Identifying Potential Rain-Water Harvesting Sites using Analytical Hierarchy Proces and GIS Approach
(Case study: Sudjan Catchment)

Isa Sadeghi [1], Reza Gazavi [2*]

[1] Department of Watershed Management Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Kashan, Iran
[2] Department of Watershed Management Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Kashan, Iran

Abstract
Today, soil infiltration decreased due to rainfall decreasing, high grazing of rangeland, and land use change. Consequently, the majority of rainfalls convert to unusable runoff. In this area, also rainfall patterns are unpredictable, both in terms of amount and time, but, rainfall could be sufficient to make rainwater recharging/harvesting as a reliable and economical source of water via integrated watershed management. Integrated watershed management requires a lot of inter-related information to be generated and studied in relation to each other. Remote sensing, geographical information system, and AHP techniques provide valuable and up-to-date spatial information on natural resources and physical terrain parameters. In this study, the potential rainwater harvesting site was identified using remote sensing, GIS and AHP techniques. To implement the decision rules, information layers were prepared by overlaying runoff coefficient, slope, drainage network, land use permeability, lithology and soil maps. Suitable sites for each rainwater harvesting/ recharge method are determined using Iranian reports standard for rainwater harvesting structure and international researches. According to results, suitable area for check dam construction, Faroe meter, combined Bankt and Pitting was 627, 253, 247 and 81 hectare (9.8%, 3.9%, 3.85, and 1.2%) respectively . As a result, the methods used in this study show the highest accuracy, preciseness, and ability in the larger basins than other methods.

Key words: Locating, Rainfall-Runoff Saving, GIS, AHP.

* ghazavi@kashanu.ac.ir

جغرافیـــا و برنامـــه‌ریـــزی محیطـــی
سال ۲۹، پیـاپی ۷۰، شـماره ۲، تابسـتان ۱۳۹۷

تعیین پتانسیل مکان‌های مناسب ذخیرهٔ بارش با استفاده از GIS و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

(مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبخیز سودجان)

عیسی صادقی سودجانی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
رضا قضاوی*، دانشیار دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

وصـول: ۱۳۹۴/۱۱/۱۴ پـذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۲۵، صص ۱۲-۱

چکیده

امروزه نفوذ آب به داخل خاک به علت کاهش بارش، چرای زیاد مراتع و کاربری اراضی کاهش یافته است؛ درنتیجه بیشتر بارش‌ها به رواناب تبدیل و از دسترس خارج می‌شود؛ همچنین در این مناطق الگوهای بارندگی در دو مقیاس زمان و مکان پیش‌بینی‌نشدنی هستند؛ اما بارش با بهره‌گیری از مدیریت یکپارچهٔ حوضهٔ آبخیز برای ذخیره و به‌دست‌آوردن منبعی مطمئن و اقتصادی استفاده می‌شود. مدیریت یکپارچهٔ حوضهٔ آبخیز نیازمند میزانی از اطلاعات است که با ایجاد و مطالعهٔ روابط هریک از مؤلفه‌ها به دست می‌آید. تکنیک‌های RS، AHP و GIS اطلاعات به‌روز و ارزشمندی از منابع طبیعی و مؤلفه‌های فیزیکی زمین به دست می‌دهد. در این مطالعه مکان‌های دارای پتانسیل دستیابی به بارش با بهره‌گیری از RS، GIS و AHP شناسایی شدند. برای تصمیم‌گیری از همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی نقشه‌های شبکهٔ زهکشی، پتانسیل تولید رواناب، شیب، کاربری اراضی، عمق خاک و بافت خاک استفاده شد. سایت‌های مناسب برای هریک از روش‌های تغذیه/دستیابی به بارش با استفاده از دستورکارهای ایران برای عملیات دستیابی به بارش و پژوهش‌های بین‌المللی تعیین شد. براساس نتایج، مناطق مناسب برای ساخت سدهای اصلاحی، ساخت کنتور فارو، بانکت و پیتینگ به ترتیب ۶۲۷، ۲۵۳، ۲۴۷ و ۸۱ هکتار (۹/۸، ۳/۹، ۳/۸ و ۱/۲ درصد از کل منطقه) را شامل می‌شوند. درنتیجه روش‌های به‌کاررفته در پژوهش حاضر نسبت به سایر روش‌ها، نشان‌دهندهٔ بیشترین دقت، صحت و توانایی در حوضه‌های بزرگ‌تر است.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی، ذخیرهٔ رواناب، سیستم اطلاعات جغرافیایی، AHP.

*نویسنده مسؤول: ghazavi@kashanu.ac.ir

مقدمه

امروزه تخلیهٔ آب‌های زیرزمینی و جایگزین‌نشدن آب این منابع، یکی از بزرگ‌ترین مشکلاتی است که جوامع بشری با آن روبه‌رو هستند. خشک‌شدن تعداد زیادی از قنات‌ها و چاه‌ها باعث شده است بخش زیادی از سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده از بین برود (ناصری و همکاران، ۱۳۸۸: ۹۸). یکی از مهم‌ترین نشانه‌های کمبود آب، خشک‌شدن رودخانه‌هاست که موجب شده است ساکنان انتهای سرشاخه‌های این رودخانه‌ها با کمبود شدید آب در تمام یا بخشی از سال مواجه شوند؛ پدیده‌ای که در حال حاضر در تعدادی از رودخانه‌های کشور ما نیز مشهود است (قضاوی و همکاران، ۲۰۱۰: ۲۷۸۲). تغذیهٔ مصنوعی آبخوان‌ها، یکی از روش‌هایی است که بخشی از آب خارج‌شده از سفره‌های آب زیرزمینی را جایگزین می‌کند (ناصری و همکاران، ۱۳۸۸: ۹۹) و سبب تقویت و توسعهٔ منابع آب می‌شود (قضاوی و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۶۵۳؛ بنی‌حبیب و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۳).

