparation of soil map, Tonekabon watershed.

.

Correspong Author Email: saraei.behnaz@gmail.com

Cite this article: Abedini, M. , Saraei, B. and Talebi, A. (2024). Preparing soil data in the SWAT model using geological maps and remote sensing techniques (Case study: Sahajar Tonekabon watershed). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, *5*(3), 289-302.

فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای

دوره ۵، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۷، پاییز ۱۴۰۳ شاپا:۰۷۶۴-۲۷۸۳

Journal Hompage https://www.srds.ir/
https://www.srds.ir/article_217568.html?lang=fa

تهیه داده‌های خاک در مدل SWAT با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و تکنیک سنجش از راه دور (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سه‌هزار تنکابن)

موسی عابدینی[۱]، بهناز سرائی*[۲]، علی طالبی[۳]

۱. استاد گروه جغرافیای طبیعی(گرایش ژئومورفولوژی)، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی. اردبیل، ایران

۲. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی.اردبیل، ایران

۳. استاد گروه منابع طبیعی (گرایش هیدرولوژی)، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد. یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۲ **تاریخ پذیرش**: ۱۴۰۳/۰۸/۲۵

چکیده

زمینه و هدف: نقشه‌های جهانی خاک، مانند داده‌های ارائه شده توسط FAO و سایر مجموعه داده‌ها، به عنوان یک پایه مهم برای مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی عمل می‌کنند. با این حال، این نقشه‌ها اغلب به دلیل مقیاس بزرگ یا کمبود جزئیات کافی، برای کالیبراسیون دقیق مدل‌هایی مانند SWAT (مدل ارزیابی خاک و آب) مناسب نیستند. این چالش به‌ویژه در منطق حاشیه‌ای با دسترسی محدود به داده‌ها مشهود است.

روش بررسی: پژوهش حاضر، با هدف تهیه نقشه خاک و پارامترهای آن برای مدل هیدرولوژیکیSWAT حوضه آبریزسه‌هزار در شمال ایران، شهرستان تنکابن استان مازندران است. لذا با استفاده از علم سنجش از دور و داده‌های نقشه زمین‌شناسی و نقشه شیب، گامی در جهت کمک به رفع این مشکل که در مطالعات حوضه‌های آبخیز در مناطق فاقد داده‌های خاک وجود دارد، بردارد. برای این منظور، ابتدا از نقشه جهانی خاک(FAO)، سپس با میانگین‌گیری بر اساس اطلاعات نقشه زمین‌شناسی مانند نوع سازند، دوره، جنس سنگ و گروه هیدرولوژیکی، و نقشه شیب، ۵ تیپ کلی خاک با خصوصیات آن استخراج گردید. سپس در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به نقشه خاک تبدیل شدند. از حوضه کناری منطقه سردآبرود (کلاردشت)، جهت نیز جهت مقایسه و صحت سنجی استفاده شد.

یافته‌ها و نتیجه‌گیری: در این تحقیق، ۱۰ فاکتور خاک مورد نیاز برای استفاده در مدل SWAT، شامل: تعداد لایه‌ها، عمق خاک، ضخامت افق، جرم حجمی، ظرفیت آب قابل دسترس، هدایت الکتریکی اشباع، مواد آلی خاک، رس، سیلت، ماسه، سنگ در افق، نسبت آلبدو استخراج گردید. مطابق نتایج حاصل از تحقیق، ، ۵ تیپ کلی خاک حوضه شامل: خاکهای چرنوزیوم یا شبه چرنوزیم، ورتی سویل، مولی سویل، پودزول و لیتوسویل می باشند. نتایج صحت‌سنجی تحقیق حاضر نشان داد که استفاده از روش فوق جهت سهولت در تهیه نقشه خاک و برآورد مقادیر داده‌های خاک دقت قابل قبولی دارد. لذا درمناطق فاقد داده‌های خاک و در مطالعاتی که محدودیت زمانی وجود دارد، روش تهیه داده‌های خاک، روش مناسب می‌باشد.

کلید واژه‌ها : داده‌های خاک، بهینه‌سازی مدل، تهیه نقشه خاک، حوضه آبخیز سه هزار تنکابن.

* نویسنده مسئول: saraei.behnaz@gmail.com

ارجاع به این مقاله: عابدینی, موسی , سرایی, بهناز و طالبی, علی . (۱۴۰۳). ۱۸.تهیه داده‌های خاک در مدل SWAT با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و تکنیک سنجش از راه دور (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سه‌هزار تنکابن). فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای, ۵(۳), ۲۸۹-۳۰۲.

مقدمه و بیان مسأله

فرسایش خاک، یکی از مشکلات محیطی است که تهدیدی برای منابع طبیعی، کشاورزی و محیطزیست به شمار می‌رود. در این راستا، اطلاعات زمانی و مکانی از فرسایش خاک در اقدامات مدیریتی، کنترل فرسایش و مدیریت حوضه‌های آبخیز نقش مؤثری دارند (عابدینی و همکاران،۱۴۰۳). فرسایش خاک و اثرات ناشی از آن بر روی منابع کره زمین جزو موضوعات قابل توجه در بسیاری از کشورها می‌باشد. مهمترین اثرات فرسایش خاک از دست رفتن حاصل‌خیزی خاک، آلودگی آب‌ها، کاهش تولیدات کشاورزی و کاهش عمر مفید سدها می‌باشد (ارخی و همکاران،۱۴۰۳).

برنامه‌ریزی جهت انجام پژوهش در زمینه علوم زمین نیازمند داشتن داده‌های اولیه و مورد نیاز است، زیرا بدون وجود منابع داده، شرایط برای مطالعه میسر نمی شود (مخدوم و همکاران،۱۳۹۲). روش نقشه‌برداری رقومی خاک در تلفیق با داده‌های سنجش‌ازدور به‌عنوان راهکاری سودمند برای تولید نقشه رقومی خصوصیات خاک با دقت بالا و صرف هزینه و زمان کمتر است (شهریاری و همکاران،۱۴۰۳). شناسایی خاک (soil survey)، به عنوان روشی برای تعیین الگوی پراکنش خاک، توصیف و نمایش آن به شکل قابل فهم و تفسیر برای کاربران مختلف پایه و اساس اطلاعات خاک برای مدل سازی‌های محیطی است (بوما و همکاران[۱]، ۱۹۹۶). مدل‌های هیدرولوژیکی معمولا برای پیش‌بینی اینکه چگونه فرآیندهای هیدرولوژیکی و یا فرآیندهای کیفیت آب به تغییرات عوامل محیطی و انسانی و همچنین رویکردهای مدیریتی مختلف پاسخ می‌دهند استفاده می شوند (راشد[۲] و همکاران، ۲۰۲۴). شناسایی ابزارهای مدل‌سازی هیدرولوژیکی قابل اعتماد موضوع مهمی برای مقامات محلی در ارائه راه‌حل‌های موثر برای مشکلات سیل، خشکسالی و صادرات آلاینده است (ایزیدورکزکیک[۳] و همکاران ۲۰۱۹).

فرسایش خاک یک تهدید اساسی برای پایداری محیطی و انسانی است که توسط تداخلات انسانی، نوسانات آب و هوایی و تغییرات اقتصادی-اجتماعی تشدید می‌شود (تالور[۴] و همکاران، ۲۰۲۵). در ارزیابی خاک, شمار نمونه های جمع آوری شده, بیشتر با محدودیت‌های زمان و هزینه روبرو است. همچنین, کمبود جاده های دسترسی, پوشش گیاهی انبوه و زمین های ناهموار, در بازدید از مناطق خود باعث محدودیت های بیشتری می شوند. این کمبودها, انگیزه به کارگیری روش‌های نمونه برداری نیرومند تری را ایجاد می‌کند تا بتوان تغییرات مکانی خاک و ویژگی های آن را برای کاهش شمار نمونه, زمان و هزینه مورد نیاز, به خوبی فراهم کند(لطف الهی و همکاران ۱۳۹۹).

