



استحصال آب باران راهی به سوی توسعه پایدار

بهزاد عادل^۱، غلامرضا زهتابیان^۲، احد توسلی^۳، ملیحه سادات ظریف^۴، طاهر نژادعلوی^۵، مهدی محمودی^۶

۱- ۴، ۳- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، هرمزگان

۲- استاد آب، خاک و گیاه گروه مهندسی احیاء مناطق خشک و کوهستانی دانشگاه تهران

۵- کارمند اداره منابع طبیعی شهرستان بهمئی-استان کهگیلویه و بویراحمد

۶- دانشجوی دکتری رشته علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان

۱- پست الکترونیک: Adeli_behzad66@yahoo.com

چکیده

در جوامع زیستی آب یکی از اساسی‌ترین محورها و نیرومحرکه برای رسیدن به توسعه پایدار است. با توجه به کاهش سرانه‌ی آبی کشور، استفاده از منابع آبی غیرمتعارف تنها گزینه‌ی در دسترس برای مدیریت پایدار منابع آبی کشور می‌باشد. از مهمترین منابع آب غیر متعارف که می‌توان با حداقل هزینه و در محل مصرف برداشت نمود آب باران می‌باشد. لذا در این تحقیق سعی شده است تا ضمن بررسی روش‌های مختلف استحصال آب باران، چالش‌ها و فرصت‌های این تکنولوژی نیز مورد توجه قرار گیرد. بررسی‌ها نشان دهنده‌ی اثرات مثبت اقتصادی و اجتماعی این روش برای استحصال آب باران و ارزان و به صرفه بودن این روش می‌باشد. همچنین نتایج این بررسی نشان می‌دهد که از یک طرف می‌توان با کاهش سطح جمع‌آوری کننده تا حد بهینه و تیمار آن کیفیت آب جمع‌آوری شده را افزایش داد و از طرف دیگر با کاهش حجم مخزن ذخیره‌سازی هزینه‌ی کلی پروژه را کاهش داد و احداث پروژه استحصال آب را از لحاظ اقتصادی نیز توجیه نمود. تحقیق حاضر، با توجه به سابقه‌ی طولانی مدت استحصال آب بویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک از یک سو و عدم توسعه‌ی شیوه‌های نوین استحصال آب علی‌رغم نیاز مبرم به توسعه‌ی این روش‌ها از سوی دیگر، نقش دولت مردان را در عدم توسعه‌ی این گونه روش‌ها را بیش از هر عامل دیگری حائز اهمیت می‌داند.

واژه‌های کلیدی: آب غیرمتعارف، استحصال آب، سرانه آبی، چالش‌ها، فرصت‌ها، حوزه آبریز

مقدمه

گرمایش جهانی^۱، نوسانات اقلیمی، عدم توازن توزیع زمانی و مکانی بارش و قرارگیری کشور ایران در کمربند خشک‌ونیمه خشک جهان از یک سو همچنین افزایش روزافزون جمعیت از سویی دیگر باعث سیر نزولی سرانه‌ی آبی کشور شده است. طی دهه‌های اخیر منابع آب شیرین جهان به دلیل افزایش جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی کمیاب‌تر شده است (Postal et