ذخیرهٔ رواناب در به حداقل رساندن هدررفت آب یا تقویت منابع آبی در سیستم‌های حوضهٔ آبخیز استفاده‌شده مؤثر است (Sekar and Randhir , 2007: 41). ذخیرهٔ بارش‌ها باعث قطع یا کاهش رواناب سطحی، کاهش فرسایش خاک، افزایش قابلیت نفوذپذیری خاک و نگهداری آب در خاک می‌شود و تغذیهٔ سفرهٔ آب زیرزمینی و بهبود پوشش گیاهی را به همراه دارد (قضاوی و همکاران، ۲۰۱۰: ۲۷۸۱). با توجه به کمبود آب در مناطق مختلف جهان و مشکلات ناشی از سیلاب‌ها، روش‌های متعددی برای تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی توسعه یافته‌اند؛ ازجمله روش تغذیهٔ مستقیم سطحی، مستقیم زیرسطحی یا تکنیک تغذیهٔ غیرمستقیم (Oakford, 1985: 354، کردوانی، ۱۳۷۰: ۲۱۰). روش تغذیهٔ مستقیم سطحی، یکی از کم‌هزینه‌ترین، ساده‌ترین و گسترده‌ترین تکنیک‌هایی است که برای تغذیهٔ مصنوعی آبخوان‌ها به کار گرفته می‌شود. تغذیهٔ مصنوعی، عملیات طراحی‌شدهٔ انسان برای انتقال آب از سطح زمین به داخل لایه‌های آبدار است. با عنایت به گستردگی سطح حوزه‌های آبخیز و هزینه‌های زیاد مورد نیاز برای اجرای طرح‌های ذخیرهٔ رواناب‌ها، نخستین مرحله در عملیات تغذیهٔ مصنوعی، مکان‌یابی مناطق مناسب به‌منظور اجرای این عملیات است (Aladenola, 2010: 2132). فناوری‌های نوین نظیر سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با برخورداری از امکانات و توانایی‌های بالقوه و قابلیت استفاده از منابع چندگانهٔ اطلاعاتی، تجزیه و تحلیل، تلفیق و بررسی داده‌های گوناگون این امکان را فراهم می‌کنند (اصغری پوردشت بزرگ و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۰۱).

عوامل مؤثر در مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیهٔ مصنوعی متعددند؛ ازجمله شاخص‌های اقلیمی، مرفومتریک، سیلاب، خاک و زمین ساختاری، اقتصادی و اجتماعی. بدیهی است استفاده از همهٔ شاخص‌های مؤثر در مدل‌های مکان‌یابی میسر نیست؛ از این رو عوامل یادشده با توجه به نکاتی از قبیل هدف، مقیاس کار و دقت قابل انتظار، شرایط منطقه، میزان تأثیرگذاری هر عامل و کافی و دردسترس‌بودن اطلاعات تعیین می‌شوند (حکمت‌پور و همکاران، ۱۳۸۶: ۶).

پیشینهٔ پژوهش

پژوهشگران زیادی با استفاده از مؤلفه‌های مختلف و قابلیت‌های GIS و سنجش از دور برای مکان‌یابی

محل‌های مناسب ذخیرهٔ رواناب‌ها اقدام کرده‌اند. حکمت‌پور و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از GIS و سامانهٔ پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS) و مؤلفه‌های شیب، نفوذپذیری سطحی، ضخامت آبرفت، توانایی انتقال آب در آبرفت و کیفیت برای مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیهٔ مصنوعی در دشت ورامین اقدام کرده‌اند.

ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۰) برای مکان‌یابی اجرای طرح‌های تغذیهٔ مصنوعی شهرستان شاهرود از فناوری GIS و مؤلفه‌های شیب، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه‌ها، بافت خاک، لیتولوژی و عمق سطح ایستابی استفاده کرده‌اند. در این مطالعه اطلاعات مربوط به این مؤلفه‌ها به روش AHP وزن‌دهی شده و با تلفیق و همپوشانی لایه‌ها، نقشهٔ پهنه‌های مناسب برای اجرای طرح‌های تغذیهٔ مصنوعی به دست آمده است. در این مطالعه مناسب‌ترین پهنه‌ها برای اجرای پروژه‌های تغذیهٔ مصنوعی براساس مؤلفه‌های اقتصادی نیز اولویت‌بندی شده است.

مهدوی و همکاران (۱۳۹۰) در دشت شهرکرد برای مکان‌یابی تغذیهٔ مصنوعی، عوامل مؤثر در مکان‌یابی شامل شیب، نفوذپذیری سطحی، ضخامت قسمت غیراشباع آبرفت، کیفیت شیمیایی آب، کاربری اراضی و شبکهٔ آبراهه‌ای را در نظر گرفته‌اند. در این مطالعه لایهٔ اطلاعاتی مربوط به هر مؤلفه براساس منطق فازی در نرم‌افزارهای Arc View 3.2a و Arc GIS 9.3 کلاسه‌بندی و وزن‌دهی و با عملگر حاصل‌ضرب جبری عملیات تلفیق شاخص‌ها انجام شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد ۴/۷۹ درصد از کل حوضه مناسب و ۱۷/۹۴ درصد نیز نسبتاً مناسب است.

راماکریشنان[1] و همکاران (۲۰۰۹) طی پژوهشی در حوزهٔ کالی در منطقهٔ گجرات هند، در یکی از مناطق خشک و نیمه‌خشک با به‌کارگیری تکنیک GIS، مؤلفه‌های مؤثر در ذخیرهٔ رواناب قابل دستیابی همچون نفوذپذیری، مساحت حوضهٔ آبخیز، شیب و رواناب مکان‌های مناسب برای ذخیرهٔ رواناب‌ها را شناسایی کردند. نتایج آنها نشان داد نفوذپذیری، مهم‌ترین عامل در افزایش ذخیره‌سازی آب است.

وینرار[2] و همکاران (۲۰۰۷) برای مکان‌یابی ذخیرهٔ رواناب با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در حوضهٔ آبریز پوتشینی در زیرحوضهٔ آبریز کوچکی در حوضهٔ رودخانهٔ توکلای آفریقای جنوبی از داده‌های خاک، کاربری اراضی، بارندگی و اطلاعات شیب استفاده کردند و نتیجه گرفتند ۱۷ درصد از حوضهٔ آبریز پوتاشی پتانسیل زیادی برای تولید رواناب سطحی و ذخیرهٔ رواناب دارد.