مدیریت صحیح منابع به میزان شناخت ما از توزیع مکانی خاک و ویژگی‌های آن بستگی دارد و نقشه‌های خاک، از جمله مهم‌ترین منابع اطلاعاتی هستند که در این زمینه به کار برده می‌شوند. مدل‌های هیدرولوژیکی برای درک دینامیک حوضه آبخیز و تاثیر فعالیت‌های انسانی بر منابع آب ضروری هستند (بالستروس و همکاران[۵]، ۲۰۲۳). مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی به عنوان ابزاری کلیدی در مدیریت منابع آب و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی، نیازمند داده‌های دقیق و قابل اعتماد از ویژگی‌های خاک است. از طرفی امروزه فرسایش خاک یکی از مسائل و مشکلات مهم حوضه‌های آبریز ایران محسوب می‌شود و می‌توان از آن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موانع دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی نام برد (عابدینی و همکاران،۱۴۰۳).

به طور کلی پنج عامل اصلی مهم بر خاکزایی و تحول آن تأثیر می‌گذارد. در واقع تشکیل خاک یک فرآیند پیچیده است که تحت تأثیر عوامل محیطی متعددی(مانند شرایط اقلیمی، لیتولوژی، و ضعیت توپوگرافی، نقش موجودات زنده و عامل زمان) قرار دارد. این عوامل محیطی در نحوه، سرعت تشکیل خاک و کیفیت آن آن تاثیر دارند و بعنوان داده‌های اساسی، نقش مهمی در مدل‌سازی

---

۱. Bouma & et al

۲. Rasheed & et al

۳. Izydorczyk

۴. Taloor & et al

۵. Balstros & et al

هیدرولوژیکی که در SWAT (ابزار ارزیابی خاک و آب) اســـتفاده می-شـــود، ایفا می‌کنند. با تجزیه و تحلیل این عوامل می توان پارامترهای مهم خاک را تخمین زد و دقت شبیه‌سازی SWAT را بهبود بخشید.

نقشه‌های جهانی خاک، مانند مجموعه داده‌های ارائه شده توسط سازمان جهانی خاک (FAO)، به عنوان یکی از منابع معتبر اطلاعات خاک، مزایای زیادی دارد که در این زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما در عین حال معایبی نیز برای مدلسازی هیدرولوژیکی دارد. این نقشه‌ها اغلب در مقیاس‌های بزرگ تهیه شده‌اند و که دقت لازم را در تفکیک ویژگی‌های محلی ندارند، و همچنین تنوع زیاد خاک‌ها در مقیاس کوچک به درستی منعکس نشده است و اطلاعات خاک ممکن است قدیمی باشند و تغییرات اخیر در کاربری زمین یا تغییرات اقلیمی را نیز منعکس نمی‌کنند. این معایب می‌توانند نیازهای دقیق مدل‌سازی را برآورده نسازند وبه دقت و صحت مدل‌های هیدرولوژیکی آسیب برسانند. حوضه مورد مطالعه هم به لحاظ پوشش جنگی و هم به لحاظ کشاورزی جزو حوضه‌های آبخیر مهم شهرستان تنکابن می‌باشد. لذا به دلیل عدم وجود داده‌های خاک و نقشه خاک در محوضه مورد تحقیق و برای افزایش دقت مدلسازی اقدام به بررسی روش‌های ترکیب پارامترهای زمین‌شناسی و سنجش از دور جهت تهیه نقشه خاک و پارامترهای آن برای بهبود دقت پارامترهای خاک در مدل SWAT در حوضه رودخانه سه‌هزار شهرستان تنکابن پرداخته شد. هدف پژوهش حاضر تهیه نقشه خاک و پارامترهای آن به عنوان یکی از ورودی‌های اصلی مدل SWAT جهت مدلسازی هیدرولوژیکی برای پیش‌بینی سیلاب می‌باشد.

پیشینه پژوهش

در رابطه با تکمیل داده‌های خاک و تهیه نقشه خاک برای استفاده در مدل SWAT و دیگر مدل‌های هیدرولوژیکی و آماری آنها مطالعات متعددی در داخل کشور و خارج از آن صورت گرفته است که بصورت مختصر به برخی از آنها اشاره می‌گردد.

باقری بداغ آبادی و همکاران(۱۳۹۱)، به مطالعه ارزیابی و بررسی تعمیم پذیری مدل استنباطی خاک-سرزمین(SOLIM) در نقشه-برداری رقومی خاک با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و مشتقات آن پرداختند. نتایج نشان داده که ترکیبات گوناگون ویژگی‌های مدل رقومی ارتفاع در برآورد نوع خاک‌ها دقت متفاومتی دارند و به طور کلی، دقت درون‌یابی‌ها دو برابر دقت برون‌یابی‌ها هستند. همچنین، مدل SOLIM در برآورد نوع واحدهای نقشه و خاک‌های موجود در آن، دقت قابل قبولی داشته، با وجود این در برآورد مکان دقیق کلاس‌های خاک، از دقت چندانی برخوردار نبوده است.

تقی‌زاده مهرجردی و همکاران(۱۳۹۲)، به مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم در تهیه نقشه رقومی خاک در منطقه اردکان پرداختند. در این پژوهش از مدل‌های درخت تصمیم و شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی مکانی کلاس‌های تاکسونومیک خاک در منطقه‌ای خشک به وسعن ۷۲۰ کیلومتر مربع در اردکان، بر اساس روش مربع لاتین مکان جغرافیایی ۱۸۷ پروفیل خاک مشخص و سپس تشریح و نمونه‌برداری شدند. همچنین از متغیرهای محیطی شامل اجزای سرزمین، داده‌های تصویر ETM^+ ماهواره لندست، و نقشه سطوح ژئومورفولوژی استفاده شد. نتایج نشان داد که برای پیش‌بینی کلاس خاک، مدل درخت تصمیم نسبت به شبکه عصبی مصنوعی حدود ۷ درصد دقیق‌تر است. درخت تصمیم و شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب دقت کلی و ضریب تبیین و ضریب کاپای ۴۸ درصد، ۵۲ درصد، ۰/۳۴ و ۰/۴۶ و ۰/۱۳ و ۰/۲۵ دارند. درخت تصمیم دقت بالاتری دارند و تفسیر مدل درختی راحت‌تر است.

علیخانی و همکاران(۱۳۹۳)، در پژوهشی به مقایسه دقت نقشه خاک تهیه شده به روش ژئوپدولوژی و روش معمول ایران در کوهین پرداختند. در این مطالعه از عکس‌های هوایی ۱/۴۰۰۰۰به منظور تهیه نقشه تفسیری اولیه و تعیین منطقه نمونه استفاده کردند. ۲۴ نیمرخ در واحدهای تعیین شده حفر کردند. نقشه خاک منطقه به روش ژئوپدولوژی تهیه کردند. از دو روش برای صحت‌سنجی نقشه گردید. روش اول تشکیل ماتریس خطا و اندکس کاپا، روش دوم مقایسه نقشه ژئوپدولوژیکی با پروفیل‌های حفر شده بوده است. نتایج به ترتیب صحت کلی ۹۰/۵، ۶۷/۵ و ۹۸/۵ درصد را در سطح فامیل زیرگروه و گروه بزرگ – زیر رده، رده خاک برای روش ژئوپدولوژیکی نشان داد.

امیدوار و همکاران (۱۳۹۴)، در بررسی قابلیت استفاده از نقشه واحدهای خاک به منظور برآورد تغییرات مکانی فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در مقیاس حوضه آبخیز با بررسی تغییرات فاکتورهای برآورده کننده فرسایش‌پذیری خاک در تیپ‌های مختلف موجود در نقشه خاک‌شناسی و برای نشان دادن پراکنش مکانی فاکتور K از تکنیک زمین‌آمار و روش کریجینگ استفاده شد. نتایج نشان داد که از بین پارامترهای برآورده کننده فرسایش پذیری خاک درصد سیلت، ساختمان خاک و نفوذپذیری دارای اختلاف معنی‌داری در برخی از تیپ‌های خاک بوده و در سایر پارامترها و فاکتور K اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده و در کل نقشه‌های معمولی تیپ‌های خاک در منطقه مورد مطالعه قابلیت استفاده برای محاسبه فاکتور فرسایش‌پذیری ندارد.