¹ Global Warming



al, ۱۹۹۶). ایران با میانگین بارندگی سالانه کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر در پهنه‌بندی خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد (ناظم‌السادات و همکاران، ۱۳۸۵؛ کاووسی و مشکاتی، ۱۳۸۶). این در حالی است که از یک‌سو سرانه منابع آب تجدید شونده‌ی کشور حدود ۲۵ درصد سرانه جهانی می‌باشد (کاووسی و مشکاتی، ۱۳۸۶) و از سوی دیگر پیش‌بینی جمعیت کشور نشان داد که جمعیت کنونی کشور (از ۷۴ میلیون در سال ۱۳۹۰) به ۹۰ میلیون طی سال ۱۰ سال آینده خواهد رسید (مرکز آمار، ۱۳۹۰). به‌طور کلی عوامل متعددی همچون زمین‌شناسی، آب و هوا، شرایط هیدرولوژیکی و همچنین عوامل طبیعی و غیر طبیعی بسیاری بر کیفیت آب‌ها تأثیر گذار می‌باشند (زهتابیان و همکاران، ۱۳۸۲). افزایش جمعیت نیز به‌عنوان یکی از عوامل مهم و اساسی تأثیرگذار بر کیفیت آب‌های در دسترس شناخته شده است. افزایش جمعیت، توسعه‌ی شهرنشینی و تمرکز جمعیت با تولید پساب‌ها و فاضلاب‌های شهری، روستایی و صنعتی باعث آلودگی منابع آب بصورت منطقه‌ای خواهد شد. حال چنانچه به چالش‌های یاد شده وقوع نوسانات اقلیمی و پدیده‌های حدی سیل و خشک‌سالی را نیز اضافه نمود، ضرورت برنامه‌ریزی جهت مقابله با این چالش‌ها بیش از پیش نمایان خواهد شد (عادلی و همکاران، ۱۳۹۱). چالش‌های مذکور با تحت تأثیر قرار گذاشتن کیفیت و کمیت آب‌های قابل دسترس، امنیت غذایی و سلامت جوامع زیستی را به‌طور جدی مورد تهدید قرار خواهند داد. این تغییرات که معمولاً بر اثر مدیریت غلط استحصال آب^۲ صورت می‌پذیرد مقدمه‌ای بر تخریب سایر منابع چه به‌صورت مستقیم و چه به‌صورت غیر مستقیم می‌باشد (زهتابیان و همکاران، ۱۳۸۹). لذا با توجه به نقش آب در تمامی بخش‌های زیستی و تولیدی؛ هر گونه دخل و تصرف غیرمدرانه در کیفیت و کمیت منابع آبی باعث اختلال در رسیدن به توسعه‌ی پایدار^۳ می‌گردد. از این جهت منابع آبی ورودی به سطح حوزه‌های کشور نیازمند مدیریت مدرانه و بهینه در جهت رفع مشکلات حاکم بر کلیه‌ی اکوسیستم‌های طبیعی کشور می‌باشد. چرا که حتی در مناطق با بارش بالا عدم توزیع زمانی و مکانی بارش می‌تواند بهره‌برداران را با مشکلات اساسی روبرو سازد (Srivastava, ۲۰۰۱). لذا بسیاری از صاحب‌نظران معتقد هستند با توجه به این‌که کمتر از یک درصد آب‌های جهان شیرین می‌باشد و برای مصارف شرب، کشاورزی و دیگر مصارف عمومی قابل دسترس است، آب باران می‌تواند منبع جانسین و مکمل مناسبی برای آب‌های شیرین جهان باشد. و به این خاطر است که این‌گونه سیستم‌ها بطور بسیار گسترده‌ای به‌عنوان راه‌حلی برای رفع کمبود آب پذیرفته شده‌اند (Liao & Cheng, ۲۰۰۹). استحصال آب باران به روش‌های سنتی، با هدف تأمین آب شرب برای انسان و حیوان و همچنین آبیاری در مقیاس کوچک، در مناطق خشک و نیمه خشک جهان دارای سابقه‌ی ۴۰۰۰ ساله است (بهزادفر، ۱۳۹۱). آب باران منبعی رایگان، تقریباً پاک و قابل استفاده برای آشامیدن است که می‌توان آنرا با روش‌های مختلف استحصال نمود و از این طریق فشار بر منابع آب، اثرات ناشی از سیل و خشک‌سالی و فرسایش خاک را کاهش (Kim et al, ۲۰۱۲)، و انتظار تغذیه و افزایش سطح سفره‌های زیرزمینی را داشت. از سویی دیگر جمع‌آوری آب باران می‌تواند با فراهم نمودن امکان کشت زود هنگام و همچنین با در نظر گرفتن حداکثر استفاده از بارندگی‌ها، ضمن کاهش خطرات بالقوه، محصولات زراعی را در برابر انحرافات بارش بیمه نماید (Kim et al, ۲۰۱۲). سطوح قابل توجهی برای جمع‌آوری آب باران در محل وقوع، قبل از وارد آوردن خسارت‌های زیاد ناشی از تبخیر و تعرق و رواناب و سیل و قبل از این‌که توسط آلاینده‌های طبیعی یا انسانی آلوده شوند وجود دارد. این تکنولوژی بیشتر مناسب مناطقی است که در آنجا منابع آب سطحی و زیرزمینی در دسترس نیست یا با توجه به شرایط فیزیکی و شیمیایی زمین غیر قابل دسترس و غیر قابل استفاده باشند. این روش به عنوان یک روش القا کننده برای جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و نگهداری از آب

^۲ Water Harvesting

^۳ Development Sustainable



ذخیره شده برای کشاورزان، یک سیستم شناخته شده است (Ben-Asher & Boers, ۱۹۸۲). در این گونه سیستم‌ها از هر دو نوع سازه‌های بزرگ و کوچک همچون سینی‌های بارانی^۴، مخزن‌ها^۵، سدها و... برای ذخیره‌سازی و استحصال آب استفاده می‌شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی نقش جمع‌آوری آب باران در مدیریت بهینه‌ی منابع آبی به‌صورت کیفی و با استفاده از مستندات کتابخانه‌ای صورت گرفته است. در این تحقیق ضمن بررسی تجارب جهانی و ملی در زمینه‌های مطالعاتی و اجرایی این پروژه‌ها، مهمترین مزایا، معایب و موانع اجرایی پروژه‌های جمع‌آوری آب باران از سطوح مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفت. در پایان با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیق پیشنهاداتی نیز ارائه گردید.

اجزاء تشکیل دهنده‌ی سیستم‌های استحصال آب

این سیستم‌ها معمولاً از سه جزء اصلی سطح حوزه‌ی آبریز^۶، سیستم انتقال آب جمع‌آوری شده^۷ و مخزن نگهداری آب تشکیل می‌شوند.

۱- سطح حوزه آبریز سیستم جمع‌آوری کننده آب باران

سطحی که در آن بارش یا رواناب در ابتدا به دام انداخته می‌شود. و در بسیاری موارد سقف خانه، ساختمان و یا سطح زمین و یا سطوح سنگی می‌باشد.