سینگ[3] و همکاران (۲۰۰۹) برای مکان‌یابی مناطق مناسب ذخیرهٔ رواناب در پنجاب هند از GIS و RS و نقشه‌هایی همچون نقشهٔ گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، نقشهٔ کاربری اراضی، نقشهٔ شیب و نقشهٔ DEM استفاده کردند. آنها به دلیل شیب زیاد و ضخامت کم خاک، مکان‌های مناسبی برای پخش سیلاب و حوضچه‌های ذخیرهٔ رواناب به دست نیاوردند و چهارده چک‌دم و شش مخزن نفوذ را پیشنهاد دادند.

آجی کمار[4] و همکاران (۲۰۱۲) در حوضهٔ کاراها واقع در قسمت آتشفشانی نیمه‌خشک استان دکن هند برای شناسایی مکان‌های مستعد به‌منظور ساخت

[1] Ramakrishnan
[2] Winnaar
[3] Singh
[4] Ajaykumar

سازه‌های کنترل بارش‌های جوّی شامل چک‌دم‌ها، گوراب‌ها، پخش سیلاب و سازه‌های حفاظت گالی و ذخیرهٔ رواناب از سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بهره بردند. آنها از لایه‌های پوشش زمین/کاربری اراضی، شیب، خاک، زهکشی، رواناب و دیگر داده‌ها استفاده و شمارهٔ منحنی (SCS-CN) را به‌وسیلهٔ اکستنشن Arc-CN runoff tool تهیه کردند. روش SCS-CN نشان داد پتانسیل رواناب زیاد به ترتیب مربوط به محیط‌های آبی، اراضی کشاورزی (اراضی دروشده)، بوته‌زارهای غیرمتراکم، بوته‌زارهای متراکم و به مقدار کم جنگل غیرمتراکم و جنگل متراکم است.

شارما[1] و همکاران (۲۰۱۲) در حوضه‌های روستایی کوچک واقع در حوضهٔ دریاچهٔ جایساماند در راجستان هند برای شناسایی مناطق دارای اولویت به‌منظور ذخیرهٔ رواناب از روش SCS-CN با کمک ابزار ArcCN-Runoff در GIS بهره بردند. آنها برای این کار، شیب به‌دست‌آمده از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) و شمارهٔ منحنی NRCS حوضه را برای تعیین پتانسیل رواناب به کار بردند و جانمایی سایت‌های بهینه را برای ذخیرهٔ رواناب براساس نقشهٔ رواناب بالقوه و همچنین عوامل اجتماعی و اقتصادی مانند فاصله تا اراضی و شهرک روستایی به دست آوردند. در این مطالعه براساس مدل‌سازی سیستم یکپارچهٔ GIS نقشه‌های مناسب برای سایت‌های بالقوهٔ ذخیرهٔ رواناب در حوضهٔ روستایی ارائه شد.

رولند[2] و همکاران (۲۰۱۲) در حوضه‌ای گرانیتی با شرایط آب‌وهوایی نیمه‌خشک به‌منظور شناسایی مناطق مناسب برای تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی با استفاده از GIS و RS سازه‌هایی مانند چک‌دم‌ها و حوضچه‌های نفوذ را بررسی کردند؛ همچنین از روش SCS-CN برای برآورد رواناب بهره بردند. در ادامه بعضی از سایت‌های برگزیده برای ساخت‌وساز مناسب سازه‌های ذخیره از طریق فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی را برای اثربخشی بیشتر بررسی و همه سایت‌های ذخیرهٔ مناسب و نامناسب را پیدا کردند. نتایج نشان داد قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی و کاربرد آن برای سازه‌های ذخیرهٔ رواناب در مناطق نیمه‌خشک بیشتر است.

سالیانه هزینهٔ زیادی برای اجرای طرح‌های آبخیزداری و ذخیرهٔ رواناب‌ها در حوضه‌های آبخیز کشور صرف می‌شود، ولی کمتر مطالعه‌ای دربارهٔ مدیریت یکپارچه و تعیین مناطق دارای اولویت برای اجرای طرح‌های ذخیرهٔ بارش صورت گرفته است. هدف از انجام این مطالعه، مکان‌یابی و اولویت‌بندی مناطق مناسب برای رواناب‌های حاصل از بارش‌های جوی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تهیهٔ نقشهٔ جامع کاربردی ذخیرهٔ بارش‌ها برای حوضهٔ آبخیز مطالعه‌شده است.

روش‌شناسی پژوهش

برای انجام این مطالعه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، بازدیدهای صحرایی و نقشه‌های موجود، مشخصات فیزیوگرافی، خاک‌شناسی و کاربری اراضی برای حوضه محاسبه و نقشه‌های مربوط با استفاده از تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی ترسیم شد. همهٔ مؤلفه‌های مورد نیاز در این روش‌ها با استفاده از نقشه‌های پایه و بازدیدهای صحرایی تهیه شد. در ادامه بهترین توزیع برای محاسبهٔ حداکثر بارش روزانه با

[1] Sharma
[2] Rolland

بهره‌گیری از نرم‌افزار samada6.0 بررسی و توزیع لوگ پیرسون نوع سوم انتخاب شد. کفایت داده‌ها با استفاده از فرمول ماکوس بررسی شد و درنهایت حداکثر بارش ۲۴ساعته با بهره‌گیری از بهترین توزیع و نرم‌افزار samada برای دورهٔ بازگشت مدنظر به دست آمد. به‌منظور تعیین عرصه‌های مناسب برای اجرای ذخیرهٔ بارش‌ها، روش‌هایی مختلف و مناسب شامل پخش سیلاب، کنتور فارو، پیتینگ، بانکت‌های ترکیبی و چک‌دم‌ها یا سدهای اصلاحی در نظر گرفته شدند. با بررسی منطقهٔ پژوهش و مرور منابع درنهایت ۵ عامل رواناب با دورهٔ بازگشت ۲۵ساله، بافت خاک، شیب، پوشش زمین و درجهٔ شبکهٔ آبراهه، عوامل اصلی تعیین‌کنندهٔ روش مناسب برای ذخیرهٔ رواناب‌ها، مشخص شدند و پس از وزن‌دهی به هریک از عوامل و مقایسهٔ آنها با شرایط مناسب برای اجرای هر روش براساس شرایط مستخرج از منابع و دستورکار اجرای طرح‌های آبخیزداری (۱۳۸۹)، مکان‌های مناسب اجرای هریک از این روش‌ها تعیین و درنهایت این مکان‌ها روی نقشه نشان داده شد.

