کاربرد سیستم‌های استحصال رواناب سیلابی درآبخیز شهری اراک

جواد وروانی[1] هادی وروانی[2] مهدی مردیان[3]

(دریافت ۸۹/۲/۱۶ پذیرش ۸۹/۷/۲٤)

چکیده

مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز شهری و بهره‌وری مؤثر منابع آن به‌خصوص منابع آبی، نیازمند شناخت هیدرولوژی منطقه است. در این بین وقایع سیلابی آبخیزهای شهری و رواناب تولید شده در زمان سیلابها از نقطه‌نظر استحصال و مصارف مختلف حائز اهمیت زیادی است. در این تحقیق به‌منظور بررسی امکان استفاده از مناسب‌ترین سیستم استحصال رواناب در زمان وقایع سیلابی آبخیز شهری اراک، با جمع‌آوری اطلاعات پایه از حوزه‌های آبخیز مشرف به شهر در ابتدا با آنالیز خوشه‌ای مناطق همگن گروه‌بندی شد و در هر منطقه با استفاده از مدل بارش- رواناب SCS میزان رواناب در چند پایه زمانی و دوره بازگشت محاسبه گردید و با استفاده از تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی و استفاده از معیارها و ضوابط کمّی و کیفی، سیستم‌های مختلف استحصال آب شهری برای هر منطقه همگن تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: سیستم استحصال آب، سیلاب، آبخیز شهری، تجزیه و تحلیل سلسه‌مراتبی

Investigation of Application of Storm Runoff Harvesting System in Arak Urbanized Watershed

Javad Varvani [1] *Hadi Varvani [2]* *Mehdi Mardiyan [3]*

(Received May 6, 2010 Accepted Oct. 16, 2012)

Abstract

Integrated management of urban watersheds and effective productivity of its resources, especially water resources requires knowledge of its hydrology. In this among flood events and urban runoff produced at the time of floods from the point of harvesting and consumption is extremely important. In this study in order to evaluate the possibility of using the most appropriate water harvesting systems in Arak Watershed, collecting basic information was collected. At first surrounding watersheds were grouped by using cluster analysis into homogeneous areas. In each region using the rainfall - runoff SCS model runoff rate of some base time and return periods was calculated. Using a hierarchical analysis (AHP) and quantitative and qualitative criteria, different systems of urban water harvesting were determined for each homogeneous region of Arak watershed.

Keywords: Water Harvesting System, Flood, Urbanized Watershed, Analytical Hierarchy Programming.

۱- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک (نویسنده مسئول)(۰۸٦۱)٤۱۳۲٤٥۱ Varvani_55@yahoo.com

۲- دانشجوی دکترای آبیاری و زهکشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

1. Assist. Prof., College of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Branch of Arak (Corresponding Author) (+98 861)4132451 Varvani_55@yahoo.com
2. Ph.D. Student of Irrigation and Drainage, Razi University, Kermanshah
3. Grad. M.Sc. of Watershed Management, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gorgan

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

رویکرد آبخیز به‌عنوان اصل بنیادی در اکولوژی اکوسیستم است که نگاه عمیق به آن باعث ایجاد ارتباط بین علوم پایه‌ای و کاربردی می‌شود. این رویکرد مستلزم مدیریت جامعی است که با نگرش همه‌جانبه، دقیق و عادلانه به فرایندهای داخل و خارج آبخیز، در نهایت به توسعه پایدار اکوسیستم منجر می‌شود. در رویکرد جامع آبخیز، شالوده مدیریت به سمت هیدرولوژی انطباق داده می‌شود زیرا با افزایش رواناب علاوه بر بروز سیلهای خسارت‌زا، انواع آلاینده‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای همانند رسوبات، آفت‌کش‌ها، فلزات سنگین، نمکها و مواد شیمیایی افزایش می‌یابند که به‌شدت سلامت محیط‌زیست منطقه تجمع را به خطر می‌اندازند. در چارچوب این مدیریت جامع، آبخیزهای شهری در دهه‌های اخیر از نقطه‌نظر حاکمیت شهری مناسب و در تعامل با شرایط محیط‌زیستی مورد توجه قرار گرفته‌اند[۱]. لذا رویکرد صحیح در بخش مدیریت رواناب شهری بر اساس آمیزه‌ای از اهداف و استراتژی‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا[1] در بررسی مشکلات رواناب شهری از مفهوم توسعه با اثرات کم[2] استفاده می‌کنند که بر لزوم استفاده از بهترین اقدامات مدیریتی[3] تأکید دارد. مزایای این اقدامات عبارت است از کاهش و به تأخیر انداختن حجم رواناب و دبی اوج سیلابها، افزایش تغذیه آبهای زیرزمینی، کاهش آلودگی سیلابها، افزایش تجزیه کربن، کاهش انرژی‌های گرمازا، بهبود کیفیت هوا، افزایش زیستگاه آبزیان، حیات وحش و تفرجگاه، بهبود سلامت انسان و بالابردن ارزش اراضی[۲- ۵].

اقدامات مدیریتی LID به دو گروه اصلی تقسیم می‌شود: ۱- اقدامات غیرساختمانی یا کنترل منابع شامل آموزش همگانی، برنامه‌ریزی و مدیریت مناطق توسعه‌یافته، مدیریت مصالح، حفاظت زهکشهای سیلابی خیابان‌ها، کنترل ساخت و سازهای غیرمجاز و کنترل ارتباطات غیرمجاز و ۲- اقدامات ساختمانی شامل مخازن سیلاب، تالابها، سیستم‌های پوشش گیاهی، سیستم‌های نفوذ و سیستم‌های فیلتراسیون[۳].