۱-۱- روش پشت بام^۸

در این روش باران فرود آمده بر سطح پشت‌بام با استفاده از شریان‌هایی که در لبه‌ی ساختمان نصب می‌گردد جمع‌آوری شده و از طریق ناودان یا لوله به مخزن ذخیره‌ی آب متقل می‌گردد. پشت‌بام‌ها را می‌توان با طیف وسیعی از مواد شامل آهن گالوانیزه موج‌دار، ورقه‌های آلومینیومی، سیمان و یا از کاشی ساخته می‌شوند. البته سقف‌های ساخته شده از برگ نخل می‌تواند جایگزین کم‌هزینه برای موارد فوق باشد. البته این مواد به دلیل پتانسیل بالقوه برای آلوده سازی آب جمع‌آوری شده و مشکل بودن تمیزسازی، نسبت به سطوح ساخته شده از کاشی یا ورقه‌های فولادی در اولویت بعدی قرار دارند. این درحالی‌است که سقف‌های ساخته شده از ورقه‌های آریست، رنگ‌های فلزی و دیگر پوشش‌ها با پتانسیل آلوده سازی می‌تواند آب را آلوده کند (Gould, ۱۹۹۲). مجموعه سطوح مورد بررسی در این بخش بیشتر برای مصارف خانگی و کشاورزی در مقیاس کوچک کاربرد دارند. شکل ۱ شماتیک یک سیستم جمع‌آوری آب باران را نشان می‌دهد.

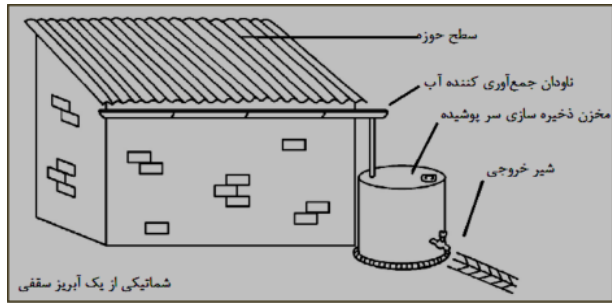
⁴ Water Pans

⁵ Tanks

⁶ Catchment Area

⁷ Conveyance System

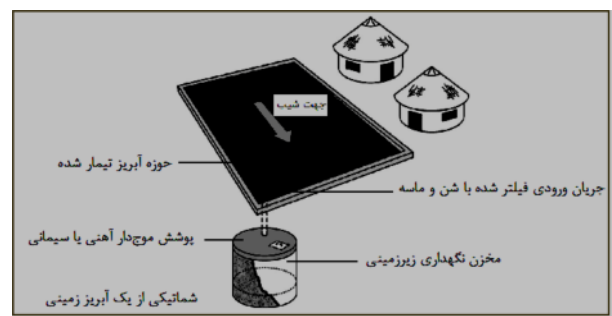
⁸ Roof-Top Method



شکل ۱- استحصال آب باران با استفاده از پشت‌بام

۱-۲- روش‌های مبتنی بر سطح زمین^۹

در این روش جریان آبی که در طول بارش در امتداد زمین حرکت می‌کند به سمت یک مخزن که معمولاً زیر سطح زمین قرار دارند سوق داده می‌شود. این گونه سیستم‌ها به دلیل نفوذ بیشتر آب به داخل زمین نسبت به روش جمع‌آوری آب باران از پشت‌بام از راندمان کمتری برخوردار است. همچنین در این گونه سیستم‌ها کیفیت آب جمع‌آوری شده نسبت به روش قبل پائین‌تر است. روش‌های مختلفی از جمله؛ پاک‌دن یا تغییر دادن پوشش گیاهی، استفاده از غشاهای نفوذناپذیر^{۱۰} و همچنین کاهش نفوذپذیری خاک با استفاده از فشرده‌سازی خاک و استفاده از مواد شیمیایی برای افزایش میزان رواناب و راندمان رواناب در این گونه سیستم‌ها به کار گرفته می‌شود (UNEP، ۱۹۸۲). این روش بیشتر برای تولید محصولات کشاورزی در مقیاس بزرگ و در مناطق مسطح استفاده می‌شود. این گونه سیستم‌ها به ما اجازه‌ی ذخیره‌سازی در محل و استفاده از آب شیرین برای آبیاری را فراهم می‌کنند. شکل ۲- شماتیکی از یک سیستم استحصال آب زمینی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- شماتیکی از یک سیستم استحصال آب از سطح زمین

۱-۳- Tasamares

⁹ Ground Surface Method
¹⁰ Impermeable membranes
¹¹ United Nations Environment Programme



در پاراگوئه از مناطق با توپوگرافی کم برای ذخیره‌سازی باران استفاده می‌شود که به‌عنوان tasamares شناخته می‌شوند. این سازه‌ها در مناطق با خاک رس با حداقل عمق ۳ متر ساخته می‌شوند. در tasamares از کانال‌های توزیع کننده برای انتقال آب از محل ذخیره به مصرف استفاده می‌شود. منطقه‌ی جمع‌آوری و ذخیره‌سازی این سازه‌ها برای جلوگیری از آلودگی احتمالی توسط انسان و حیوان نیاز به حصارکشی دارد (UNEP, ۱۹۹۷).