محدودهٔ پژوهش

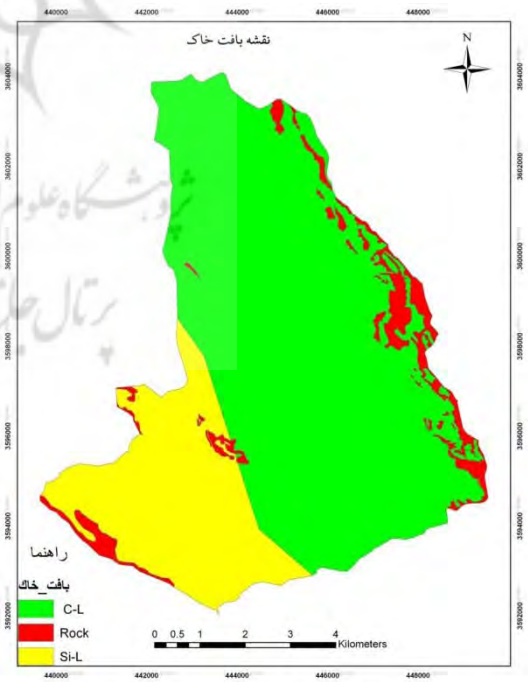
حوضهٔ آبخیز سودجان با مساحت ۶۳۳۶/۵ هکتار در قسمت شمالی استان چهارمحال و بختیاری و در بخش لاران واقع شده و یکی از زیرحوضه‌های رودخانهٔ زاینده‌رود است. میانگین بارش این حوضه ۴۸۷ میلیمتر در سال است. بیشترین ارتفاع حوضه در قسمت جنوب غرب با ارتفاع ۲۹۲۹ متر در ارتفاعات کوه چوبین و کمترین آن در قسمت خروجی حوضه که به رودخانهٔ زاینده‌رود منتهی می‌شود، با ارتفاع ۲۱۱۸ متر واقع شده است (شکل ۱). اقلیم این حوضه براساس طبقه‌بندی کوپن، معتدل سرد با تابستان‌های خشک و نیمه‌خشک است. رژیم بارندگی منطقه از نوع مدیترانه‌ای است و بیشتر بارش‌ها در ماه‌های آذر تا آخر فروردین‌ماه رخ می‌دهد. حداکثر مطلق دمای منطقه ۳۵/۸ و کمترین آن ۳۰/۶- درجه سانتی‌گراد و ارتفاعات منطقه در بیشتر طول سال پوشیده از برف است.

شکل ۱. موقعیت حوضهٔ آبخیز مطالعه‌شده در استان چهارمحال و بختیاری

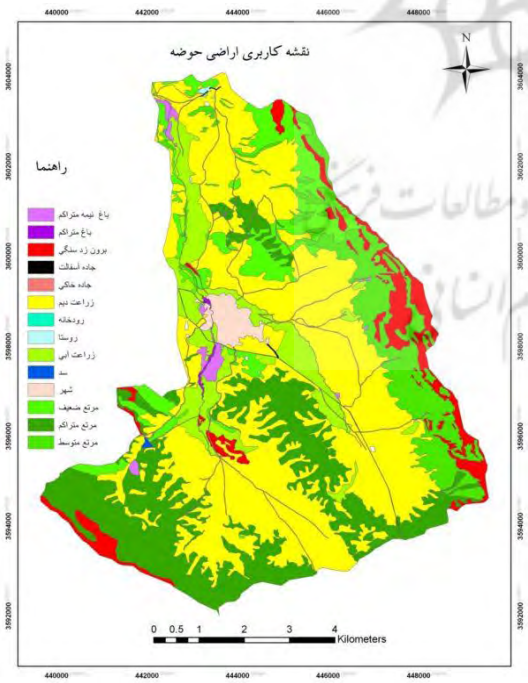
یافته‌های پژوهش

نقشهٔ کاربری اراضی با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و بازدید صحرایی (شکل ۲) و نقشهٔ خاک‌شناسی منطقه از ادارهٔ برنامه‌وبودجه استان چهارمحال و بختیاری تهیه شد (شکل ۳)؛ سپس نقشهٔ گروه‌های هیدرولوژی خاک با استفاده از رابطهٔ بافت خاک و نفوذپذیری تهیه شد. برای تهیهٔ نقشهٔ رواناب تولیدی حوضه با استفاده از ابزار Arc CN-Runof (Zhan et al, 2004)، میزان رواناب تولیدی برای حداکثر بارش ۲۴ساعته با دورهٔ برگشت مدنظر در شرایط رطوبتی متوسط AMCII اندازه‌گیری شد. این ابزار توانایی تولید نقشهٔ CN را با استفاده از لایهٔ کاربری اراضی و جدول CN و گروه‌های هیدرولوژیکی در شرایط رطوبتی نوع دوم دارد و میزان رواناب تولیدی را در هر پلیگون به دست می‌آورد (شکل ۴). نقشهٔ رتبه‌بندی شبکهٔ آبراهه‌ها با استفاده از نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه و سپس با استفاده از روش اشتراهلر رتبه‌بندی شد (شکل ۵). برای به‌دست‌آوردن نقشهٔ شیب حوضه، مدل رقومی زمین SRTM با دقت مکانی ۳۰ متر به کار رفت (شکل ۶).

پس از تهیهٔ نقشه‌های مورد نیاز از تلفیق نتایج حاصل از مطالعات انجام‌شده در نقاط مختلف جهان (Rolland et al, 2013؛ Ramakrishnan et al, 2009؛ Ajikomar et al, 2012) و دستورکار اجرایی فعالیت‌های آبخیزداری و مرتع‌داری (ضوابط و دستورکارهای فنی مرتع، ۱۳۸۷)، شرایط مناسب برای اجرای روش‌های ذخیرهٔ بارش‌ها تعیین (جدول ۱) و سپس برای مکان‌یابی از تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شد.