سیستم‌های استحصال رواناب یا جمع‌آوری آب باران[4] جزء اقدامات ساختمانی هستند که با توجه به برنامه‌های مدیریت منابع آب و پایش محیط‌زیستی، کاربرد زیادی دارند. این سیستم‌ها به‌عنوان یک تکنیک کهن شامل مجموعه اقداماتی هستند که از جمع‌آوری و استفاده آب باران از سطوح غیرقابل نفوذ همچون پشت‌بامها، سطح زمین، سطح جاده و یا آبخیزهای با نفوذپذیری کم مانند آبخیزهای صخره‌ای تشکیل می‌شوند[۶]. فارو و تراس‌های حفاظتی، مالچ‌ها[5]، تانک‌های آب[6]، زهکشهای خشکه‌چین[7] و گابیون، حوضچه‌های نفوذپذیر و فیلترهای نواری ازجمله این سیستم‌ها هستند که به چگونگی جمع‌آوری و انتقال رواناب ناشی از رگبار مخصوصاً در سطوح شهری کمک زیادی می‌کنند. در بخش کشاورزی نیز سیستم‌های جمع‌آوری رواناب برای آبیاری تکمیلی[8] در افزایش تولیدات کشاورزی و بهبود معیشت در مناطق خشک اهمیت بسزایی دارند[۷]. اما انتخاب نوع سیستم استحصالی بر اساس اهداف LID و نظارت بر اقدامات، نیازمند تحقیقات گوناگون در چارچوب مدیریت جامع آبخیز است زیرا افزایش اجرای سیستم‌های جمع‌آوری آب، بدون رویارویی با اثرات از قبل برنامه‌ریزی نشده، می‌تواند اثرات محیط‌زیستی و هیدرولوژیکی زیانباری بر پایین‌دست داشته باشد[۸]. از طرفی در این سیستم‌ها نه‌تنها باید به جمع‌آوری آب توجه داشت، بلکه باید به نحوه انتقال و ذخیره‌سازی نیز توجه کرد.

تحقیقات زیادی در زمینه انتخاب نوع سیستم جمع‌آوری آب، کارایی، مسائل اقتصادی- اجتماعی و اثرات این سیستم‌ها توسط محققان مختلف صورت گرفته است. میشرا[9] و شارما[10] در سال ۲۰۰۱ با بررسی سیستم‌های استحصال آب شهری در هند دریافتند که با جمع‌آوری رواناب ناشی از سطح بام‌خانه‌ها و ذخیره آن در چاه، می‌توان آب مورد نیاز خانوارها را در طی یک دوره بحرانی تأمین کرد[۹]. یان و همکاران[11] در سال ۲۰۰۳ در تحلیل اقتصادی سیستم‌های جمع‌آوری آب، به‌کارگیری این سیستم‌ها همراه با آبیاری تکمیلی را برای تولید سیب‌زمینی در چین مناسب دانسته‌اند[۱۰]. آدکالو و همکاران[12] در سال ۲۰۰۹ نیز این پیشنهاد را در مورد کشت لوبیا در نیجریه داشته‌اند[۱۱]. سپاسخواه و فولادمند در سال ۲۰۰۴ در تحقیقات خود بر کارایی خوب حوضچه‌های کوچک آبگیر[13] به‌عنوان یک سیستم جمع‌آوری آب باران برای باغهای باجگاه استان فارس اشاره داشته‌اند. در تحقیقات لی و همکاران[14] در سال ۲۰۰۵ نیز این حوضچه‌های آبگیر کوچک پاسخگوی خوبی برای رشد تاماریکس در چین بوده‌اند[۱۲]. در گزارش لاندگرن[15] و آکربرگ[16] در سال ۲۰۰۶ از سیستم‌های

[1] U.S. Environmental Protection Agency (US EPA)
[2] Low Impact Development (LID)
[3] Best Management Practice (BMP)
[4] Rain Water Harvesting (RWH)

[5] Mulch
[6] Water Tank
[7] French Drain
[8] Supplemental Irrigation (SI)
[9] Mishra
[10] Sharma
[11] Yuan et al.
[12] Adekalu et al.
[13] Micro catchment
[14] Li et al.
[15] Lundgren
[16] Akerberg

Archive of SID
www.SID.ir

جمع‌آوری آب باران به‌عنوان یک منبع مکمل در تأمین آب در یک آبخیز شهری در غنا یاد شده است[۱۳]. احمد و همکاران در سال ۲۰۰۷ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، GIS و فرایند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی[1] در یک منطقه کویری در موریتانی استفاده از چکدم‌ها را مناسب سیستم جمع‌آوری باران قلمداد کردند[۱۴]. بالونی و همکاران[2] در سال ۲۰۰۸ نیز از مؤثر بودن چکدم‌ها به‌عنوان سیستم جمع‌آوری جریان‌های فصلی در هند یاد می‌کنند[۱۵]. وانگ و همکاران[3] در سال ۲۰۰۹ در یک منطقه نیمه‌خشک چین نتیجه گرفتند که استفاده از مالچ شنی نسبت به کاه، کلش و پلاستیک کارایی بهتری در تولید محصول دارد[۱۶]. ابراهیم در سال ۲۰۰۹ در بررسی مشکلات منابع آب یکی از شهرهای سودان اشاره کرده است که استفاده از سدهای مخزنی با هدف کنترل سیلهای فصلی توانسته سطح آبهای زیرزمینی را به‌میزان چند متر بالا آورده و به‌عنوان یک سیستم جمع‌آوری آب باران عملکرد خوبی داشته است[۱۷]. طهماسبی و رجبی‌ثانی در سال ۱۳۸۵ با بررسی کارایی کرتهای جمع‌آوری آب در حوضه لتیان دریافتند چنانچه در هر هکتار بخشی از آب باران در یک استخر نفوذناپذیر و بخش دیگر در محیط ریشه ذخیره گردد، امکان توسعه سطح زیرکشت درختان در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران و در شرایط مشابه از نقطه‌نظر بارندگی و سایر فاکتورهای اقلیم‌شناسی و خاک‌شناسی وجود خواهد داشت[۱۸]. همچنین پیشنهاد کردند در هر عرصه برای جمع‌آوری آب باران، محلهای با شیب بیشتر برای جمع‌آوری رواناب و قسمتهای با شیب کمتر برای کشت درختان و نفوذ رواناب جمع‌آوری شده اختصاص یابد. شاه‌ولی و عابدی سروستانی در سال ۱۳۸۵ با بررسی بهینه‌سازی سازه‌های بومی جمع‌آوری آب دریافتند کارایی این سازه‌ها در صورت تلفیق با دانش رسمی می‌تواند بهبود یابد و منجر به تأمین منابع آبی مناسب شود[۱۹].

افشار و میان‌آبادی در سال ۱۳۸۶ تأکید بر لزوم به‌کارگیری شاخصهای مختلف در ارزیابی طرحهای تأمین آب داشته و آن را یک مسئله اساسی در این زمینه معرفی کرده‌اند[۲۰]. رخشنده‌رو و همکاران در سال ۱۳۸۷ در بررسی کیفیت روانابهای شهری شیراز بیان داشته‌اند فلز آهن و روی عمده فلزات آلاینده در روانابهای شهری هستند وهمچنین به استفاده از سیستم‌های احیای رواناب توصیه نموده‌اند[۲۱]. ضرغامی و همکاران در سال ۱۳۸۵ نیز استفاده از مدل پویایی سیستم برای تعیین روند تغییرات بیلان آب در آینده و تأثیر سناریوهای مدیریتی همچون انتقال بین‌حوضه‌ای آب، اجرای طرح جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب و مدیریت تقاضا را ارائه نموده‌اند[۲۲].