۴-۱- سطوح سنگی

سطوح سنگی معمولاً می‌توانند به‌عنوان حوزه‌های جمع‌آوری کننده مورد استفاده قرار گیرند. همچنین این سطوح را که اغلب در بالای دامنه‌های صخره‌ای، برونزدهای سنگی، چاله و دره‌های طبیعی قرار دارند را می‌توان با ایجاد یک سد به سیستم‌های جمع‌آوری آب تبدیل کرد. جهت افزایش راندمان و توسعه‌ی این سطوح بایستی آن‌ها را از گیاهان و درز و شکاف سنگ‌ها پاکسازی نمود و حوزه‌ی آن‌را محصور ساخت. این سطوح بایستی دارای شکستگی یا ترک‌های زیاد باشند چرا که باعث نشت آب به‌درون زمین و زیر سد می‌شوند. در این روش همچون روش جمع‌آوری آب از سطح زمین، معمولاً کیفیت آب نسبت به آب جمع‌آوری شده از روش پشت‌بام است. البته در این روش نیز می‌توان کیفیت آب را با محدود سازی دسترسی انسان و حیوان بهبود بخشید. شکل ۳ یک سیستم جمع‌آوری آب از سطوح صخره‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۳- سیستم جمع‌آوری آب از سطوح صخره‌ای (بهزادفر، ۱۳۹۱)

۲- انتقال آب از سطوح جمع‌آوری کننده به مخزن نگهداری آب

برای انتقال آب سطوح جمع‌آوری کننده، راه‌های زیادی از جمله ناودان، لوله، سیستم‌های پرشی، سطوح تخلیه کننده و همچنین کانال مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مقیاس بزرگ برای انتقال آب این گونه سیستم‌ها ممکن است به پمپ نیاز داشته باشند. در استفاده از سیستم‌های انتقال آب جهت جلوگیری از تأثیر منفی مواد سازنده سیستم بر کیفیت آب، این سیستم‌ها بایستی از مواد بی‌اثر مثل چوب، پلاستیک، بامبو، فولاد ضدزنگ، آلومینیوم و یا فایبرگلاس ساخته شوند (UNEP, ۱۹۹۷). در حوزه‌های آبریز سنگی، می‌توان از یک دیوار سنگی ساخته شده از سنگ سخت به‌عنوان هسته و ملات به‌عنوان الحاق کننده برای انتقال آب استفاده کرد. برای انتقال آب از سطوح خانگی، ناودان، لوله‌های پائین، قیف و فیلتر برای انتقال و پاکسازی آب جمع‌آوری شده قبل از ورود به منبع ذخیره لازم است.



ابزار ذخیره‌سازی^{۱۲}

در پروژه‌های جمع‌آوری آب از این ابزار برای ذخیره‌ی آب جمع‌آوری شده به منظور استفاده در زمان لازم استفاده می‌شود. این گونه ابزار به دو صورت مخازن بالای سطح زمین^{۱۳} و آب انبار یا رگه‌های ذخیره‌سازی زیرزمینی^{۱۴} طبقه‌بندی می‌شوند. این تسهیلات می‌توانند در اندازه‌های با ظرفیت یک تا صدها متر مکعب برای پروژه‌های مختلف استفاده شوند.

حفظ و نگهداری سیستم

در حفظ، نگهداری و تمیز بودن آب ذخیره شده؛ تعمیر و نگهداری مخزن، بازرسی از ناودان‌ها لوله و شیرآلات معمولاً برای دفع مواد زاید انباشته شده لازم است. این چنین بازرسی‌هایی بایستی در محل و قبل از شروع بارش‌های اصلی منطقه صورت گیرد. در مناطق با رژیم بارشی غیرمنظم و غیرقابل پیش‌بینی، تعمیر، نگهداری و تمیزسازی بیشتری برای پاک‌سازی و تمیز نگهداشتن آب و همچنین حفظ و نگهداری اجزای سیستم جهت اطمینان از کارایی مناسب سیستم در حین کار لازم است. از آنجائی که ترک در مخازن نگهداری آب می‌تواند باعث از دست رفتن آب استحصال‌ی باشد و کارایی سیستم را پائین آورد، بایستی فوری تعمیر گردد. حوزه‌های سنگی و زمینی نیازمند مراقبت‌های اضافی برای جلوگیری از آسیب و آلودگی توسط مردم و حیوانات و نیز عاری بودن سطح حوزه از پوشش گیاهی و ترک و سنگ‌های سوراخ‌دار می‌باشد. بطور کلی مقدار آب جمع‌آوری شده از سیستم‌های جمع‌آوری آب باران محدود و ناچیز می‌باشد و استفاده از آن بایستی با یک ایده‌ی عاقلانه و برای کاهش تنش‌های آبی در مواقعی که اکوسیستم با کمبود آب مواجه است مورد استفاده قرار بگیرد. به عنوان نمونه آبیاری تکمیلی یک استراتژی کلیدی است که می‌تواند بازدهی محصولات را تا ۱۰۰ درصد افزایش دهد. این درحالی‌است که با یک سرمایه‌گذاری اندک و با فراهم ساختن ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر آب اضافی در هکتار، می‌توان با بکارگیری آبیاری تکمیلی و ترکیب آن با مدیریت زراعی در مقیاس کوچک بهره‌وری آب و بازده محصولات را تا دو برابر افزایش داد (SEI & UNEP،^{۱۵} ۲۰۰۹).