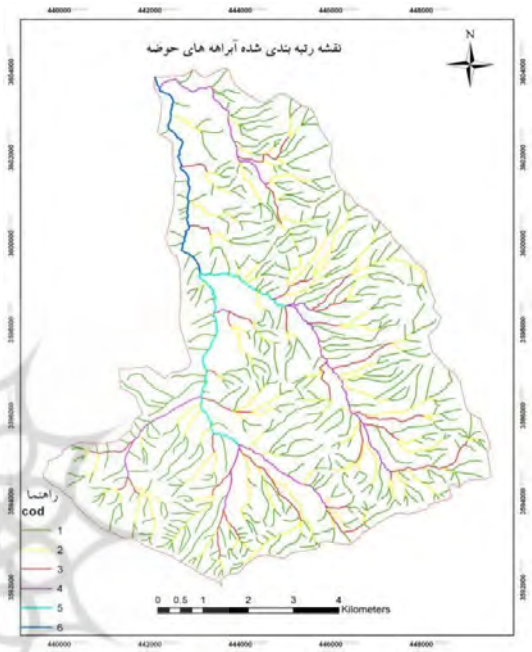
شکل ۲. نقشهٔ بافت خاک حوضه



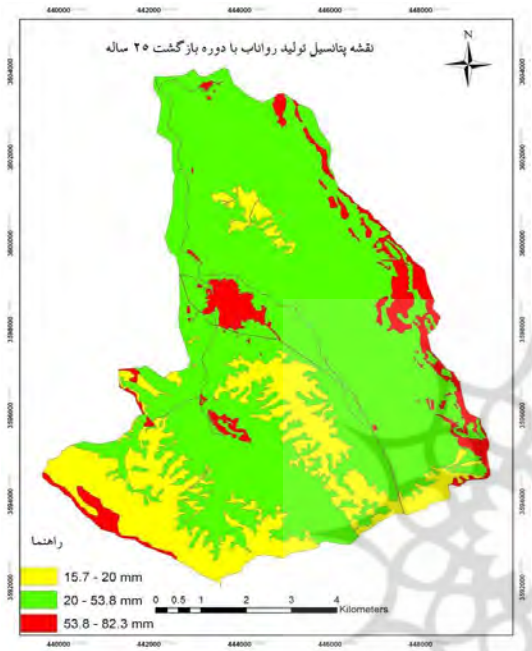
شکل ۳. نقشهٔ کاربری اراضی حوضه

جدول ۱. شرایط مناسب برای عملیات ذخیرهٔ بارش‌ها

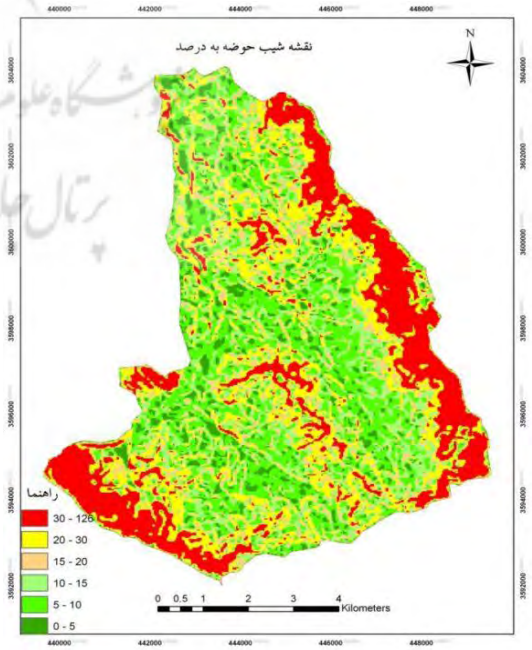
پتانسیل تولید رواناب	رتبهٔ آبراهه	بافت خاک	شیب٪	کاربری	عملیات مناسب ذخیرهٔ بارش‌ها
متوسط – کم	۱ تا ۲	بافت ریز و متوسط	۳ تا ۸	مراتع متوسط تا ضعیف	پیتینگ
متوسط	۱ تا ۲	بافت متوسط تا سنگین	۰ تا ۲۰	مراتع متوسط تا ضعیف	کنتور فارو
متوسط	۱ تا ۲	متوسط تا سبک	۲۰ تا ۳۰	مراتع متوسط تا ضعیف	بانکت ترکیبی
متوسط/ زیاد	۱ تا ۴	متوسط	۱۵<	تمام کاربری‌ها و بستر آبراهه‌ها	چک‌دم



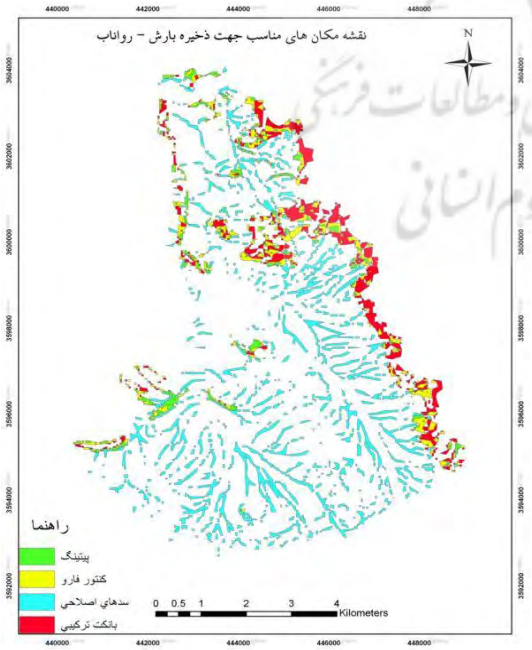
شکل ۴. نقشهٔ رتبه‌بندی آبراهه‌های حوضه



شکل ۵. نقشهٔ پتانسیل تولید رواناب با دورهٔ بازگشت ۲۵ساله



شکل ۶. نقشهٔ شیب حوضه به درصد



شکل ۷. نقشهٔ مکان‌های مناسب برای ذخیرهٔ بارش

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری است که در رأس آن هدف کلی مسئله و در سطوح بعدی معیارها و گزینه‌ها قرار دارند (فاضل‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۵). در این پژوهش برای هریک از روش‌های ذخیرهٔ رواناب، مراحل مندرج در زیر انجام شد و مکان‌های مناسب برای هریک از روش‌ها به دست آمد؛ سپس نقشه‌های مکان‌های مناسب برای هریک از روش‌ها با توجه به بیشترین اولویت جدا و در یک نقشه ارائه شد (شکل ۷).