با توجه به نتایج به‌دست آمده از سوابق تحقیق ملاحظه می‌شود که سیستم‌های جمع‌آوری آب باران یک منبع مکمل مناسب، هم برای زراعت و هم برای شبکه آب شهری هستند و استفاده از آنها در مناطق خشک و نیمه‌خشک در حال افزایش است. آبخیز شهری اراک یکی از مناطقی است که به‌لحاظ افزایش جمعیت شهری و واحدهای صنعتی با مشکل کمّی و کیفی آب مواجه است. خشکسالی‌های چند سال اخیر، برداشت‌های بی‌رویه از آبهای زیرزمینی، حفر چاههای غیرمجاز، دفع غیراصولی زباله‌ها و نفوذ پسابهای آن به درون سفره‌های آب زیرزمینی منابع آبی، این شهر را با مشکل مواجه کرده است. از طرفی طرح انتقال آب از حوضه سد کمال‌صالح، به‌عنوان یک منبع آبی بلندمدت برای کل خانوارهای شهر اراک قلمداد نمی‌شود و با توجه به هزینه‌های بسیار بالای این طرح، استفاده بیش از حد این منبع آبی برای مصارف غیرشرب چندان عاقلانه نیست. بنابراین استفاده از سیستم‌های جمع‌آوری آب باران می‌تواند به‌عنوان یک منبع مکمل مناسب برای تأمین آب این شهر باشد. هدف اصلی این تحقیق نیز تعیین مناسب‌ترین سیستم استحصال آب باران به‌عنوان یک منبع مکمل برای آبخیز شهری اراک بود. با توجه به اهمیت موضوع در این تحقیق با استفاده از فرایند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی به‌کمک نرم‌افزار EXPERT CHOICE11، مناسب‌ترین سیستم‌های استحصال رواناب برای آبخیزهای همگن مشرف به شهر اراک اولویت‌بندی شد تا علاوه بر تحقق هدف اصلی، یک مدیریت صحیح برای منابع آبی آبخیزهای مشرف به شهر اراک را ارائه کند.

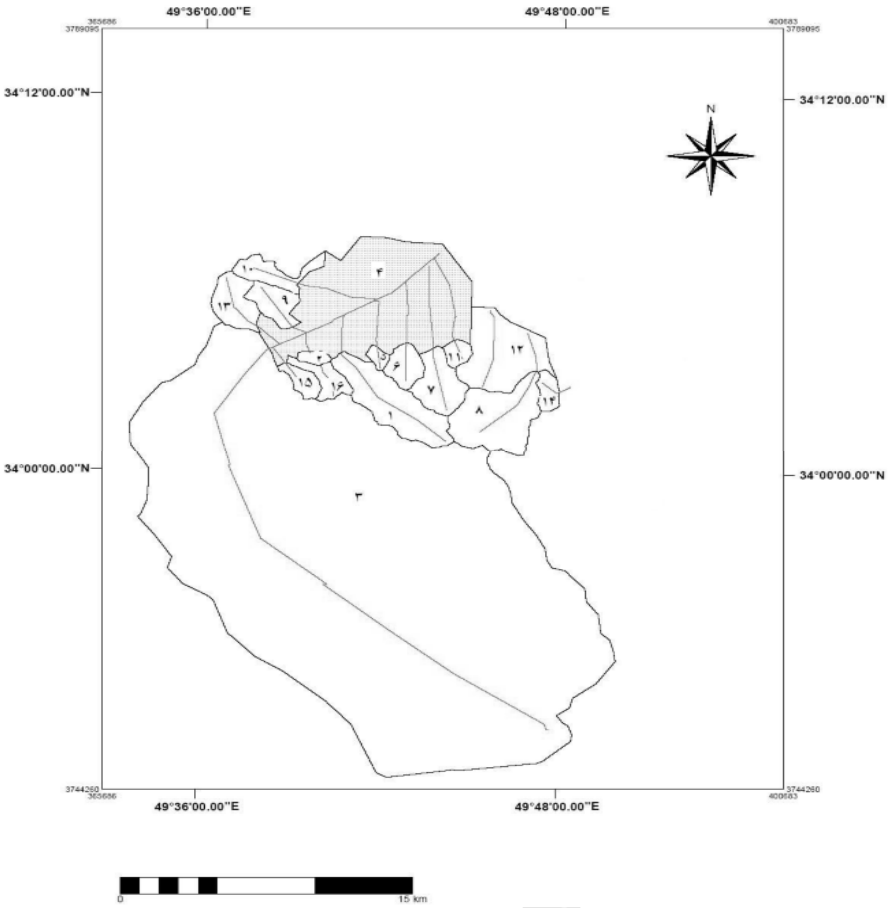
۲- مواد و روشها

۲-۱- معرفی منطقه مطالعاتی

بیشتر بررسی‌های انجام شده در زمینه رواناب آبخیزها در قالب واحدهای هیدرولوژیک صورت می‌گیرد. به این منظور در ابتدا مرز واحدهای هیدرولوژیکی مشرف به سطح شهر اراک بر روی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ در محیط GIS، نرم‌افزار ILWIS3.0 بسته شد. با توجه به هدف این تحقیق، مرز سطح شهری اراک نیز به‌صورت یک واحد جداگانه معرفی شد تا بتوان محاسبات لازم در زمینه هیدرولوژی شهری را با دقت بالایی انجام داد. بر این اساس ۱۶ آبخیز مشخص شد. شکل ۱ موقعیت و جدول ۱ خصوصیات فیزیوگرافی آبخیزهای منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

[1] Analytical Hierarchic Process (AHP)
[2] Balooni et al.
[3] Wang et al.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱- موقعیت آبخیزهای مشرف به سطح شهر اراک(زیرحوضه شماره ۴)