فرجنیا و یاراحمدی(۱۳۹۴)، با به کارگیری روش ژئوپدولوژی در تهیه نقشه خاک دشت هرزندات مرند در استان آذربایجان شرقی و مقایسه آن با نقشه خاکی که با روش فیزیوگرافی تهیه شده بود، پرداختند. از نقشه‌های پایه شامل عکس‌های هوایی، نقشه توپوگرافی و نقشه زمین‌شناسی، تصویر لندست ETM و سپس مدل رقومی ارتفاع، جهات و درصد شیب، سنگ‌شناسی و مدل سه بعدی تصاویر،خاک‌ها طبق روش طبقه‌بندی جامع خاک‌ها یا روش آمریکائی طبقه‌بندی و نیز لندفرم‌های مختلف تشخیص و نام‌گذاری شدند. نتایج نشان داد که، با توجه به الگوی پراکنش خاک‌های منطقه دو نوع واحد نقشه خاک شامل واحد همگون و واحد اجتماع یا مجموعه‌ها که خلوص واحدهای نقشه را نشان می‌دهد تشخیص داده‌شد در روش ژئوپدولوژی۸ فامیل خاک در سه رده انتی سولز، اینسپتی سولز و اریدی سولز و ۶۹ واحد اراضی و ۱۴۵ مرزبندی نقشه تفکیک شد. در حالیکه در روش فیزوگرافی تنها ۳۷ واحد اراضی و ۶۳ مرزبندی نقشه در دو رده انتی سولز و اینسپتی سولز تشخیص داده‌شده بود. از کیفیت بهتری برخوردار است. همچنین در این روش تنها ۳۷ پروفیل حفر شد که در مقایسه با روش فیزیوگرافی که ۱۸۰ پروفیل در آن حفر و مطالعه و نمونه‌برداری گردیده‌است هزینه کمتری صرف شده و زمان لازم برای تهیه نقشه خاک نیز به‌مراتب کمتر از روش فیزیوگرافی است. اما در روش ژئوپدولوژی مرزبندی واحدهای تفکیکی با واقعیت زمین منطبق است. لذا کارایی این روش به‌مراتب از روش فیزیوگرافی بیشتر بوده است.

احمدی‌ثانی و بابایی کفاکی(۱۳۹۶)، به تهیه نقشه پارامترهای خاک برای مطالعات علوم محیطی، ارزیابی و آمایش سرزمین بر اساس اصول ژئوپدولوژی با کاربرد سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند. ایتدا نقشه واحدهای همگن خاک تهیه و از هر واحد یک نمونه خاک برداشت و در آزمایشگاه پارامترهای خاک استخراج کردند و مقادیر در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به واحد مورد نظر تعمیم داده شد. و نقشه آن تهیه کردند. نتایج نشان داد که روش‌های مورد استفاده با کمک داده‌های ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی با کاهش نمونه برداری، کار میدانی و آزمایشگاهی موجب صرفه‌جویی در هزینه و زمان و همچنین افزایش دقت می‌شود.

جعفری و همکاران(۱۳۹۷)، به مطالعه نقشه‌برداری رقومی خاک به کمک اطلاعات میراثی در فاریاب کرمان پرداختند. این پژوهش با هدف تهیه نقشه رقومی گروه بزرگ خاک با روش رگرسیون لاجستیک چند جمله‌ای با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، شاخص‌های سنجش از دور، سطوح ژئومورفیک و نقشه زمین‌شناسی. نتایج نشان داد که با بکارگیری نقشه قدیمی خاک در مدل‌سازی، شاخص‌های اعتبارسنجی مدل از جمله خلوص نقشه و شاخص کاپا افزایش یافتند. و دقت روش نقشه‌برداری رقومی و بکارگیری نقشه قدیمی خاک می‌تواند ارتقا پیدا کند و کاربرد نقشه‌های تولید شده را افزایش دهد.

جمشیدی و همکاران(۱۳۹۸)، به ارزیابی تعمیم‌پذیری مدل جنگل تصادفی برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک در سطح زیرگروه پرداختند. از دشت سعادت‌شهر استان فارس به عنوان منطقه مرجع و دشت سیدان در مجاور آن به عنوان منطقه گیرنده اطلاعات با توجه به شباهت متغیرهای محیطی در دو منطقه انتخاب کردند. در منطقه مرجع با کاربرد روش جنگل تصادفی برای مدلسازی روابط بین کلاس‌های خاک و متغیرهای کمکی و منطقه گیرنده با کاربرد متغیرهای کمکی مشابه در مدل‌های استخراج شده از منطقه مرجع (یکی با ۷۰ درصد و دیگری با ۱۰۰ درصد داده‌ها)، کلاس‌های پیش‌بینی شده با نتایج طبقه‌بندی ۲۷ خاک رخ مطالعه شده در این منطقه مقایسه و صحت مدل‌ها در تعمیم داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که از میان تمامی عوامل محیطی استفاده شده، شیب، شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا، شاخص ناهمواری‌های توپوگرافی، شاخص خیسی توپوگرافی و مساحت حوضه

اصلاح شده بیش‌ترین تاثیر را در پیش‌بینی کلاس‌های خاک در سطح زیر گروه داشته‌اند. این روش در مناطقی از ایران که فاقد نقشه خاک بوده یا نقشه‌های موجود به روز نشده است، می‌تواند ابزاری کارآمد برای تهیه نقشه خاک باشد.

تاباراس و همکاران[۱] (۲۰۲۰)، به بررسی تاثیر نقشه‌ها و وضوح‌های مختلف خاک بر اجزای اصلی هیدرولوژیکی یک آبخیز زیر خشک در مرکز اسپانیا برای استفاده در مدل SWATپرداختند. از سه نقشه مختلف خاک پارامتری شد.یک مورد نقشه جهانی خاک (FAO) بود. و دو مورد دیگر بر اساس درون‌یابی کریجینگ بودند. برای بدست آوردن نقشه خواص خاک دو راهبرد بکار گرفته شد: یکی میانگین‌گیری ویژگی‌های خاک بر اساس واحدهای طبقه‌بندی رسمی خاک و دیگری استفاده از نقشه خودسازمانی (SOM). نتایج نشان داد که نقشه‌برداری مقیاس و ویژگی‌های خاک بر تعریف HRU[۲] تاثیر می‌گذارد، که بر جریان آب از خاک تاثیر می‌گذارد. معیارهای آماری عملکرد مدل از R2=0.62 و NSE= 0.46 با نقشه خاک HWSD به R2= 0.86 و NSE=0.84 با SOM بهبود یافت و مقادیر مشابهب در طول اعتبارسنجی به دست آمد. SOM به عنوان یک الگوریتم نوآورانه برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی باSWAT ارائه می‌شود.

بودنشتاین و همکاران [۳](۲۰۲۲)، به مطالعه دقت نقشه‌های خاک در مقایس جهانی و قاره‌ای در جنوب افریقا را ارزیابی کردند. دقت نقشه‌های خاک با مقایسه مشخصات داده‌های خاک نقشه‌برداری شده ارزیابی شد. سه نقشه خاک در مقیاس جهانی، قاره‌ای و منطقه‌ای برای جنوب آفریقا و داده‌های مشاهداتی از پایگاه داده پروفیل خاک آفریقا و آفریقای جنوبی مقایسه شد. و نقشه‌های ویژگی‌های خاک منتخب شطرنجی AfsoilGrids250m با نقشه پایگاه داده جهانی خاک هماهنگ مقایسه شدند. خواص خاک از طریق ضریب همبستگی لین، میانگین مربعات خطای ریشه و میانیگین خطای مطلق مورد مقایسه آماری قرار گرفت. نقشه‌های بررسی شده و داده‌های نقطه‌ای عموما همبستگی ضعیفی داشتند و مقادری بزرگی از میانگین مربعات خطا و میانیگن خطای مطلق برای بیشتر ویژگی‌ها مشاهد شد. از میان نقشه‌های خاک، لایه‌های شطرنجی ویژگی خاک AfsoilGrids250m دقیق‌ترین تخمین را از شرایط خاک در مزرعه برای ویژگی‌های خاک منتخب مورد مطالعه ارائه کردند.

صباغی و همکاران (۲۰۲۴)، به مطالعه نقشه پیش‌بینی طبقات بافت خاک با استفاده از مدل درخت تصمیم و شبکه عصبی با ویژگی‌های سطح ژئومورفولوژی، هدف این مطالعه مقایسه مدل‌های درخت تصمیم (DT) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و همچنین کارایی ویژگی‌های سطح ژئومورفیک در پیش‌بینی طبقات بافت خاک به کمک مدل رقومی ارتفاع (DEM)، تصاویر لندست ۸، نقشه سطح ژئومورفیک، نقشه زمین‌شناسی و نقشه کاربری اراضی، برای پیش‌بینی کلاس‌های بافت خاک و کسر اندازه ذرات خاک استفاده شد. دقت کلی و ضریب کاپا داده‌های اعتبارسنجی، مدل DT پیش‌بینی بهتری را برای هر دو کلاس کسر اندازه ذرات و بافت خاک ایجاد کرد و دقیق‌ترین مدل طبقه‌بندی کننده بود. هر دو مدل پیش‌بینی بهتری برای کلاس‌های بافت لومی-سیلتی و لومی-رسی داشتند.