مراحل انجام تحلیل سلسله‌مراتبی

تهیهٔ نقشه‌های فاکتور و طبقه‌بندی دوبارهٔ داده‌ها

در این پژوهش فاکتورهای شیب، شبکهٔ آبراهه، بافت خاک، پتانسیل تولید رواناب و کاربری اراضی به‌منظور مکان‌یابی عرصه‌های مناسب برای ذخیرهٔ رواناب استفاده شد؛ سپس هریک از نقشه‌ها با توجه به معیارهای مهم در هریک از روش‌های ذخیرهٔ بارش‌ها به چند کلاس طبقه‌بندی و با توجه به اهمیت هریک از کلاس‌ها ارزشی بین ۱ (بدترین ارزش) تا ۹ (بهترین ارزش) به آنها داده شد.

محاسبهٔ وزن معیارها با بهره‌گیری از روش مقایسهٔ زوجی

در این مرحله به‌منظور تعیین وزن جفت‌جفت سنجه‌ها، به هریک از لایه‌ها و سنجه‌های مدنظر با توجه به جدول (۲)، وزنی از ۱ تا ۹ داده شد تا به ترتیب اثرگذاری هر لایه و میزان تأثیر آن در مکان‌یابی مشخص شود (فاضل‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۵۴).

جدول ۲. مقیاس ۹ کمیتی پروفسور ساعتی برای مقایسهٔ دودویی معیارها

تعریف	میزان اهمیت
اهمیت برابر	۱
اهمیت برابر تا متوسط	۲
اهمیت متوسط	۳
اهمیت متوسط تا قوی	۴
اهمیت قوی	۵
اهمیت قوی تا بسیار قوی	۶
اهمیت بسیار قوی	۷
اهمیت بسیار قوی تا فوق‌العاده قوی	۸
اهمیت فوق‌العاده قوی	۹

سپس ماتریس دودویی برای هریک از روش‌ها و وزن معیارها و میزان ناسازگاری محاسبه شد. درنهایت با استفاده از ابزار Weighted Overlay در محیط نرم‌افزار ARC MAp، لایه‌ها با وزن‌های به‌دست‌آمده ادغام شد و مکان‌های مناسب برای هریک از روش‌های ذخیرهٔ بارش‌های آسمانی به دست آمد.

با توجه به نقشه‌های کاربری اراضی به‌دست‌آمده اراضی زیر کشت دیم با ۲۷۸۹/۹ هکتار معادل ۴۴ درصد از مساحت حوضه، بیشترین مساحت کاربری را در حوضه به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۱). اراضی با شیب ۱۰- ۵ درصد با مساحت ۱۳۲۲/۵ هکتار، ۲۰/۸ درصد مساحت حوضه و اراضی با شیب کمتر از ۲۰ درصد نیز با مساحت ۳۹۴۶ هکتار، ۶۲/۲ درصد از مساحت حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. این اراضی عموماً شامل اراضی دیم، کشاورزی آبی و شهر و روستاست. در قسمت‌هایی از حوضه نیز اراضی تا شیب‌های بیش از ۲۰ درصد و در بعضی از عرصه‌ها تا ۳۰ درصد کشت دیم شده‌اند. شیب‌های بیش از ۲۰ درصد با مساحت ۲۳۹۰/۵ هکتار،

۳۷/۷ درصد از مساحت حوضه را دربرمی‌گیرند که بیشتر شامل اراضی مرتعی و ارتفاعات‌اند.

با توجه به نقشهٔ خاک‌شناسی حوضه، خاک با بافت‌رسی لومی با مساحت ۴۴۶۲ هکتار، ۷۰/۴ درصد و خاک با بافت سیلتی لوم با مساحت ۱۴۹۱ هکتار، ۲۳/۵درصد از مساحت حوضه را تشکیل داده‌اند. این خاک‌ها با قابلیت تولید رواناب نسبتاً زیاد و در گروه هیدرولوژیکی C قرار می‌گیرند و عموماً برای اجرای عملیات‌های آبخیزداری مناسب‌اند. بقیهٔ حوضه نیز برون‌زد سنگی با مساحت ۳۸۳/۵ هکتار (۶ درصد از مساحت حوضه) دارد.

پس از کسر حریم‌ها، نقشهٔ عملیات اصلاحی با اعمال وزن معیارها براساس نتایج AHP و بدون اعمال وزن معیارها و با درنظرگرفتن وزن مساوی برای همهٔ معیارهای منطقه تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد با اعمال وزن معیارها، سدهای اصلاحی در مساحتی بیش از ۶۲۷ هکتار اجراشدنی‌اند و بیشترین درصد از مساحت حوضه را به خود اختصاص داده‌اند که امکان اجرای ذخیرهٔ نزولات را دارد (۹/۸ درصد). سپس کنتور فارو با ۲۵۳ هکتار (۳/۹ درصد)، بانکت ترکیبی با ۲۴۷ هکتار (۳/۸ درصد) و پیتینگ با ۸۱ هکتار (۱/۲ درصد) در ردیف‌های بعدی اجرای عملیات ذخیرهٔ رواناب قرار دارند که در کل ۱۲۰۸ هکتار معادل ۱۹ درصد از مساحت حوضه را دربرگرفته‌اند (جدول ۳) و (شکل ۶). بدون اعمال ضرایب حاصل از تحلیل سلسله‌مراتبی، مساحت اراضی مناسب برای هریک از عملیات اصلاحی ارائه‌شده تغییر می‌کند؛ به‌طوری که مناطق مستعد برای اجرای سدهای اصلاحی کاهش و درعوض مساحت مناسب برای اجرای کنتور فارو، بانکت و پیتینگ افزایش می‌یابد (جدول ۳).