جدول ۱- خصوصیات کلی حوزه‌های آبخیز مشرف به سطح شهر اراک

زیر حوضه / پارامتر	مساحت کاربری‌های مختلف اراضی (کیلومتر مربع)								گروه هیدرولوژیکی خاک				ارتفاع متوسط (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)
	مسکونی صنعتی	باغ و آبی‌زار	باغ	آبی‌زار	دیم‌زار	مرتع	رخنمون سنگی		A	B	C	D		
۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۰/۹۹	۳/۱۷		۰/۰۰	۰/۸۶	۱۳/۴۵	۰/۰۰	۲۱۷۰/۴	۱۴/۳۱
۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۶۲	۰/۱۹		۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۹۸	۰/۰۰	۱۸۸۹/۱	۱/۱۰
۳	۳/۱۲	۶/۵۸	۲/۶۶	۲۴/۷۷	۸۶/۹۸	۲۲۹/۳۷	۲۴/۱۸		۰/۰۰	۱۶۵/۶۷	۱۵۶/۱۰	۵۵/۸۵	۲۳۳۶/۷	۳۷۷/۶۷
۴	۳۱/۱۷	۰/۶۰	۳/۲۶	۷/۱۶	۱/۰۴	۱۱/۸۱	۰/۶۸		۰/۰۰	۴۹/۰۸	۶/۶۱	۰/۰۰	۱۸۴۰/۸	۵۵/۷۳
۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۴	۰/۵۱		۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۵	۰/۰۰	۱۹۲۳/۱	۱/۰۵
۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۲	۲/۱۸	۰/۷۹		۰/۰۰	۱/۱۷	۲/۶۲	۰/۰۰	۱۹۰۲/۴	۳/۷۹
۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۹	۵/۶۳	۰/۴۴		۰/۰۰	۱/۵۷	۵/۶۰	۰/۰۰	۱۹۸۹/۹	۷/۱۷
۸	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۰۴	۲/۳۶	۰/۰۰	۱۰/۴۱	۲/۱۷		۰/۰۰	۳/۰۵	۱۲/۰۷	۰/۰۰	۲۱۱۴/۹	۱۵/۱۲
۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۳	۰/۰۰	۴/۲۴	۰/۰۵		۰/۰۰	۱/۷۴	۲/۸۸	۰/۰۰	۱۹۹۷/۸	۴/۶۲
۱۰	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۷۱	۳/۸۹	۰/۰۰		۰/۰۰	۰/۹۰	۳/۷۸	۰/۰۰	۱۹۶۷/۶	۴/۷۱
۱۱	۰/۲۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۴۰	۰/۰۷		۰/۰۰	۰/۱۱	۱/۶۴	۰/۰۰	۱۸۹۷/۸	۱/۷۵
۱۲	۲/۴۲	۰/۴۸	۰/۰۰	۷/۵۳	۰/۰۰	۴/۳۹	۰/۹۵		۰/۰۰	۱۰/۶۶	۵/۰۸	۰/۰۰	۱۹۰۸/۰	۱۵/۷۷
۱۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۳۱	۵/۱۹	۰/۵۱		۰/۰۰	۲/۰۰	۴/۰۲	۰/۰۰	۲۰۶۰/۹	۶/۰۲
۱۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۰	۱/۵۵	۰/۵۷		۰/۰۰	۰/۶۷	۱/۵۳	۰/۰۰	۱۸۳۲/۰	۲/۲۰
۱۵	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۹	۱/۴۵	۰/۸۵		۰/۰۰	۰/۴۵	۱/۹۸	۰/۰۰	۱۹۸۰/۹	۲/۴۳
۱۶	۰/۰۰	۰/۱۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۷	۲/۱۱	۰/۵۹		۰/۰۰	۰/۶۷	۲/۷۷	۰/۰۰	۲۰۱۴/۴	۳/۴۴

Archive

www.SID.ir

با توجه به شکل ۱ و جدول ۱، آبخیز شماره ۴ به‌عنوان آبخیز شهری منطقه مطالعاتی تعیین شد. رودخانه کرهرود نیز به‌عنوان مهم‌ترین زهکش طبیعی منطقه از آبخیز قره‌کهریز (آبخیز شماره ۳) منشأ می‌گیرد و پس از عبور از داخل شهر اراک، در نهایت به تالاب کویر میقان جاری می‌شود. لازم به‌ذکر است که متوسط بارندگی سالانه شهر اراک ۳۲۰/۲ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه ۱۳/۸ درجه سلسیوس و اقلیم آن بر اساس طبقه‌بندی دومارتن نیمه‌خشک و بر اساس طبقه‌بندی آمبروژه نیمه‌خشک سرد است.

۲-۲- گروه‌بندی آبخیزهای همگن

با توجه به اینکه آبخیزهای تفکیک شده مشرف به سطح شهر اراک زیاد بوده و از طرفی نتایج این تحقیق به‌صورت گروهی می‌تواند اطلاعات نسبتاً مناسبی را تولید کند، اقدام به گروه‌بندی آبخیزهای همگن به‌روش آنالیز خوشه‌ای[1] گردید. به این منظور متغیرهای مستقل متریک مساحت، شیب متوسط، ارتفاع حداقل و حداکثر، درصد مساحت کاربری‌های مختلف و درصد گروههای مختلف هیدرولوژیکی خاک آبخیزها مبنای آنالیز خوشه‌ای قرار گرفت. سپس مقادیر کمّی این متغیرها به نرم‌افزار SPSS15.0 وارد شد و بر اساس آنها آبخیزها گروه‌بندی شدند.