گارسیا و همکاران[۴] (۲۰۲۳) به ارزیابی رفتار رواناب سطحی با استفاده از مدل SWAT در حوضه رودخانه Mixteco با استفاده از توزیع فضایی خاک از موسسه ملی آمار و جغرافیا و تکنیک DSM (نقشه‌برداری خاک دیجیتال) پرداختند. مدل‌سازی با INEGI مطابق با نقشه خاک‌شناسی سری Π در مقایس ۱:۲۵۰۰۰۰ و مدل‌سازی DSM از متغیرهای کمکی محیطی بدست آمد. در مرحله کالیبراسیون R2=0.88 و NSE=0.87 برای ModDSM و R2=0.85 و NSE=0.85 برای ModDSM بود. در دوره اعتبارسنجی، نتایج ModDSM R2=0.83 و NSE=0.81 بهتر از ModINEGI بود. تغییرات فضایی انواع خاک به دست آمده از روش DSM، در ترکیب با پوشش‌گیاهی و توزیع شیب‌هادر سطح حوضه، به مدل SWAT اجازه می‌دهد تا رفتار رواناب سطحی را به اندازه کافی شبیه‌سازی کند.

منطقی و همکاران (۲۰۲۴)، نقشه‌برداری دیجیتالی خاک برای انواع خاک با استفاده از رویکردهای یادگیری ماشینی در مقیاس چشم‌انداز در مناطق خشک ایران. هدف این پژوهش، مقایسه مدل‌های جنگل تصادفی(RF)، درخت رگرسیون تقویت شده (BRT) و

---

۱. Tabaras et al.

۳. واحدهای واکنش هیدرولوژیک

۳ . Bodenstein et al.

۴ . Garcia et al.

رگرسیون لجستیک چند جمله‌ای(MnLR) برای تهیه نقشه‌های پیش‌بینی سطوح بزرگ و زیرگروه خاک، ارزیابی کارایی اقلیمی خاک از شاخص‌های استخراج شده از تصاویر سنتینل ۲ و داده‌های راداری پاراسل در مدل‌سازی انواع مختلف توزیع طبقات نقشه خاک که از پارامترهای ژئومورفومتریک، شاخص‌های RS و ویژگی‌های تشخیص خاک(DSP) استفاده شد. نتایج نشان داد که افق زیر سطحی گچی، ارتفاع استاندارد شده، طول شیب و شاخص پوشش گیاهی(NDVI) نقش مهمی در پیش‌بینی طبقات خاک نسبت به سایر متغیرهای کمکی انتخاب شده داشتند.این یافته درک ما را از تغییرپذیری خاک در مناطق خشک را بهبود می‌بخشد و پیامدهای زیادی برای زمینه رو به رشد پدمتریک دارد.

قوامی و همکاران (۲۰۲۴)، به مطالعه برآورد تلفات خاک با استفاده از مدل راسل، به مقایسه داده‌های معمولی و دیجیتالی خاک در مقیاس حوضه‌های آبخیز ایران مرکزی پرداختند. این مطالعه با هدف پیش‌بینی تلفات خاک در حوضه آبخیز کوهستانی با استفاده ار مدل‌های بازنگری معادله جهانی تلفات خاک و نسبت تحویل رسوب و ارزیابی کارایی مدل راسل از طریق داده‌ای مشاهده شده در یک ایستگاه هیدرومتری انجام شد. دو سناریو برای محاسبه تغییرات فضایی ضریب k مورد بررسی قرار گرفت. سناریو اول شامل داده‌های خاک و سناریو دوم شامل ضریب k است که از ۱۰۰ سایت مورد مطالعه با تکنیک کریجینگ (بررسی دیجیتالی خاک) بدست آمد. و نتایج مدلسازی راسل نشان داد که بین سناریوی اول (۷/۹۷ تن در هکتار) و سناریوی دوم (۷/۹۳ تن در هکتار) برای پیش‌بینی تلفات خاک با مدل راسل تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. این یافته تایید می‌کند که مدل راسل با داده‌های محدود و قدیمی می‌تواند پیش‌بینی قابل اعتمادی ار هدر رفت خاک در حوضه آبخیز دهد.

بیفنگ هو و همکاران[1](۲۰۲۴)، به بررسی نقشه‌های پایه با وضوح خوب از مواد مغذی خاک در زمین‌های کشاورزی استان جیانگشی با استفاده از نقشه‌برداری دیجیتال خاک و یادگیری ماشینی قابل تفسیر پرداختند. الگوریتم نمونه‌برداری مجدد وزنی تطبیقی و هم ترکیب تصاویر سنجش از دور و همچنین عوامل مدیریت خاک نتوانستند به وضوح دقت پیش‌بینی TN، TP، TK را بهبود بخشند. شاخص خشکی(۴۶/۹۰)، میانگین تابش خورشیدی سالانه(۳۴/۹۴) و میانگین دمای سالانه(۲۶/۹۲) به ترتیب متغیر اولیه ویژه مکان برای نقشه‌برداری TN، TP، TK بیشترین نسبت منطقه مورد مطالعه است. نقشه‌های مواد مغذی خاک که تهیه شد می‌توانند به عنوان نقشه‌های پایه برای نظارت بر تغییرات مکانی-زمانی عناصر غذایی خاک عمل کنند، و نتایج ما می‌تواند پیامدهای ارزشمندی برای انجام اقدامات خاص‌تر و کارآمدتر برای مدیریت خاک ارائه دهد.

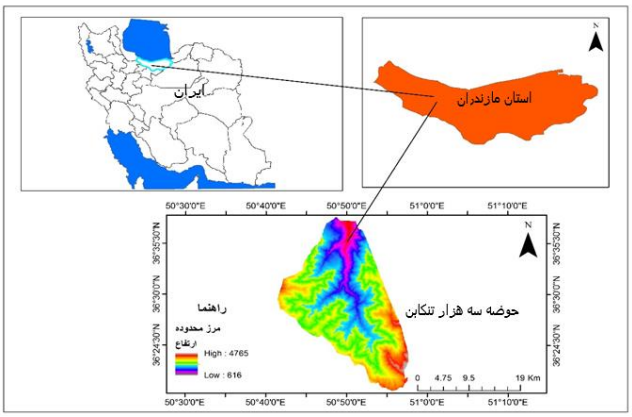
گلجا و همکاران[2] (۲۰۲۵)، به مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه رودخانه بهاراتاپوزا در جنوب هند با استفاده از مدل SWAT پرداختند. هدف این مطالعه اطمینان از رفاه نسل‌های آینده بر اساس منابع زمین و آب است. از مدل رقومی ارتفاع(DEM)، نقشه کاربری اراضی/پوشش گیاهی و نقشه خاک مورد استفاده قرار گرفت که منجر به ایجاد ۳۷ زیرحوضه و ۳۱۲ واحد واکنش هیدورلوژیکی(HRU) شد. از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ برای کالیبراسیون و مرحله اعتبارسنجی از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۳ بود. مقادیر NSE، PBIAS و RSR برای دوره کالیبراسیون به ترتیب ۰/۶،۱۰،۶، ۰/۶۲ بود، در حالی که برای دوره اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۵۴، ۱۳/۶، ۰/۶۸ بدست آمد. یافته‌های نشان می‌دهد که مدل SWAT برای تحقیقات آینده در حوضه مناسب است. هدف پژوهش حاضر تهیه نقشه خاک و پارامترهای مورد نیاز جهت استفاده در مدل هیدرولوژیکی SWAT در حوضه سه‌هزار شهرستان تنکابن است.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز سه‌هزار در شهرستان تنکابن، جزو حوضه آبریز دریای خزر بوده و از کوههای مرتفع البرز مرکزی سرچشمه می‌گیرد. این حوضــه یکی از پرباران ترین مناطق ایران و بخشــی از جنگل‌های بی‌نظیر هیرکانی اســت. جنگل‌های پهن برگ (هیرکانی) که قدمت آن‌ها به میلیون‌ها سال پیش می‌رسد و دارای تنوع زیستی ارزشمند و اکوسیستم‌های منحصربه فردی هستند و به عنوان میراث طبیعی جهانی یونسکو به رسمیت شناخته شده است. حوضه مورد تحقیق با مختصات جغرافیایی "۲۱' ۳۳ °۳۶ عرض شمالی و "۸۸