جدول ۳. نوع عملیات ذخیرهٔ رواناب‌ها و مساحت آنها

نوع عملیات ذخیرهٔ بارش‌ها	با اعمال وزن معیارها براساس AHP		بدون اعمال وزن معیارها	
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد
سدهای اصلاحی	۶۲۷	۹/۸	۴۲۵	۶/۷
کنتور فارو	۲۵۳	۳/۹	۳۹۴	۶/۲
بانکت ترکیبی	۲۴۷	۳/۸	۲۶۸	۴/۲
پیتینگ	۸۱	۱/۲	۱۲۱	۱/۹

نتیجه‌گیری

برای آبیاری زمین‌های کشاورزی حوضهٔ سودجان از آب حاصل از چشمه‌ها، دو قنات فعال و یک سد خاکی استفاده می‌شود که نشان‌دهندهٔ متکی‌بودن بخش کشاورزی این حوضه بر آب‌های زیرزمینی و رواناب‌های ذخیره‌شده در سد خاکی است. اگرچه با توجه به شیب و ژئومورفولوژی خاص حوضهٔ آبخیز سودجان، امکان تغذیهٔ مصنوعی در همهٔ مناطق این حوضه وجود ندارد، اما با توجه به دمای کم منطقه، ماندگاری خوب برف، وجود رواناب‌های سطحی در طول سال و شرایط مناسب برای کنترل سیلاب می‌توان با استفاده از شیوه‌های مناسب آبخیزداری برای ذخیره‌سازی آب‌های سطحی در این حوضه اقدام کرد و درنتیجه با ذخیرهٔ بارش‌ها که بیشتر در فصل‌های پاییز و زمستان و اوایل فصل بهار رخ می‌دهد، بارش و رواناب را در پروفیل خاک ذخیره کرد تا در

فصل‌های مورد نیاز کشاورزان به‌وسیلهٔ چشمه‌ها و قنات‌ها تخلیه و از آنها استفاده شود.

با توجه به نتایج، بیشترین عرصه‌های مناسب برای اجرای عملیات ذخیرهٔ بارش در حوضه، در شیب‌های کمتر از ۲۰ درصد واقع شده است که کاربری این اراضی نیز بیشتر کشاورزی و از نوع اراضی دیم است. این کاربری‌ها اجرای عملیات ذخیرهٔ رواناب را در حوضه محدود می‌کند. این محدودیت‌ها به‌ویژه دربارهٔ عملیات پیتینگ و کنتور فارو مشخص‌تر می‌شود. دربارهٔ پیتینگ اگرچه اراضی با شیب کمتر از ۱۰ درصد، ۱۹۱۴/۶ هکتار (۳۰/۲ درصد) از مساحت حوضه را شامل می‌شوند، ولی براساس مجموع عوامل، فقط ۸۱ هکتار (معادل ۱/۲ درصد از مساحت حوضه) مستعد اجرای این‌گونه عملیات است. اراضی با شیب‌های کمتر از ۲۰ درصد و مستعد اجرای عملیات کنتور فارو نیز ۳۹۴۶ هکتار (۶۲/۲ درصد) از مساحت حوضه را شامل می‌شوند؛ ولی براساس مجموع عوامل تأثیرگذار در تعیین مناطق مستعد اجرای این نوع عملیات، فقط در ۲۵۳ هکتار معادل ۳/۹ درصد از مساحت حوضه این‌گونه عملیات ذخیرهٔ بارش‌ها اجراشدنی است. این نتایج نشان‌دهندهٔ وجود اراضی با محدودیت اجرایی در این مناطق است.

در بخش‌هایی نیز مناطق مستعد اجرای روش‌های ذخیرهٔ بارش‌ها تداخل دارند که نشان‌دهندهٔ وجود شرایط مساعد برای انجام این‌گونه عملیات به طور همزمان در آن مناطق است. عرصه‌های مستعد ذخیرهٔ بارش‌ها در مناطقی همپوشانی دارند که با درنظرگرفتن مناطق همپوشانی مساحت ۱۰۸۷ هکتار معادل ۱۷/۱ درصد از مساحت حوضه را دربرمی‌گیرند.

با توجه به مطالعات پیشین (ملکی و همکاران، ۱۳۸۸؛ رمضانی مهریان و همکاران، ۱۳۹۰) که با استفاده از سایر ویژگی‌ها اقدام به مکان‌یابی عرصه‌های مناسب تغذیهٔ مصنوعی با روش تحلیل سلسله‌مراتبی کرده بودند، پژوهش حاضر نشان داد روش تحلیل سلسله‌مراتبی توانایی زیادی در مکان‌یابی عرصه‌های مناسب ذخیرهٔ بارش‌ها به روش سطحی دارد.

منابع

ابراهیمی، فاطمه، کرمی، غلامحسین و حافظی مقدس، ناصر، (۱۳۹۰). **به‌کارگیری روش سلسله‌مراتبی تحلیلی (AHP) در مکان‌یابی تغذیهٔ مصنوعی در شهرستان شاهرود**، هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۱-۱.

اصغری پوردشت بزرگ، نظام، ثروتی، محمدرضا، عظیمی، فریده و ظاهری عبده‌وند، زینب، (۱۳۹۰). **مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب جهت تغذیهٔ مصنوعی در شمال اندیمشک**، فصلنامهٔ جغرافیایی سرزمین، دورهٔ ۸، شمارهٔ ۳۲، ۱۱۲ -۹۹.

بنی‌حبیب، محمدابراهیم، عابد علم‌دوست، ارمغان و نیکو، محمدرضا، (۱۳۸۹). **بررسی راندمان تغذیهٔ مصنوعی در آبراهه‌های فصلی و بهینه‌سازی ابعاد اصلی آن**، مجلهٔ علوم مهندسی آبخیزداری ایران، دورهٔ ۴، شمارهٔ ۱۲، ۱۸-۱۱.

حکمت‌پور، محمود، فیض‌نیا، سادات، احمدی، حسن و خلیل‌پور، ابوالفضل، (۱۳۸۶). **پهنه‌بندی مناطق**

مناسب برای تغذیهٔ مصنوعی در دشت ورامین به کمک GIS و سامانهٔ پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS)، مجلهٔ محیط‌شناسی، دورهٔ ۳۳، شمارهٔ ۴۲، ۸ -۱.

دستورالعمل کاربرد روش‌های شمارهٔ منحنی SCS و منطقی Rational Method در حوزه‌های آبخیز، (۱۳۶۸). نشریهٔ ۶۰-ن.

رمضانی مهریان، مجید، ملک‌محمدی، بهرام، جعفری، حمیدرضا و رفیعی، یوسف، (۱۳۹۰). **مکان‌یابی محل‌های انجام عملیات تغذیهٔ مصنوعی آب‌های زیرزمینی با به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (مطالعهٔ موردی: استان هرمزگان، دشت شمیل و آشکارا)**، مجلهٔ علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دورهٔ ۵، شمارهٔ ۱۴، ۱۰ -۱.