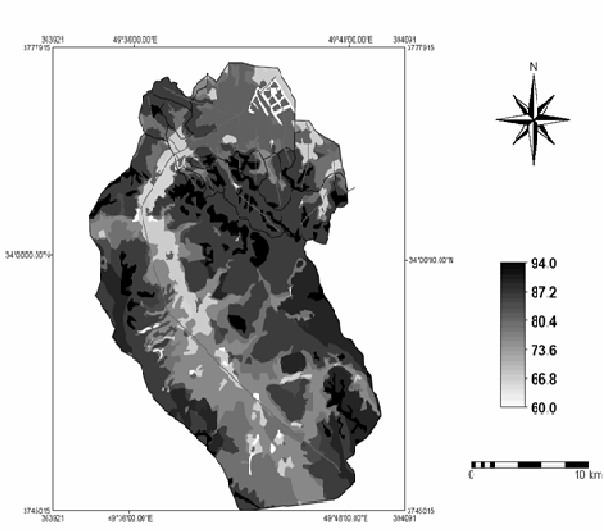
۲-۳- محاسبه حجم رواناب بارش طرح

به‌منظور بررسی‌های بیشتر در زمینه انتخاب سیستم استحصال آب باران و با توجه به اینکه سیستم‌های مختلف باید توانایی استحصال حجم رواناب حاصله در طی یک شبانه روز را با درصد احتمال بالایی داشته باشند، میزان حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۱۰۰ سال به‌عنوان بارش طرح مدّنظر قرار گرفت و ارتفاع رواناب ناشی از این بارش در هر ۱۰۰ مترمربع از مساحت آبخیزها مطابق روش SCS محاسبه گردید. لازم به‌ذکر است که مقدار بارش طرح از روی منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی با توجه به هیتوگراف بارش سالهای ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۲ ایستگاه سینوپتیک اراک به‌دست آمد. مقادیر CN منطقه مطالعاتی نیز بر اساس نقشه سلولی ۱۰۰ در ۱۰۰ متر و با استفاده از لایه‌های کاربری اراضی و گروههای هیدرولوژیک خاک تعیین گردید (شکل ۲). نقشه‌های مورد نیاز این بخش اعم از نقشه کاربری اراضی و گروههای هیدرولوژیکی بر اساس مطالعات پایه آبخیزداری موجود در منطقه و کنترل‌های صحرایی تهیه گردید[۲۳]. در نهایت حجم رواناب بارش طرح بر اساس ارتفاع رواناب و مساحت هر آبخیز محاسبه شد.

[1] Cluster Analysis

۲-۴- تعیین گزینه‌ها و معیارهای ارزیابی

در این تحقیق از فرایند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی به‌کمک نرم‌افزار EXPERT CHOICE11 برای تصمیم‌گیری صحیح در مورد انتخاب مناسب‌ترین سیستم‌ها برای آبخیزهای همگن استفاده شد. در فرایند AHP مسئله اصلی تحقیق به چند مسئله فرعی که به‌طور مستقل ارزیابی می‌شود، تفکیک می‌گردد و اجزای تصمیم‌گیری دو به دو با همدیگر و بر اساس قضاوت کارشناسی ارزیابی می‌شوند.



شکل ۲- لایه CN و مقادیر آن در آبخیزهای مشرف به شهر اراک

ارزیابی مذکور در فرایند AHP به مقادیر عددی تبدیل شده و در طول کل دامنه تغییرات مسئله مقایسه می‌گردد. سپس برای هر یک از اجزا یک وزن عددی یا اولویت تعیین شده که امکان مقایسه اجزای مختلف AHP را فراهم می‌سازد.

به این منظور ابتدا با توجه به وضعیت منطقه مورد مطالعه و با استناد به گزارشهای مطالعاتی موجود منطقه (گزارشهای تلفیق، سنتز و اقتصادی اجتماعی و سازمان جهاد کشاورزی استان مرکزی در سال ۱۳۸۸) و توصیه‌های انجام شده در این زمینه، ۵ گزینه استحصال آب شامل عدم اجرای سیستم[2]، آبگیرهای کوچک[3]، تانک‌های آب، زهکش خشکه‌چین و مالچ در سطوح مختلف انتخاب شدند. به‌منظور انتخاب بهترین گزینه استحصالی، سه معیار کمّی شامل سرمایه‌گذاری اوّلیه (هزینه اجرا)، بازده سیستم‌های استحصال آب (نرخ سود به هزینه) و هزینه نگهداری و دو معیار کیفی شامل سهولت اجرا و قابلیت استحصال آب مدّنظر قرار گرفت. برای اجرای فرایند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی و به‌منظور وزن‌دهی معیارها و سیستم‌های مختلف استحصال آب، ابتدا معیارهای کمّی برای تمامی گزینه‌های استحصال آب و در تمامی

[2] Existing Situation
[3] Micro Basin

Archive of SID
www.SID.ir

گروههای همگن محاسبه شدند. معیارهای کیفی نیز بر اساس قضاوت کارشناسی به ارزش کمّی تبدیل شدند. لازم به‌ذکر است که استحصال آب برای آبگیرهای کوچک، تانک‌های آب و زهکش خشکه‌چین در ۱ مترمکعب و برای مالچ‌پاشی در ۱ مترمربع مدّنظر قرار گرفته شد.

پس از تعیین ارزش معیارهای کمّی و کیفی تمامی سیستم‌های پیشنهادی استحصال آب، داده‌های مذکور برای هر یک از گروههای همگن وارد نرم‌افزار EXPERT CHOICE11 شد و با کمک این نرم‌افزار برای هر یک از گروههای همگن به‌روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی بهترین گزینه از میان ۵ گزینه مطرح شده انتخاب شد و به ارزیابی این سیستم‌های انتخابی با توجه به‌خصوصیات آبخیزهای همگن پرداخته شد.

۳- نتایج

همان‌طور که اشاره شد مبنای تصمیم‌گیری تحقیق بر اساس همگن‌بندی آبخیزهای منطقه مطالعاتی بود. لذا با استفاده از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای ۵ گروه همگن تعیین شد. لازم به‌ذکر است که آبخیز شهری اراک به‌همراه آبخیز شماره ۲ در گروه ۲ جای گرفت. جدول ۲ نتایج حاصل از گروه‌بندی آبخیرهای همگن را نشان می‌دهد.

جدول ۲- آبخیزهای همگن در محدوده حوزه شهری اراک

گروه همگن	۱	۲	۳	۴	۵
شماره آبخیز	۵، ۶، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۴	۲، ۴*	۷، ۹، ۱۳، ۱۵، ۱۶	۱، ۸	۳

* علامت حوضه شهری است

برای محاسبه حجم رواناب به‌روش SCS، مقدار بارش طرح (حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۱۰۰ سال) بر اساس منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی ایستگاه سینوپتیک اراک برابر ۶۷/۷ میلی‌متر تعیین شد. همچنین جدول ۳ میزان حجم رواناب محاسبه شده برای سطح کل هر یک از آبخیزها و سطح یک هکتار را نشان می‌دهد.