مزایای استفاده از فن‌آوری جمع‌آوری آب باران

از مهمترین مزایای این سیستم‌ها راه‌اندازی و نصب راحت این سیستم‌ها می‌باشد. در استفاده از این سیستم‌ها از طرفی می‌توان مردم محلی را برای پیاده‌سازی و نصب این سیستم‌ها آموزش داد و از طرف دیگر مصالح ساختمانی آن‌ها به راحتی در دسترس و قابل وصول می‌باشند. این گونه روش‌ها از آنجائی که آب را در نقطه‌ی مصرف فراهم می‌سازند و توانایی کنترل کامل را برای بهره‌برداران فراهم می‌سازند از جمله روش‌های بسیار مناسب و قابل اطمینان می‌باشند. استفاده از این تکنولوژی منجر به ترویج خودکفایی بهره‌برداران آن با حداقل اثرات زیست‌محیطی است. از دیگر ویژگی‌های این روش پائین بودن هزینه‌های اجرایی، ساخت و ساز و نگهداری آن و از طرف دیگر کیفیت بالای آب استحصال شده بویژه برای مصرف کشاورزی، افزایش رطوبت خاک و افزایش سطح آب‌های زیرزمینی با تزریق مصنوعی آب به درون زمین می‌باشد. کلیه‌ی آثار عنوان شده در بالا در نهایت می‌تواند کشاورزان و بهره‌برداران آن را برای تنوع بخشیدن به موسسات خود، افزایش تولید

¹² Storage Devices

¹³ Above Ground Storage Tank

¹⁴ Cisterns or Under Ground Storage Vessels

¹⁵ Stockholm Environment Institute



و ارتقاء محصول انتخابی برای کشت و همچنین سرمایه‌گذاری در ورودی‌های تولیدی مانند زیرساخت‌های آبیاری، کود شیمیایی و مدیریت تلفیقی آفات ترغیب سازد (SEI & UNEP, 2009). موارد مذکور درحالی‌است که بهره‌وری پائین و متغیر اراضی دیم دلیل فقر بیش از ۷۰ درصد مردم فقیر جهان است (SEI & UNEP, 2009). در حالی‌که با استفاده از تکنولوژی جمع‌آوری آب باران می‌توان یک فرصت واقعی برای افزایش بهره‌وری در مناطق با بارش کم و نامنظم ایجاد کرد. در این مناطق توسعه سیستم‌های جمع‌آوری آب باران می‌تواند منجر به پیش‌برد برنامه‌ی توسعه از سطح مزرعه تا سطح منطقه بیانجامد. از آنجائی‌که این برنامه در جهت بهره‌برداری بهینه از منابع بدون وارد آورد خسارت به منابع موجود می‌باشد، در نهایت منجر به توسعه‌ی پایدار منطقه خواهد شد.

معایب تکنولوژی استحصال آب باران

از آنجائی‌که آب باران در دوره‌های خشک یا خشک‌سالی‌های طولانی مدت، یک منبع قابل اطمینان آب نیست، نقطه ضعف اصلی این تکنولوژی، عرضه‌ی محدود و عدم اطمینان از بارش باران می‌باشد. از یک طرف ظرفیت پائین مخازن و تبخیر بین وقوع بارندگی‌ها ذخیره‌سازی آب را محدود و از طرف دیگر افزایش ظرفیت مخازن، هزینه‌ها را افزایش و توجیه اقتصادی طرح را کاهش می‌دهد. جمع‌آوری آب باران در بالادست حوزه‌هایی با عرضه‌ی محدود آب، علاوه‌بر اینکه می‌تواند دارای آثار مخرب زیست‌محیطی در پائین‌دست باشد، ممکن است منجر به درگیری‌های جدی بین ساکنین پائین دست و بالادست این حوزه‌ها نیز گردد. همچنین در مواقعی که برای ذخیره‌سازی رواناب جمع‌آوری شده از یک سطح بزرگ، از مخازن کوچک استفاده می‌شود یک خطر بالقوه برای کاهش کیفیت آب با مواد شیمیایی و دیگر ناخالصی‌های کشاورزی وجود دارد (SEI & UNEP, 2009).