1. Beifang Hu et al
2. Gulja et al.

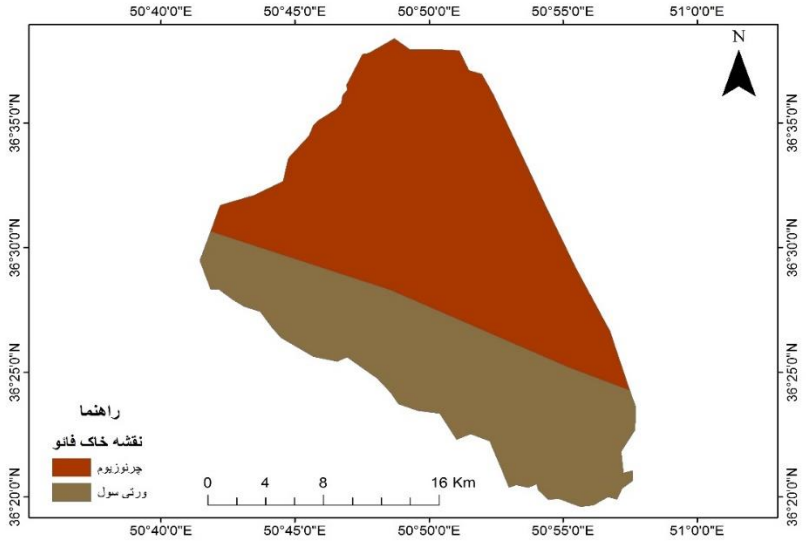
' ۹۴ °۵۰ طول " ۶۳'۲۱ °۳۶ عرض شمالی و "۷۰ '۸۳ °۵۰ طول شرقی قرار دارد (شکل، ۱). حوضه آبریز سه‌هزار با وسعت ۴۶۲ کیلومترمربع از ارتفاعات تخت سلیمان سرچشمه گرفته و پس از پیوستن به رودخانه دوهزار و تشکیل رودخانه چشمه‌کیله به دریای خزر می‌ریزد. بلندترین نقطه حو ضه مورد تحقیق با بیش از ۴۶۵۰ متر در خط الراس م شترک با حو ضه آبریز کلارد شت قرار دارد و طول رودخانه ۸۰ کیلومتر ا ست. اختلاف چ شمگیر در سطوح ارتفاعی حو ضه باعث تنوع محیط‌های ژئومورفیک- اکولوژیک شده به طوری که بخش‌های پایین رود در قلمرو جنگل‌های مرطوب خزری واقع است. در حالی که بخش‌های وسیعی از سطح ارتفاعی ۲۵۰۰ متر به بالا در قلمروهای شکل‌زایی مجاور یخچالی و یخچالی قرار می‌گیرد. توپوگرافی یخچالی شامل: سیرک‌ها، دره‌های یخچالی، پرتگاه‌های پرشیب و ستیغ‌ها و مورن‌های یخچالی بوده از مرتفع‌ترین سطوح حوضه تا ارتفاع ۳۵۳۸ متری گسترش دارند. این مجموعه که جزو یخچال‌های نیمه فعال علم کوه و تخت سلیمان محسوب می‌گردد، تنها یخچال‌های کلاسیک ایران است که به اعتقاد بسیاری از کارشناسان تحت تاثیر گرم شدن جهانی با سرعت فزاینده تحلیل می‌روند (یمانی، ۱۳۸۸).



شکل ۱. نقشه حوضه مورد مطالعه

مواد و روش

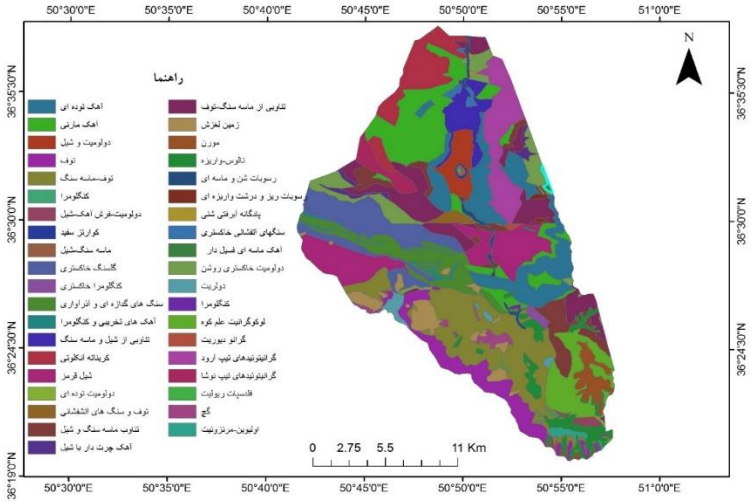
این پژوهش به منظور تکمیل پارامترهای خاک و نقشه خاک جهت ا ستفاده در مدل SWAT، در حو ضه سه‌هزار شهر ستان تنکابن انجام شد. منطقه مورد نظر فاقد اطلاعات و پارامترهای خاک مورد نیاز جهت استفاده در مدل SWAT بود. ابتدا نقشه خاک از پایگاه داده از وب‌سایت رسمی FAO به آدرس www.fao.org دانلود شدند در مجموع ۲ نوع خاک (خاک چرنوزیوم و ورتی سول) برای منطقه مورد مطالعه ا ستخراج شد. در حالیکه به تنوع خاکی و پارامترهای بیشتری برای بهبود دقت مدل SWAT، نیاز ا ست (شکل، ۲). از آنجایی‌که، نق شه ا ستخراج شده از نق شه جهانی خاک (FAO) دقت لازم برای ا ستفاده در مدل SWAT را ندا شت، از نق شه زمین‌شناسی استان مازندران که از اداره کل منابع طبیعی نوشهر دریافت کردیم، نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه تهیه گردید (شکل،۳). سپس از نقشه رقومی ارتفاعی (DEM) ۱۲ متر نقشه شیب منطقه مطالعاتی تهیه گردید. از نقشه شیب جهت شناسایی مناطق مستعد فرسایش خاک و تحلیل آن و همچنین تعیین نوع خاک و ویژگی‌های تاثیرگذار آن کمک گرفتیم (شکل، ۴). با تحلیل نقشه زمین‌شناسی و نقشه شیب، ارتفاع، نوع سنگ، پوشش گیاهی،چینه‌شناسی و سازند، اقلیم منطقه و مقدار بارش توانسیتم فاکتورهای خاک مورد نیاز را استخراج کنیم (جدول ، ۱). سپس از مقادیر داده‌های خاک حوضه کناری (سردآبرود) برای صحت‌سنجی استفاده کردیم. همچنین از نرم‌افزار EXCEL به طبقه‌بندی برخی داده‌ها و با استفاده از نرم‌افزار GIS به ساخت و تولید نقشه‌ها پرداختیم.



شکل۲. نقشه خاک منطقه مورد مطالعه استخراج شده از نقشه جهانی خاک(FAO)(نگارندگان،۱۴۰۳)

جدول(۱): اطلاعات زمین‌شناسی استخراج شده جهت تهیه نقشه خاک منطقه مورد مطالعه

دوران	دوره	سازند	جنس سنگ
اول	کامپرین	میلا	تناوبی از دولومیت، سنگ فورش آهکی، سنگ آهک و ماسه و شیل
چهارم	کواترنر	نهشته‌های یخچالی	مورن
سوم	ائوسن میانی و فوقانی	کرج	توف و جریانات لاوایی
سوم	میوسن	آذرین نفوذی	گرانیتوئیدهای تیپ آرود
اول	پرمین	درود	تناوب ماسه سنگی و شیل با میان لایه آهک‌های ماسه‌ای قرمز



شکل(۳): نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (منبع نگارندگان،۱۴۰۳)

رابطه اطلاعات زمین‌شناسی جهت تهیه پارامترها و نقشه خاک

در این مطالعه، از رابطه PH خاک سطحی و رابطه نوع خاک با آلبدو (جدول ۲)، با عوامل مختلف، مانند نوع سنگ بستر، سطح بارش، نوع پوشش گیاهی(جنگل پهن‌برگ و سوزنی برگ) و فعالیت‌های انسانی(کشاورزی و کود دهی) محاسبه گردیده است (جدول۳). با توجه به نوع خاک و فرسایش، مقدار جذب آب را پیش‌بینی و بر اساس آن مقدار شن و ماسه، گل-لای و لوم را بدست آوردیم. در ضمن بر اساس درجه شیب و نوع پوشش‌گیاهی (کوهستان،مرتع، جنگل و فاقد پوشش‌گیاهی)، ویژگیهای خاکها شناسایی شدند (جدول ۴). در ضمن از رابطه زیر برای و از روی داده‌های زمین شناسی و شیب جهت تعین خاک حوضهمورد تحقیق استفاده شد.