ضوابط و دستورالعمل‌های فنی مرتع، دستورالعمل اصلاح مراتع با استفاده از روش‌های ذخیرهٔ نزولات آسمانی، (۱۳۸۷). سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، معاونت آبخیزداری، دفتر طرح‌ریزی و هماهنگی، نشریهٔ شمارهٔ ۴۱۹.

فاضل‌نیا، غریب، حکیم‌دوست، سید یاسر و بلیانی، یدالله، (۱۳۹۱). **راهنمای جامع مدل‌های کاربردی GIS در برنامه‌ریزی‌های شهری، روستایی و محیطی**، جلد ۱، چاپ اول، تهران، انتشارات آزادپیما، ۱۰۵ صفحه.

کردوانی، پرویز، (۱۳۷۰). **منابع و مسائل آب در ایران**، جلد اول، چاپ ۲۰، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

ملکی، امجد، حصادی، همایون و نادریان، پرویز، (۱۳۸۸). **مکان‌یابی تغذیهٔ مصنوعی آبخوان حوضهٔ آبریز مرگ**، فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی، دورهٔ ۲۴، شمارهٔ ۱، ۷۹-۵۳.

مهدوی، محمد، (۱۳۸۴). **هیدرولوژی کاربردی**، جلد ۲، چاپ ۳، تهران، دانشگاه تهران.

مهدوی، عاطفه، نوری امامزاده‌ای، محمدرضا، مهدوی نجف‌آبادی، رسول و طباطبایی، سید حسن، (۱۳۹۰). **مکان‌یابی عرصه‌های مناسب تغذیهٔ مصنوعی سفره‌های زیرزمینی به روش منطق فازی در حوضهٔ آبریز دشت شهرکرد**، مجلهٔ علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، دورهٔ ۱۵، شمارهٔ ۵۶، ۷۶-۶۳.

ناصری، حمیدرضا، عزیزخانی، محمدجواد و کنونی، سعید، (۱۳۸۸). **تلفیق سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری و اطلاعات جغرافیایی در مکان‌یابی محل‌های مناسب پخش سیلاب جهت تغذیهٔ مصنوعی (مطالعهٔ موردی: دشت چاه‌دراز - سیرجان)**، فصلنامهٔ زمین‌شناسی ایران، دورهٔ ۳، شمارهٔ ۱۰، ۹۷ -۱۰۵.

Ahmadi, SH; Sedghamiz, A., (2007). **Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level**, Environ Monit Assess, Vol 129, 277–294.

Ajaykumar, K., Sanjay, K., Nagesh, N.P., Pawar N.J, and R Sankhua., (2012**). Identifying Potential Rainwater Harvesting Sites of a Semi-arid**, Basaltic Region of Western India, Using SCS-CN Method, Water Resources Management, Vol 26 (9), 2537–2554.

based approach for identifyingpotential water harvesting sites in the Kali Watershed, Mahi River Basin, India. J. Earth Syst. Sci, Vol 118 (4), 355–368.

Rolland, A; Rangarajan, R., (2013). **Runoff estimation and potential recharge site delineation using analytichierarchy process**, Geocarto International, Vol 28 (2), 159-170.

Sekar, I; Randhir, T.O., (2007). **Spatial assessment of conjunctive water harvesting potential in watershed systems**, Journal of Hydrology, Vol 334, 39– 52.

Sharma ,S; Vijay Singh, V., (2012). **Identification of potential runoff harvesting sites in a water scarce rural watershed using GIS approach**, India Water Week 2012 – Water, Energy and Food Security, Call for Solutions, New Delhi.

Singh, J.P; Singh, D; Litoria, P.K., (2009). **Selection of Suitable Sites for Water Harvesting Structures in Soankhad Watershed**, Punjab using Remote Sensing and Geographical Information System (RS&GIS) Approach- A Case Study. J. Indian Soc. Remote Sens, Vol 37 (1), 21–35.

Winnaar, G. de; Jewitt G.P.W; Horanm, M., (2007). **A GIS-based approach for identifying potential runoff harvesting sites in the Thukela River basin**, South Africa. Physics and Chemistry of the Earth, Vol 32 (15), 1058–1067.

Zhan X, Huang, ML., (2004). **ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps**, Environ Model Softw, Vol 19 (10), 875–879.

Aladenola, O.O; Adeboye, O.B., (2010). **Assessing the potential of rainwater harvesting**, Water Resour Manage, Vol 24 (10), 2129–2137.

Chowdary, V. M; Ramakrishnan, D; Srivastava Vinu Chandran, Y. K; Jeyaram, A., (2009). **Integrated Water Resource Development Plan for Sustainable Management of Mayurakshi Watershed**, India using Remote Sensing and GIS, Journal Water Resour Manage, Vol 23 (8), 1581–1602.

Ghazavi, R., Vali, A. B, and S. Eslamian., (2010). **Impact of Flood Spreading on Infiltration Rate and Soil Properties in an Arid Environment**, Water Resources Management Vol 24 (11), 2781-2793.

Ghazavi, R., Vali, A. B, and S. Eslamian., (2012). **Impact of Flood Spreading on Groundwater Level Variation and Groundwater Quality in an Arid Environment**, Water Resources Management, Vol 26 (6), 1651-1663.

Kadam, A.K; Kale, S.S; Pande, N. N; Pawar, N. J; Sankhua, R. N., (2012). **Identifying Potential Rainwater Harvesting Sites of a Semi-arid**, Basaltic Region of Western India, Using SCS-CN Method, Journal of Water Resour Manage, Vol 26 (9) ,2537–2554. DOI 10.1007/s11269-012-0031-3.

N.R.C.S. Service., (2004). **National Engineering Handbook**, Chapter 10, Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall. U.S. Department of Agriculture, Washington, 79 p.

Oakford, E.T., (1985). **Artificial recharge: Methods, hydraulics, and monitoring**, In: Asano T (ed) artificial recharge of groundwater. Butterworth, 767 pp.

Ramakrishnan, D; Bandyopadhyay, A; Kusuma, K.N., (2009). **SCS-CN and GIS-**