تجارب ملی و بین‌المللی از سیستم‌های استحصال آب باران

طراحی مناسب یک سیستم استحصال آب، بایستی علاوه بر مشخصات حوزه آبریز، با توجه به رفتار زمانی و مکانی بارش و میزان آب مورد نیاز صورت گیرد (Kim et al, 2012). لذا هزینه‌ی این سیستم‌ها با توجه به نوع حوزه‌ی آبریز، مواد مورد استفاده برای انتقال و مخزن ذخیره‌سازی آب بستگی دارد اما به‌طور کلی این‌گونه پروژه‌ها را جزء پروژه‌های کم هزینه‌به-شمار می‌آورند (UNEP, 1997). با این حال (Wang et al, 2009) تأکید دارند که کلیه‌ی هزینه‌های اجرایی طرح را بایستی قبل از اجرای طرح برآورد نمود. تأمین مخزن ذخیره‌ی آب با در بر گرفتن ۹۰ درصد هزینه‌های اجرایی پروژه، هزینه‌برترین قسمت یک سیستم جمع‌آوری آب باران می‌باشد. بررسی ۳۱۱ مورد مطالعه‌ی برنامه‌های آبخیزداری در هند که با هدف جمع‌آوری آب باران و مدیریت آن صورت گرفته بود نشان داد که این پروژه‌ها دارای متوسط سود به هزینه‌ی بالایی (۲/۱۴) می‌باشند (Jooshi et al, 2005). در بوتان فعالیت جمع‌آوری آب باران با هدف حفظ کشاورزان در برابر کم‌آبی دوره‌های خشک و بی‌نظمی‌های بارش‌های موسمی صورت گرفته است. این پروژه که شامل فعالیت‌های توسعه‌ی آبیاری در مقیاس کوچک بر اساس فناوری استحصال آب باران، تقویت مشارکت کشاورزان، تحقیق و توسعه‌ی خدمات، ارزیابی آسیب‌پذیری، دادن وام روستایی و مدیریت پروژه، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر دوره‌های خشک و بارش‌های بی‌نظم و موسمی، جانمایی مناطق مناسب برای استحصال آب باران، ارزیابی تکنولوژی‌های در دسترس جمع‌آوری آب باران، انطباق تکنولوژی متناسب با نیاز هر منطقه خاص، طرح‌های جدید تحقیقاتی و بسته‌های فناوری پیشرفته (مطالعه و مدل‌سازی رفتار رواناب



برای استحصال آب باران) بوده است و به مدت سه سال به طول انجامید ۸۵۰/۰۰۰ دلار هزینه در برداشته است (UNFCCC، ۲۰۰۸). جدول ۱ تفکیک هزینه‌های فعالیت‌های مذکور را نشان می‌دهد.

جدول ۱- تفکیک هزینه‌های پروژه‌ی ۳ ساله‌ی استحصال آب باران در بوتان (UNFCCC^{۱۶}، ۲۰۰۸)

ردیف	فعالیت	هزینه	
		سال اول	سال دوم
۱	توسعه‌ی آبیاری در مقیاس کوچک	۵۰/۰۰۰	۱۰۰/۰۰۰
۲	تقویت مشارکت، تحقیق و توسعه‌ی خدمات	۱۰۰/۰۰۰	۱۵۰/۰۰۰
۳	ارزیابی آسیب‌پذیری	۲۵/۰۰۰	-
۴	وام روستایی	-	۱۵۰/۰۰۰
۵	مدیریت پروژه	۱۰/۰۰۰	۱۵/۰۰۰
۶	هزینه‌ی کل	۲۱۰/۰۰۰	۲۷۰/۰۰۰

در بروندی پروژه‌های چهارساله به منظور نصب آزمایشی تکنولوژی برداشت آب و آموزش تکنسین‌های محلی در استفاده از آب استحصال شده، ۱۰۰۰/۰۰۰ دلار هزینه در برداشته است. جزئیات هزینه‌های این پروژه در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- هزینه‌های اجرایی طرح استحصال آب باران در بروندی (UNFCCC، ۲۰۰۸)

ردیف	فعالیت	هزینه (دلار)
۱	آموزش تکنسین‌های محلی طی دوره‌های ۳ ماهه خارج از کشور (آموزش در زمینه‌ی تخصیص آب ذخیره شده و تکنیک‌های آبیاری تکمیلی)	۱۰۰/۰۰۰
۲	آموزش محلی تکنسین‌ها برای برداشت آب و ذخیره سازی آن	۵۰/۰۰۰
۳	راه‌اندازی حداقل یک پایلوت جمع‌آوری آب باران و آبیاری تکمیلی	۴۰۰/۰۰۰
۴	تسهیل راه‌اندازی تأسیسات مشابه که مورد توجه بهره‌برداران می‌باشد.	۲۵۰/۰۰۰
۵	نصب سیستم انتقال آب	۲۰۰/۰۰۰
۶	کل	۱۰۰۰/۰۰۰