رابطه ۱: **TOPSOIL=f (Rock Type+ Precipitation+ Vegetation)**

جدول (۲): مقدار آلبدو برای انواع خاک(اوکی تی.آر[1]،۱۹۸۷)

نوع خاک	مقدار آلبدو (ALB)
خاک مرطوب و تیره	۰,۰۵ – ۰,۱۵
خاک غنی از هوموس	۰,۱۰ – ۰,۲۰
خاک لومی	۰,۱۵ – ۰,۲۵
خاک شنی	۰,۲۰ – ۰,۳۵
خاک آهکی (رنگ روشن)	۰,۳۰ – ۰,۵۰
خاک بیابانی خشک	۰,۳۵ – ۰,۵۰
خاک با پوسته نمکی	۰,۴۰ – ۰,۶۰

جدول (۳): رابطه PH خاک سطحی با عوامل مختلف (منبع نگارندگان،۱۴۰۳)

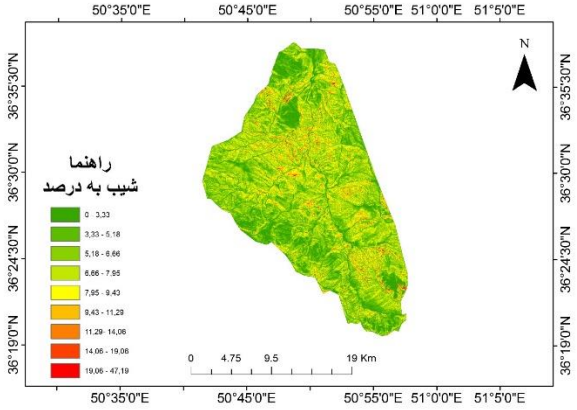
نوع سنگ	میانگین PH سنگ بستر	بارش زیاد	بارش کم	جنگل پهن-برگ	جنگل سوزنی‌برگ	کشاورزی (بدون کوددهی)	کشاورزی (کوددهی)	لقاح (اسیدی)
سنگ آهک	۷,۵	-۰,۵	۰,۲	-۰,۳	-۰,۸	-۰,۲	۱,۰	-۱,۰
گرانیت	۵,۵	-۱,۰	۰	-۰,۵	-۱,۲	-۰,۳	۰,۸	-۱,۲
شیست	۶,۰	-۰,۸	۰,۱	-۰,۴	-۱,۰	-۰,۲	۰,۷	-۱,۱
بازالت	۶,۰	-۰,۶	۰,۲	-۰,۳	-۰,۹	-۰,۲	۰,۹	-۱,۰
ماسه سنگ	۶,۰	-۰,۷	۰	-۰,۴	-۱,۱	-۰,۳	۰,۶	-۱,۳

جدول (۴): پارامترهای مورد استفاده جهت استخراج داده‌های خاک(منبع نگارندگان،۱۴۰۳)

پارامتر		
نوع سنگ	تیره	بر اساس رنگ سنگ تیره یا روشن بودن، سنگ‌های تیره دارای هومس بیشتر و آلبدوی آن پایین‌تر و سنگ‌های روشن مانند آهک دارای آلبدو بیشتر است
	روشن	
عمق خاک		در مناطق با شیب و ارتفاع زیاد و اقلیم سرد عمق خاک حدود ۲سانتی‌متر و در مناطق با شیب و ارتفاع متوسط و دمای متوسط عمق خاک حدود ۲۰ تا۳۰ سانتی‌متر و شیب

[1] . Oke T.R

	کم و پوشش‌گیاهی غنی(مناطق جنگلی) و دمای متوسط زیاد عمق خاک ۵۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر می‌تواند باشد.
هدایت الکتریکی	در سنگ‌های آهکی و نمک‌دار دارای هدایت الکتریکی بالا هستند و در سنگ گرانیت اگر فرسایش زیاد باشد، هدایت الکتریکی پایین است.
ظرفیت آب قابل دسترس	ظرفیت آب قابل دسترس به آبی که در خاک ذخیره می‌شود، نوع دانه‌بندی و مقدار هوموس آن بستگی دارد، در خاک با دانه‌بندی ریز و هوموس زیاد مقدار جذب آب بیشتر و در دانه‌بندی درشت مقدار جذب آب کاهش می‌یابد.
جرم حجمی خاک	جرم حجمی خاک بستگی به دانه‌بندی خاک دارد، هر چه دانه‌بندی کوچک‌تر باشد جرم حجمی بیشتری دارد، قلوه سنگ جرم حجمی کمتری و شن و ماسه کمترین و رس بیشترین جرم حجمی خاک را دارند
شن، ماسه، سیلت	مقدار شن و ماسه، خاک رس و گل و لای بستگی به مقدار بارش و پوشش‌گیاهی دارد(گل و لای و خاک رس مقدارش افزایش می‌یابد).



شکل (۴): نقشه شیب منطقه مورد مطالعه (منبع نگارندگان، ۱۴۰۳)

یافته‌ها

در این پژوهش ۱۰ پارامتر خاک بر اساس داده‌های زمین‌شناسی منطقه استخراج شد و نتایج حاصل از این محاسبات در (جدول ۵) نشان داده شده است. در نهایت ۵ تیپ یا نوع خاک برای تهیه نقشه خاک برای استفاده در مدل SWAT حاصل شد (شکل ۵). تیپ خاکهای حوضه شامل: ۱- خاک لیتوسول (Letosoil): نوعی خاک است که معمولا در مناطق کوهستانی یافت می‌شود و عمق آن کم و ظرفیت نگهداری آب آن نسبت به سایر خاک‌ها کمتر است و فقیر از مواد مغذی هستند. البته این خاکها در حوضه مورد تحقیق ترکیبی از خرده ریزه‌های سنگی عمدتا در حد گراول، ماسه درشت و ریز و رس هستند و در پای شیبهای تند گسترش محدودی دارند. ۲- خاک ورتی سول(Vertisoil) :دارای بافت رسی و چسبنده هستند که به آنها ظرفیت بالای نگهداری آب می‌دهد. معمولا غنی از مواد مغذی هستند و می‌توانند برای کشاورزی مفید باشند. ۳-خاک مولی سویل(Molisoil) خاکهای ریز دانه و نرم در مناطق با اقلیم‌های معتدل و مرطوب یافت می‌شود، دارای عمق متوسط تا زیاد هستند و غنی از مواد مغذی هستند و برای کشاورزی مناسب می‌باشند و شرایط مناسبی برای رشد گیاهان فراهم می‌کنند. ۴-خاک شبه چرنوزیوم(Chernozeum) یا همان خاکهای سیاه که بسیار حاصلخیز و سرشار از مواد آلی است. این نوع خاکها عمدتا در مناطق استپی و علف‌زارها به ویژه در نواحی سرد و معتدل یافت می‌شود. در حوضه مورد تحقیق خاکهای تیره متمایل به سیاه(شبه چرنوزیوم) در بخش‌هایی که شیب ملایم و جنگلها متراکم و عمدتا پهن‌برگ

هستند، گسترش زیادی دارند. بافت این خاکها لومی، دارای رنگ تیره، مناسب برای کشاورزی هستند. ۵- خاک شبه پودزول مرطوب (Podzol) معمولا در مناطق سرد و مرطوب، بویژه در جنگل‌های مخروطی و مناطق شمالی تشکیل می‌شود، این خاک‌ها به دلیل بارش زیاد، از مواد مغذی فقیر هستند و PH پایین‌تری دارند. این نوع خاک در ارتفاعات برفگیر با پوشش جنگلی کم تراکم مشاهده می شود که وسعت چندانی در حوضه مورد تحقیق ندارند.