همان‌طور که اشاره شد برای اجرای فرایند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی و به‌منظور وزن‌دهی معیارها و سیستم‌های مختلف استحصال آب، ابتدا معیارهای کمّی برای تمامی گزینه‌های استحصال آب و در تمامی گروههای همگن محاسبه شدند. در گزینه اول که پذیرش شرایط موجود است مسلماً هیچ سیستمی اجرا نمی‌شود و هزینه‌ای نیز دربر نخواهد داشت. بنابراین این معیار برای ۴ گزینه دیگر محاسبه و نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- سرمایه‌گذاری اولّیه سیستم‌های پیشنهادی استحصال آب

سیستم استحصال آب	سرمایه گذاری اولّیه (ریال)
آبگیرهای کوچک	۷۴۳۰
تانک‌های آب	۱۵۰۰۰۰۰
زهکش خشکه‌چینی	۵۲۵۸۰
مالچ‌پاشی	۳۴۸۰

به‌منظور محاسبه بازده سیستم‌های استحصال آب ابتدا سود اجرای سیستم‌ها با توجّه به میزان روانابی که ذخیره می‌کنند برای هر یک از سیستم‌های پیشنهادی محاسبه، و در جدول ۵ ارائه شده است. سپس بازده سیستم‌های استحصال آب با توجه به نرخ سود به هزینه تعیین شد که مقادیر آن در جدول ۶ آمده است.

با توجّه به‌اینکه تمامی سیستم‌های پیشنهادی برای استحصال آب نیازمند نگهداری هستند، این هزینه به‌صورت سالانه برای تمامی سیستم‌ها محاسبه شده و در جدول ۷ ارائه گردید.

جدول ۸ مناسب‌ترین سیستم استحصالی برای آبخیزهای همگن با توجه به نتایج آنالیز سلسله مراتبی با نرم‌افزار EXPERT CHOICE11 را نشان می‌دهد.

جدول ۳- حجم رواناب بارش ۲۴ ساعته با دوره برگشت ۱۰۰ سال (بارش طرح)

شماره آبخیز	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
حجم رواناب در سطح کل (میلیون‌مترمکعب)	۵۴۱/۵	۳۸/۰	۱۱۳۲۴/۹	۱۳۹۳/۴	۴۵/۳	۱۲۹/۹	۲۳۷/۳	۵۱۴/۱	۱۳۹/۴	۱۵۱/۰	۶۲/۱	۴۰۴/۰	۱۹۶/۳	۷۹/۲	۹۳/۲	۱۱۸/۶
حجم رواناب در سطح یک هکتار (مترمکعب)	۳۷۲	۳۳۷	۲۸۶	۴۶۹	۴۲۵	۳۳۱	۳۲۵	۳۲۸	۲۹۴	۳۱۷	۳۱۳	۲۳۳	۳۲۰	۳۵۰	۳۷۱	۳۳۵

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵- میزان سود سیستم‌های پیشنهادی استحصال آب

گروههای همگن	میانگین میزان رواناب به‌ازای بارش طرح (مترمکعب)	سیستم استحصال آب	میزان رواناب ذخیره شده (مترمکعب)	سود (ریال)
۱	۳۲۸/۱۷	آبگیرهای کوچک	۱۴۷/۶۸	۳۳۹۷
		تانک‌های آب	۳۲۸/۱۷	۷۵۴۴
		زهکش خشکه‌چینی	۱۰۹/۳۹	۲۵۱۶
		مالچ‌پاشی	۱۰۹/۳۹	۲۵۱۶
۲	۴۰۳/۰۰	آبگیرهای کوچک	۱۸۱/۳۵	۴۱۷۱
		تانک‌های آب	۴۰۳/۰۰	۹۲۹۶
		زهکش خشکه‌چینی	۱۳۴/۳۳	۳۰۹۰
		مالچ‌پاشی	۱۳۴/۳۳	۳۰۹۰
۳	۳۲۹/۰۰	آبگیرهای کوچک	۱۴۸/۰۵	۳۴۰۵
		تانک‌های آب	۳۲۹/۰۰	۷۵۶۷
		زهکش خشکه‌چینی	۱۰۹/۶۷	۲۵۲۲
		مالچ‌پاشی	۱۰۹/۶۷	۲۵۲۲
۴	۲۳۳/۳۳	آبگیرهای کوچک	۱۰۵/۰۰	۲۴۱۵
		تانک‌های آب	۲۳۳/۳۳	۵۳۵۹
		زهکش خشکه‌چینی	۷۷/۷۸	۱۷۸۹
		مالچ‌پاشی	۷۷/۷۸	۱۷۸۹
۵	۲۸۶/۰۰	آبگیرهای کوچک	۱۲۸/۷۰	۲۹۶۰
		تانک‌های آب	۲۸۶/۰۰	۶۵۷۸
		زهکش خشکه‌چینی	۹۵/۳۳	۲۱۹۳
		مالچ‌پاشی	۹۵/۳۳	۲۱۹۳

جدول ۶- بازده سیستم‌های پیشنهادی استحصال آب

گروههای همگن	سیستم استحصال آب	بازده (نرخ سود به هزینه)
۱	آبگیرهای کوچک	۴۵/۷۱
	تانک‌های آب	۰/۵۰
	زهکش خشکه‌چینی	۴/۷۸
	مالچ‌پاشی	۷۲/۳۰
۲	آبگیرهای کوچک	۵۶/۱۴
	تانک‌های آب	۰/۶۲
	زهکش خشکه‌چینی	۵/۸۸
	مالچ‌پاشی	۸۸/۷۸
۳	آبگیرهای کوچک	۴۵/۸۳
	تانک‌های آب	۰/۵۰
	زهکش خشکه‌چینی	۴/۸۰
	مالچ‌پاشی	۷۲/۴۸
۴	آبگیرهای کوچک	۳۲/۵۰
	تانک‌های آب	۰/۳۶
	زهکش خشکه‌چینی	۳/۴۰
	مالچ‌پاشی	۵۱/۴۰
۵	آبگیرهای کوچک	۳۹/۸۴
	تانک‌های آب	۰/۴۴
	زهکش خشکه‌چینی	۴/۱۷
	مالچ‌پاشی	۶۳/۰۱

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۷- هزینه نگهداری سیستم‌های پیشنهادی استحصال آب

سیستم استحصال آب	هزینه نگهداری به‌ازای مترمکعب (ریال)
آبگیرهای کوچک	۶۰۰۰۰
تانک‌های آب	۰
زهکش خشکه‌چینی	۷۶۰۰۰
مالچ‌پاشی	۱۱۵۰۰

جدول ۸- اولویت‌بندی سیستم‌های استحصال آب بر اساس فرایند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی

گروه همگن	۱	۲	۳	۴	۵
شماره آبخیز	۵،۶،۱۰،۱۱،۱۲،۱۴،۱۵	۴،۲	۱۶ ،۱۵ ،۱۳ ،۹ ،۷	۸ ،۱	۳
اولویت اول	مالچ	تانک آب	مالچ	مالچ	آبگیرهای کوچک
اولویت دوم	آبگیرهای کوچک	عدم اجرا	آبگیرهای کوچک	آبگیرهای کوچک	مالچ
اولویت سوم	عدم اجرا	مالچ	عدم اجرا	عدم اجرا	عدم اجرا
اولویت چهارم	زهکش خشکه‌چین	آبگیرهای کوچک	زهکش خشکه‌چین	زهکش خشکه‌چین	زهکش خشکه‌چین
اولویت پنجم	تانک آب	زهکش خشکه‌چین	تانک آب	تانک آب	تانک آب

۴- بحث

در این تحقیق با استفاده از فرایند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی، به‌کمک نرم‌افزار EXPERT CHOICE11، بهترین سیستم‌های جمع‌آوری آب باران برای آبخیزهای همگن مشرف به شهر اراک تعیین شد. برای این کار ۵ گزینه استحصالی شامل عدم اجرای سیستم، آبگیرهای کوچک، تانک‌های آب، زهکش خشکه‌چین، و مالچ‌پاشی با ۵ معیار شامل سرمایه‌گذاری اولّیه (هزینه اجرا)، بازده سیستم‌های استحصال آب (نرخ سود به هزینه)، هزینه نگهداری، سهولت اجرا و قابلیت استحصال آب پیشنهاد شد.

همان‌طور که نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد برای گروههای ۱، ۳ و ۴ که بیشتر آبخیزهای منطقه مطالعاتی را دربر دارند، اولویت اول استفاده از مالچ است و آبگیرهای کوچک در اولویت دوم قرار دارند. با توجه به اینکه بیشترین سطح کاربری آبخیزهای این سه گروه به‌جز آبخیز ۱۲ به مراتع مناطق خشک و نیمه‌خشک اختصاص دارد که ساختار زمین‌شناسی آنها غالباً اسلیت و ماسه‌سنگ است و در گروه هیدرولوژیکی C قرار دارند. لذا اجرای سیستم مالچ در سطح این آبخیزها علاوه بر اینکه نقش مهمی در کاهش تبخیر از سطح خاک دارد باعث افزایش رطوبت خاک شده و در نهایت به تقویت پوشش گیاهی منطقه کمک می‌کند. با توجه به وضعیت فقیر پوشش گیاهی منطقه، طبق توصیه وانگ و همکاران در سال ۲۰۰۹ بهتر است از مالچ شنی- گراولی استفاده شود. همچنین آبگیرهای کوچک به‌عنوان اولویت دوم در سطوح کم شیب این آبخیزها می‌توانند به‌عنوان یک سیستم مکمل عمل کنند.

برای گروه ۵ که آبخیز ۳ (قره‌کهریز) را شامل می‌شود سیستم استحصالی آبگیرهای کوچک به‌عنوان سیستم بهینه در اولویت قرار دارد و مالچ در اولویت دوم است. این اولویت‌پذیری در آبخیز قره‌کهریز به‌گونه‌ای است که بیشترین سطح اراضی آن را مراتع و دیم‌زار تشکیل داده که سطح وسیعی از ساختار زمین‌شناسی آنها شیل، ماسه‌سنگ و آهک اربیتولین‌دار است. اما بیشترین سطح واحدهای زمین‌شناسی این آبخیز به پادگانه‌های آبرفتی تعلق دارد که شامل کاربری‌های دیم، آبی، باغ و تا حدودی مسکونی- صنعتی است که در گروه هیدرولوژیکی B قرار دارند. لذا طبق نتایج سپاسخواه و فولادمند در سال ۲۰۰۴ و همچنین لی و همکاران در سال ۲۰۰۵ با اجرای سیستم آبگیرهای کوچک به‌عنوان سیستم استحصالی بهینه در آبخیز قره‌کهریز، می‌توان با جمع‌آوری رواناب در شیب‌های کم و نسبتاً مسطح، علاوه بر رفع کمبود آب کشاورزی اراضی آبی و باغی، سطح زیر کشت را نیز بالا برد[۱۲ و ۲۴]. همچنین اولویت دوم این آبخیز که به سیستم مالچ تعلق دارد بیشتر برای اراضی مرتعی توصیه می‌شود زیرا اراضی مرتعی آبخیز قره‌کهریز مشابه با آبخیزهای گروه ۱، ۳ و ۴ است و استفاده از سیستم مالچ می‌تواند علاوه بر افزایش رطوبت خاک به تقویت پوشش گیاهی منطقه کمک کند.

اما برای گروه ۲ که آبخیز ۴ (شهر اراک) و آبخیز ۲ را شامل می‌شود استفاده از تانک‌های آب به‌عنوان سیستم بهینه در اولویت قرار دارد و عدم اجرای سیستم استحصالی در اولویت دوم است.

www.SID.ir
Archive of SID

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه تانک‌های آب از رواناب سقف تأسیسات تغذیه می‌شوند لذا اجرای این سیستم استحصالی در آبخیز شهری اراک می‌تواند به‌خوبی به‌عنوان یک منبع مکمل آب برای مصارف غیرشرب به‌حساب آید.

همچنین آبخیز ۲ که با مساحت تقریبی ۱ کیلومترمربع در جنوب آبخیز شهر اراک است نیز از این شرایط برخوردار است. با این‌حال اندازه تانک‌های آب باید با توجه به‌شدت بارش منطقه و هزینه اجرای سیستم تعیین شود زیرا هزینه کل در واحد ظرفیت، با افزایش ظرفیت تانک کاهش می‌یابد و همچنین متوسط بارندگی سالانه و شدت بارندگی به‌طور مستقیم بر اندازه تانک آب اثرگذارند. در صورت اجرای این سیستم با اضافه کردن یک منبع آبی جدید، علاوه بر کاهش فشار بر منابع آب زیرزمینی حومه شهر اراک، می‌توان آب انتقالی از سد کمال‌صالح را بهتر مدیریت کرد زیرا همان‌طور که قبلا هم اشاره شد این طرح انتقالی به‌عنوان یک منبع آبی بلندمدت برای کل خانوارهای شهر اراک قلمداد نمی‌شود و با توجه به هزینه‌های بسیار بالای این طرح، استفاده بیش از حد این منبع آبی برای مصارف غیرشرب مقرون به‌صرفه نیست. بنابراین با اجرای سیستم تانک آب در آبخیز شهری اراک می‌توان آب انتقالی از سد کمال‌صالح را برای سالهای بیشتر در اختیار مصرف شرب خانوارها قرار داد.