علاوه بر موارد مذکور دیگر مطالعات نیز نشان‌دهنده‌ی اثرات مثبت اجرایی این طرح‌ها در سایر مناطق می‌باشد. بطوری‌که بررسی اقتصادی طرح جمع‌آوری آب باران در هند نشان می‌دهد که این طرح ضمن افزایش اشتغال مردم محلی، باعث افزایش درآمد ساکنین تا ۳ برابر شده است. مقدار سود به هزینه برای این طرح ۱/۷۱ بدست آمده است (Swarn & yadav، ۲۰۰۶). جمع‌آوری آب باران از سیستم‌های روی دامنه‌ای در مناطق نیمه‌خشک چین نشان می‌دهد که سیستم‌های جوی و پشته بدون اعمال کردن تیمار، قادر به جمع‌آوری باران‌های حداقل نمی‌باشند از این‌رو ترکیبی از شیارها و پشته‌های تیمار شده به‌عنوان سیستم برداشت آب قادر به جمع‌آوری آب بارش‌های حداقل و توسعه‌ی چشم‌گیر منطقه می‌باشد (Li et al، ۲۰۰۸). یافته‌های (Wang et al، ۲۰۰۹) نشان می‌دهد که استفاده یک‌پارچه از RFRHS^{۱۷}، مالچ و آبیاری تکمیلی منجر به بهبود آب در دسترس و در نتیجه افزایش عملکرد پایدار محصولات زراعی می‌شود. بررسی‌ها نشان داد که ایجاد سیستم‌های

¹⁶ United Nations Framework Convention on Climate Change

¹⁷ Ridge and Furrow Rainfall Harvesting System



استحصال آب از پشت‌بام ساختمان‌ها و با در نظر گرفتن بارش متوسط منطقه توانستند میزان آب ورودی به فاضلاب را حدود ۲۸ درصد و تقاضای آب قابل شرب را تا ۵۳ درصد کاهش دهد (Basinger et al, ۲۰۱۰). (Han et al, ۲۰۱۳) با مطالعه و بررسی بر روی استفاده از مواد مالچی برای استفاده در سیستم‌های استحصال آب نتیجه گرفتند که مواد زیست-تخریب‌پذیر جایگزین زیست‌محیطی بسیار مناسبی برای مواد پلاستیک به‌کار رفته در سیستم‌های RFRA می‌باشند. عادل و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی اثرات اقتصادی-اجتماعی سطوح آبیگر بر زندگی عشایر شهرستان بهمئی نشان دادند که رضایت‌مندی بهره‌برداران از این طرح‌ها زیاد بوده و طرح مذکور بیشترین تأثیر را بر تأمین آب شرب دام داشته است. مطالعه‌ی اثر پخش سیلاب بر بهبود کیفیت آب قنات ایور نشان داد که اجرای طرح مذکور ضمن بهبود کیفیت آب قنات، دبی قنات را نیز از ۲۵ Lit/s در سال ۱۳۸۶ به ۳۵ Lit/s در سال ۱۳۸۹ افزایش داده است (آئینه‌بینی و سیامکی، ۱۳۹۱). مطالعه‌ی شاه‌کرمی و همکاران (۱۳۹۱) نشان دهنده‌ی افزایش ۴۵ درصدی نفوذ آب و کاهش ۴۴ درصدی سیلاب در منطقه‌ی ریمله در استان لرستان می‌باشد. ضمن این‌که طی اجرای طرح مذکور ۲۳۲ هکتار به اراضی آبی منطقه اضافه گردید. ارزیابی اقتصادی ذخیره‌ی آب باران برای فضای سبز مشهد نشان دهنده‌ی نسبت سود به هزینه‌ی مثبت و برابر ۱/۱۴ بوده که نشان دهنده‌ی اقتصادی بودن پروژه‌ی مذکور می‌باشد (منصوریان، ۱۳۹۱). همچنین ارزیابی عملکرد سطوح آبیگر باران در مناطق مسکونی برای تأمین نیاز آبی شهر قزوین نشان دهنده‌ی تأمین نیاز آبی غیر شرب ساکنان برای ۲۰ و ۲۷ درصد از کل روزهای سال بترتیب با استفاده از سطح کوچک و بزرگ و تأمین این نیاز ۳۵ و ۱۰ درصد از کل روزهای سال به‌ترتیب توسط مخازن بزرگ و کوچک است (رشیدی‌مهرابی و همکاران، ۱۳۹۱). ارزیابی کیفیت و کمیت آب نیز نشان دهنده‌ی اثر مثبت اجرای طرح‌های استحصال آب بر کاهش فشار مصرف آب شیرین بویژه در ماه‌های خشک‌سال می‌باشد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که بخش اولیه‌ی رواناب مناسب نبوده و بایستی با نصب فیلتر یا انحراف آن، نسبت به حفظ کیفیت مطلوب آب استحصال شده مبادرت ورزید (سعدالدین و همکاران، ۱۳۹۱). از سویی دیگر بررسی کیفیت آب استحصال شده از سطوح آبیگر شهری با دیدگاه کاربری در آبیاری تکمیلی، نشان داد که کیفیت آب برای کشاورزی و بر اساس دیاگرام ویلکوکس مناسب بوده و اکثر نمونه‌ها در این تحقیق در رده‌ی C1-S2 قرار دارند (عباسی و همکاران، ۱۳۹۱).