شکل (۵): نقشه خاک استخراج شده حوضه مورد تحقیق از نقشه شیب و نقشه زمین‌شناسی (منبع: نگارندگان،۱۴۰۳)

جدول (۵): داده‌های خاک استخراج شده از نقشه زمین‌شناسی جهت استفاده در مدل SWAT (نگارندگان،۱۴۰۳)

نسبت آلبدو	سنگ در افق	ماسه	گل و لای در افق	رس در افق	هدایت الکتریکی اشباع	جرم حجمی خاک	ظرفیت آب قابل دسترس	عمق خاک	گروه هیدرولوژیکی خاک	تعداد لایه‌ها	نام خاک
۰,۱۷	۳۰	۵۰	۲۵	۲۵	۲۵	۱,۴	۰,۱۵	۱۰۰	B	۳	خاک ۱
۰,۲۵	۲۰	۳۰	۴۰	۳۰	۷	۱,۵۰	۰,۱۰	۸۰	C	۲	خاک ۲
۰,۲۰	۳۰	۲۰	۴۵	۳۵	۶	۱,۵۵	۰,۱۲	۸۰	C	۳	خاک ۳
۰,۲۲	۱۵	۴۵	۳۵	۲۵	۲۰	۱,۴۵	۰,۱۴	۱۰۰	C	۳	خاک ۴
۰,۲۵	۲۰	۵۰	۲۵	۱۷	۸	۱,۴۰	۰,۱۵	۱۲۰	B	۲	خاک ۵

صحت سنجی نقشه خاک و پارامترهای آن

در این پژوهش، برای ارزیابی صحت داده‌های خاک استخراج شده از نقشه زمین‌شناسی برای استفاده در مدل هیدرولوژیکی SWAT ، از جدول اطلاعات خاک حوضه آبخیز سردآبرود در شهرستان کلاردشت که دردسترس بودند، و دارای خصوصیات مشابه مانند توپوگرافی، پوشش‌گیاهی،اقلیم، مقدار و نوع رژیم بارش است. که هر دو حوضه جز ارتفاعات علم‌کوه از البرز مرکزی هستند، برای صحت‌سنجی این پژوهش استفاده گردیده است (جدول ۶).

جدول(۶): داده‌ای خاک حوضه سردآبرود جهت صحت‌سنجی(منبع:نگارندگان، ۱۴۰۳)

نسبت آلبدو	سنگ در افق	شن و ماسه در افق	گل و لای در افق	رس در افق	مواد آلی خاک	هدایت الکتریکی اشباع	ظرفیت آب قابل دسترس	عمق خاک	لایه‌ها	نام خاک
۰,۰۱	۱۰	۵۰	۴۲	۸	۱۴,۳۶	۱,۵۷	۰,۴	۳۹	۲	خاک ۱
۰,۰۱	۱۵	۲۰	۳۱	۱۸	۳,۲۱	۰	۰,۵	۵۰	۱	خاک ۲
۰,۰۱	۱۵	۳۹	۳۸	۲۳	۳,۹۳	۰,۷۱	۰,۶	۶۹	۳	خاک ۳
۰,۰۱	۲۵	۵۴	۲۵	۲۱	۶,۸	۱,۲	۰,۷	۸۰	۳	خاک ۴
۰,۰۱	۱۰	۳۰	۴۶	۲۴	۵,۳	۰	۰,۷	۹۰	۲	خاک ۵
۰,۰۱	۱۰	۱۷	۵۵	۲۸	۵,۶۲	۲,۲۸	۰,۸	۱۰۰	۴	خاک ۶

گردآوری اطلاعات و داده‌ها مشکل پژوهش‌گران و برنامه‌ریزان در علوم زمین بوده است. که جهت برنامه‌ریزی دقیق‌تر نیازمند داشتن اطلاعات مربوط به آن کار است. برای رفع مشکل نیاز به نقشه‌سازی و علم سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد.
نقشه زمین‌شناسی به عنوان مبنایی برای طبقه‌بندی خاک و استخراج داده‌های خاک جهت مدلسازی در SWAT استفاده گردید. نقشه‌های زمین‌شناسی بینش‌هایی از مواد اولیه تشکیل دهنده خاک و پارامترهای کلیدی خاک به ما ارائه دادند. و علم سنجش‌از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در ترکیب با داده‌های زمین‌شناسی، شناسایی تنوع خاک را تسهیل کرد. این منابع داده در مدل‌سازی هیدرولوژیکی (SWAT)، می‌تواند دقت مدل را به طور قابل توجهی افزایش دهد. که نشان دهنده این است، که استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی دستاوردی موثر در پایش مطالعات خاک است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

حوضه مورد تحقیق با مختصات جغرافیایی "۲۱' ۳۳ °۳۶ عرض شمالی و "۸۸ ' ۹۴ °۵۰ طول " ۶۳'۲۱ °۳۶ عرض شمالی و "۷۰ '۸۳ °۵۰ طول شرقی قرار دارد. حوضه آبریز سه‌هزار با وسعت ۴۶۲ کیلومترمربع از ارتفاعات تخت سلیمان سرچشمه گرفته و پس از پیوستن به رودخانه دوهزار و تشکیل رودخانه چشمه‌کیله به دریای خزر می‌ریزد.
نقشه‌برداری سنتی خاک برای بسیاری از مناطق برای پشتیبانی از مدل SWAT ، بیش از حد بزرگ است. یکی از فاکتورهای مهم در راه اندازی مدل SWAT تهیه نقشه خاک و پارامترهای خاک منطقه است که نقش مهمی در ارزیابی فرآیند چرخه هیدرولوژیکی دارد. نتایج نشان داد که استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و داده‌های سنجش از دور یک رویکرد عملی برای تکمیل پارامترهای خاک ارائه می‌دهد. این روش ضمن کاهش هزینه و زمان، داده‌های با کیفیت بالا برای پارامترسازی مدل می‌تواند ابزار ارزشمندی برای بهبود فرآیندهای کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل هیدرولوژیکی در مناطق فاقد داده باشد. در ضمن امکان تعیین کمیت دقیق‌تری از شارهای آب و مواد مغذی را فراهم می‌کند. تحقیقات آتی باید بر توسعه توابع انتقال اقتباس شده به صورت منطقه‌ای تمرکز کند تا کیفیت پیش‌بینی چنین رویکردهای یکپارچه‌ای را افزایش دهد. در این تحقیق، ۱۰ فاکتور خاک مورد نیاز برای استفاده در مدل SWAT، شامل: تعداد لایه‌ها، عمق خاک، ضخامت افق، جرم حجمی، ظرفیت آب قابل دسترس، هدایت الکتریکی اشباع، مواد آلی خاک، رس، سیلت، ماسه، سنگ در افق، نسبت آلبدو استخراج گردید. در نهایت طبق نتایج تحقیق، ۵ تیپ یا نوع خاک برای تهیه نقشه خاک برای استفاده در مدل SWAT حاصل شد که این ۵ تیپ شامل: خاک لیتوسویل، خاک ورتی سویل،خاک مولی سویل، خاک شبه چرنوزیوم و خاکهای پودزول مرطوب می باشند(شکل ۵) .نتایج صحت‌سنجی تحقیق حاضر نشان داد که استفاده از روش

فوق جهت سهولت در تهیه نقشه خاک و برآورد مقادیر داده‌های خاک دقت قابل قبولی دارد. لذا در مناطق فاقد داده‌های خاک و در مطالعاتی که محدودیت زمانی وجود دارد، روش تهیه داده‌های خاک، روش مناسب می‌باشد. نقشه‌های زمین شناسی اطلاعات ارزشمندی برای برآورد پارامترهای خاک ارائه می‌دهند. این رویکرد می‌تواند به بهبود دقت مدل‌های هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب در مناطق با داده‌های محدود یا فاقد داده‌ها خاک کمک کند. با توجه به اهمیت نقشه‌های خاک در شناسایی رفتار آب پیشنهاد می‌شود در این منطقه مطالعات پایه‌ای از طریق بازدید میدانی و نمونه‌گیری پروفیل خاک و با بهره‌گیری از نرم افزارهای متناسب در مورد تهیه نقشه جهت مطالعات آتی در زمینه مدل‌سازی هیدرولوژیکی و رفتار آب بدست بعمل آید.