با توجه به مطالب مذکور، اجرای سیستم‌های استحصالی بهینه برای آبخیزهای مشرف به شهر اراک نیازمند برنامه‌ریزی‌های دقیق و جامع است. از طرفی پذیرش مردمی و درجه رضایت‌مندی آنها نقش مؤثری در اجرای موفق این سیستم‌ها دارد. در نهایت خاطر نشان می‌شود جمع‌آوری آب باران یک تکنیک مهم برای افزایش ذخیره آب و مدیریت خردمندانه و صحیح آن است که رویکرد علمی ساختاری و منظم این تکنیک، نیازمند اطمینان داشتن از مزایای حداکثری آن است.

۶- قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی" بررسی امکان استفاده از سیستم‌های استحصال رواناب در زمان وقایع سیلابی حوزه آبخیز شهری اراک" است. نویسندگان به این وسیله از زحمات همکاران طرح پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد اراک تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۷- منابع

1- Groffman, P.E., Law, N.E., Belt, K.T., Band, L.E., and Fisher, G.T. (2004). "Nitrogen fluxes and retention in urban watershed ecosystems." *J. of Ecosystems*, 7, 393-403.

2- Morton, B. (2002). *Jordan cove urban watershed project*, UNI-GROUP, USA.

3- Muthukrishnan, S., Madge, B., Selvakumar, A., Field, R., and Sullivan, D. (2004). *The use of best management practices (BMPs) in urban watersheds*, EPA/600/R-04/184, 271p.

4- Platt, R.H. (2006). "Urban watershed management sustainability, one stream at a time." *Heldref Publications, Issue of Environment*, 48(4), 26-42.

5- Surfrider Foundation. (2008). *Solving the urban runoff problem a vision for the urban watershed entura*, Campbell Foundation, Patagonia Inc., and others. California, USA.

6- Obeidat, M., and Awawdeh, M. (2002). "GIS-based multi-criteria analysis for mapping potential sites for rainwater harvesting in The Hamad basin, Northeast Jordan." Jordan University of Science and Arts Irbid-Jordan.

7- Oweis, T., and Hachum, A. (2006). "Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa." *J. of Agricultural Water Management*, 80, 57-73.

8- Winnaar, G.D., Jewitt, G.P.W., and Horan, M. (2007). "A GIS-based approach for identifying potential runoff harvesting sites in the Thukela river basin, South Africa." *J. of Physics and Chemistry of the Earth*, 32, 1058-1067.

9- Mishra, A.K., and Sharma, U.C. (2001). "Traditional wisdom in range management for resource and environment conservation in north eastern region of India." *J. of Himalayan Ecol. Dev*., 9(1), 20-24.

10- Yuan, T., Fengmin, L., and Puhai, L. (2003). "Economic analysis of rainwater harvesting and irrigation methods, with an example from China." *J. of Agricultural Water Management*, 60(3), 217-226.

Archive of SID

www.SID.ir

11- Adekalu, K.O., Balogun, J.A., Aluko, O.B., Okunade, D.A., Gowing, J.W., and Faborode, M.O. (2009). "Runoff water harvesting for dry spell mitigation for cowpea in the savannah belt of Nigeria." *J. of Agricultural Water Management*, 96(11), 1502-1508.

12- Li, X.Y., Liu, L.Y., Gao, S.Y., Shi, P.J., Zou, X.Y., and Zhang, C.L. (2005). "Microcatchment water harvesting for growing Tamarix ramosissima in the semiarid loess region of China." *J. of Forest Ecology and Management*, 214(1-3), 111-117.

13- Lundgren, A., and Akerberg, H. (2006). "Rainwater harvesting in the peri-urban areas of Accra: Status and prospects." M.Sc. Thesis, TRITA– LWR, Stockholm.

14- Ahmed, A.O.C., Nagasawa, R., Hattori, K., Chongo, D., and Perveen, M.F. (2007). "Analytical hierarchic process in conjunction with GIS for identification of suitable sites for water harvesting in the oasis areas: Case study of the oasis zone of Adrar, northern Mauritania." *J. of Applied Sciences*, 7(19), 2911-2917.

15- Balooni, K., Kalro, A.H., and Kamalamma, A.G. (2008). "Community initiatives in building and managing temporary check-dams across seasonal streams for water harvesting in South India." *J. of Agricultural Water Management*, 95(12), 1314-1322.

16- Wang, Y., Xie, Z., Malhi, S.S., Vera, C.L., Zhang, Y., and Wang, J. (2009). "Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semi-arid Loess Plateau, China." *J. of Agricultural Water Management*, 96(3), 374-382.

17- Ibrahim, M.B. (2009). "Rainwater harvesting for urban areas: A success story from gadarif city in central sudan." *J. of Earth and Environmental Science*, 23(13), 2727-2736.

18- Tahmasebi, R., and Rajabi Sani, R. (2006). "Rainwater collection in natural area, a way to improve water scarcity in arid and semi arid area (Case Study, Latyan watershed)." *J. of Development and Geography*, 4, 42-23. (In Persian)

19- Shah Vali, M., and Abedi Sarvestani, A. (2006). "Investigation and improvement of traditional water harvesting system in arid and semi arid rangelands." *J. of Geographical Research*, 1, 74-101. (In Persian)

20- Mianabadi, A., and Afshar, H. (2008). "Mullti-attribute decision making to rank urban water supply projects." *J. of Water and Wastewater*, 66, 34-45. (In Persian)

21- Parvinnia, M., Rakhshandehroo, Gh., and Monajemi, P. (2008). "Investigation of quality and reclamation of urbon storm runoff in city of Shiraz." *J. of Water and Wastewater*, 66, 46-55. (In Persian)

22- Salavitabar, A., Zarghami, M., and Abrishamchi, A. (2006). "A system dynamics approach for integrated urban water management." *J. of Water and Wastewater*, 59, 12-28. (In Persian)

23- Jihad-Agriculture Organization of Markazi Provinces. (2008). *Integrated study of Gharahkahriz watershed*, Arak. (In Persian)

24- Sepaskhah, A.R., and Fooladmand, H.R. (2004). "A computer model for design of micro catchment water harvesting systems for rain-fed vineyard." *J. of Agricultural Water Management*, 64, 213-232.

Archive of SID

www.SID.ir