منابع و مأخذ

احمدی‌ثانی، ن، بابایی کفاکی، س.(۱۳۹۶). تهیه نقشه پارامترهای خاک در مطالعات علوم محیطی بر اساس اصول ژئوپدولوژیکی با کاربرد سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده، سال هشتم، ۱(۲۷): ۵۵-۶۷ .

امیدوار، ا، کاویان ع، سلیمانی ک، مشاری، س.(۱۳۹۴). بررسی قابلیت استقاده از نقشه واحدهای خاک به منظور برآورد تغییرات مکانی فاکتور فرسایش پذیری خاک، مجله مهندسی بیابان، سال چهارم، ۹: ۹۵-۱۰۷.10.22052/DEEJ.2016.113630

باقری بداغ‌آبادی، م، صالحی، م، اسفندیاری بروجن، ع، محمدی، ج، کریمی کاروبه، ع، تومانیان، ن.(۱۳۹۱). ارزیابی و بررسی تعمیم پذیری مدل استنباطی خاک سرزمین(SOLIM) در نقشه برداری رقومی خاک با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و مشتقات آن، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی،علوم آب و خاک، ۱۶(۶۱): ۱۵۵-۱۶۶.http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-2436-fa.html

تقی‌زاده مهرجردی، ر، سرمدیان ف، امید م، ثواقبی، غ، تومانیان، ن، روستا، م، رحیمیان م.(۱۳۹۲). مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم در تهیه نقشه رقومی خاک در منطقه اردکان، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۴، ۲(۲): ۱۷۳-۱۸۲.

جعفری، ا، خالقی م، فرپور م. ه. (۱۳۹۷). نقشه‌برداری رقومی خاک به کمک اطلاعات میراثی:پژوهش موردی منطقه فاریاب کرمان، مهندسی زراعی(مجله علمی کشاورزی)، ۴۱(۴): ۳۱-۴۸. 10.22055/AGEN.2018.26477.1439

جمشیدی، م، دلاور، م، تقی‌زاده مهرجردی، ر، برانگارد، ک. ۱۳۹۸. ارزیابی تعمیم‌پذیری مدل جنگل تصادفی برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک در سطح زیر گروه، مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد۹، ۱: ۶۴- ۴۵.10.22069/EJSMS.2019.15779.1847

شهریاری، ا، دلبری، م، افراسیاب، پ، پهلولن راد، م. ر.(۱۴۰۳). پیش‌بینی توزیع منطقه‌ای اجزاء بافت خاک دشت سیلابی سیستان با استفاده از روش جنگل تصادفی، ۱۴(۴) ۵۶-۴۵.

عابدینی، م ، بلواسی، ا، نظافت تلکه، ب.(۱۴۰۳)، مقایسه مدل‌های ام پسیاک، ای پی‌ام و بی ال‌ام جهت ارزیابی فرسایش خاک با استفاده از ضریب آماری کاپا. فضای جغرافیایی. ۲۴(۸۷) ۲۱۵-۱ http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-۳۹۳۷-fa.html

عابدینی؛ م، پاسبان؛ ا . م ، حسن زاده، ن. (۱۴۰۳). بررسی میزان فرسایش خاک و ارتباط آن با شاخص‌های ژئومورفیک و پوشش گیاهی در حوضهٔ آبخیز کوزه‌توپراقی، استان اردبیل. جغرافیا و توسعه. ۲۲(۷۷) ۸۰ -۵۵. 10.22111/GDIJ.2024.8682

علیخانی، ز، سرمدیان ف، موسوی ر. (۱۳۹۳). مقایسه دقت نقشه خاک تهیه شده به روش ژئوپدولوژی و روش معمول ایران(مطالعه موردی:کوهن). نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران. ۶(۱) ۹۳-۱۰۲.https://doi.org/10.22059/jrwm.2014.50831

فرجنیا، ا، یاراحمدی، ج. (۱۳۹۴). بررسی کارایی روش ژئوپدولوژی در تهیه نقشه خاک و مقایسه آن با روش فیزیوگرافی، پژوهش-های ژئومورفولوژی کمی، ۴(۲) ۱۶۶-۱۵۴.20.1001.1.22519424.1394.4.2.11.6

لطف الهی، ل، دلاور م.ا، جمشیدی م. (۱۳۹۹). معرفی روش‌های مختلف نمونه‌برداری در مطالعات نقشه برداری رقومی خاک، نشریه تحقیقات کاربری خاک، ۳ (۸)۲۰۱۹-۲۰۲

مخدوم، م، درویش‌صفت، ع، جعفرزاده، ه، مخدوم، ع.(۱۳۹۲). ارزیابی و برنامه‌ریزی محیط‌زیست با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی(GIS)، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هفتم. ۳۰۴ صفحه.

Bifeng H. Geng Y, Shi K, Xie M, Ni H, Zhu Q, Qiu Y, Zhang Y, Bourennane H. (2024). Fine-resolution baseline maps of soil nutrients in farmland of Jiangxi Province using digital soil mapping and interpretable machine learning. CATENA. Volume 249.108635.https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108635

Bodenstein D, Clarke C, Watson A, Miller J, van der Westhuizen S, Rozanov A.(2022). Evaluation of global and continental scale soil maps for southern Africa using selected soil properties. CATENA. Volume 216. 106381. https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106381

Bouma J. H. W. G. Booltink, P. A. Finke.(1996). Use of soil survey data for modeling solute transport in the vadose zone. Journal of Environmental Quality. 25:519-529. https://doi.org/10.2134/jeq1996.00472425002500030017x

Colín-García G. Palacios-Vélez E. López-Pérez A. (2023). Hydrological modeling with the SWAT model using different spatial distributions of soil type in the Mixteco River Bsain.Terra latin American Magazine.10.28940.https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1566

Ghavami M. Ayoubi Sh , Khaleghpanah N, Mosaddeghi M.R. Gohari A.R .(2024). Soil loss estimation using RUSLE model: Comparison of conventional and digital soil data at watershed scale in central Iran. Soil and Tillage Research. Volume 244.106238.https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106238

Gulja S. Nair. D. Karunanidhi, T. Subramani. (2025). Hydrological modeling for the Bharathapuzha River basin of South India using SWAT model. Desalination and Water Treatment. Volume 321.100975.https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100975

Izydorczyk K.Piniewski M, Krauze K, Courseau L, Czyż P, Giełczewski M, Kardel A, Mar cinkowski P, Szuwart M, Zalewski M, Frątczak W. (2019). The ecohydrological approach, SWAT modelling, and multi-stakeholder engagement – A system solution to diffuse pollution in the Pilica basin, Poland. The ecohydrological approach, SWAT modelling, and multi-stakeholder engagement – A system solution to diffuse pollution in the Pilica basin, Poland. Volume 248. 109329.https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109329

Jawad Rasheed N. AlKhafaji M.S, Alwan I, Suwaiyan M.S, Haq Doost Z, Mundher Yaseen Z. (2024). Survey on the resolution and accuracy of input data validity for SWAT-based hydrological models. Heliyon. Volume 10. Issue 19. e38348. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38348

Taloor A. Khajuria V, Parsad G, Bandral Sh, MahajanS, Singh S, Sharma M, Kothyari G. (2025). Geospatial assessment of soil erosion in the Basantar and Devak watersheds of the NW Himalaya: A study utilizing USLE and RUSLE models. Geosystems and Geoenvironment. Volume 4. Issue 2.100355. https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2025.100355

Manteghi Sh. Moravej K, Mousavi S.R, Delavar M.A, Mastinu A.(2024). Digital soil mapping for soil types using machine learning approaches at the landscape scale in the arid regions of Iran, Advances in space research, 74:1-1-16.https://doi.org/10.1016/j.asr.2024.04.042

Sabbaghi M. Esfandiari M, Eftekhari K, Mohammadi Torkashvand A.(2024). Predictive map of soil texture classes using decision tree model and neural network with features of geomorphology level. Canadian Journal of soil science.104:1-72-90.https://doi.org/10.1139/cjss-2023-0011

Tabares D. Miguel A. Willaarts B. Alfonso A.(2020). Self-Organizing Map of soil properties in the context of hydrological modeling. Self-Organizing Map of soil properties in the context of hydrological modeling. Volume 88. 175-189.https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.06.044

Zeraatpisheh, M. Ayoubi Sh , Jafari A , Finke P.(2017). Comparing the efficiency of digital and conventional soil mapping to predict soil types in a semi-arid region in Iran. Geomorphology, 285: 186-204. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.02.015