الزامات نهادی و سازمانی

نصب و راه‌اندازی تکنولوژی جمع‌آوری آب باران ساده و هیچ نهاد و سازمانی متولی آن نمی‌باشد. با این حال دولت‌مردان می‌توانند با ارائه‌ی یارانه نقش کلیدی از خرید تجهیزات و فناوری‌های در دسترس، برای بهره‌بردارانی که مشکل سرمایه-گذاری در مقیاس کوچک را داشته باشند، ایفا نمایند. در این راستا اطلاعات کلیدی از دانش مورد نیاز در ارتباط با استحصال آب آمده است.



جدول ۳- دانش مورد نیاز برای جمع‌آوری آب باران

ردیف	دانش مورد نیاز برای بهره‌برداری از آب باران
۱	مقدار بارش (mm/year)
۲	نوع الگوی بارش الف
۳	مساحت سطح جمع‌آوری کننده (m ²)
۴	ظرفیت ذخیره‌سازی در دسترس
۵	نرخ مصرف روزانه (lit/n/day)
۶	تعداد کاربران
۷	هزینه ^۳
۸	منابع آب جایگزین ^۴
۹	استراتژی مدیریت آب ^۵

الف. نوع الگوی بارش به همراه میزان کل بارش، غالباً امکان استفاده از تکنولوژی آب باران را تعیین میکند و در مناطقی که بارش‌ها به‌طور منظم در طول سال می‌بارد نیاز به ذخیره‌سازی کم بوده و هزینه‌ی اجرایی سیستم نیز کاهش خواهد یافت. **ب.** عامل اصلی برای احداث هر طرح، **ج.** وجود منبع آب جایگزین در هر منطقه‌ای می‌تواند تفاوت قابل ملاحظه‌ای در الگوی مصرف ایجاد نماید. به‌طور مثال چنانچه در نزدیکی محل یک منبع قابل اعتماد آب زیرزمینی وجود داشته باشد می‌توان از آب جمع‌آوری شده اقدام به تأسیس باغچه نمود و از این طریق معیشت خانواده را نیز متحول ساخت. **د.** مدیریت منابع آب بایستی دارای یک استراتژی محطاطانه باشد و چنانچه در جایی از جمع‌آوری آب استحصال شده اطمینان حاصل شد ملزم به لحاظ مدیریت محطاطانه در امر تخصیص و کنترل آب هستیم تا قبل از انتظار منبع ذخیره‌ی آب خشک نگردد.

موانع اجرایی

هزینه‌ی سیستم ذخیره‌ی آب باران در سیستم‌های استحصال آب باران اغلب به‌عنوان یک مانع بالقوه برای گسترش این تکنولوژی شناخته شده است (Gold, ۱۹۹۲). از طرفی برای خانواده‌های فقیر تنها راه دست‌یابی به این تکنولوژی، تأمین منابع مالی همراه با یارانه می‌باشد و از طرف دیگر فقدان سیاست‌های ملی در جهت جمع‌آوری آب باران نیز می‌تواند علاوه بر دسترسی به منابع مالی و فنی، مانعی برای گسترش این گونه سیستم‌ها می‌باشد.

نتیجه‌گیری

روش‌های استحصال آب باران را می‌توان بر اساس حوزه‌ی جمع‌آوری کننده‌ی آب به روش‌های مبتنی بر جمع‌آوری آب از سقف ساختمان و روش‌های استحصال از زمین‌های تیمار شده تقسیم‌بندی نمود. لذا بر حسب نوع سطح حوزه‌های مورد استفاده برای استحصال آب، تفاوت‌های قابل توجهی از لحاظ کیفیت و کمیت آب استحصال شده از این روش‌ها قابل مشاهده می‌باشد. از آنجائی که حوزه‌های سقفی دارای سطح محدودتری بوده و به‌جزء کاربری ساختمانی کاربری دیگری برای آن‌ها در نظر گرفته نشده است دارای کیفیت آب مطلوب‌تری نسبت به روش‌های زمینی می‌باشد. همچنین در روش‌های مبتنی بر پشت‌بام با توجه به نفوذپذیری بسیار پائین سطح حوزه، ضریب رواناب در این روش‌ها بسیار بالا می‌باشد. این امر در نهایت باعث برتری کمی آب استحصال شده علاوه‌بر کیفیت مطلوب‌تر آن نسبت به روش‌های مبتنی بر زمین می‌شود. از دیگر عوامل موثر کیفیت و کمیت آب استحصال شده در روش‌های مذکور موقعیت فضایی سیستم استحصال آب، کاربری سطح حوزه و جنس مواد بکار رفته در اجرای سیستم می‌باشد. بطوریکه در مناطق با فعالیت صنعتی و شهرهای کلان که میزان آلاینده‌های زیست‌محیطی در آنها بالا می‌باشد، تخصیص آب استحصال شده به بخش‌های مختلف با محدودیت بیشتر و جدی‌تری نسبت به آب جمع‌آوری شده از پشت‌بام خانه‌های روستایی و ویلایی برخوردار می‌باشد. کمیت



آب استحصال شده در روش‌های مبتنی بر زمین نیز متأثر از نوع زمین، میزان شیب، وجود زیر واحدهای ناهمواری و بطور کلی تحت تأثیر عوامل موثر بر میزان نفوذ و رواناب می‌باشد. کیفیت آب در این حوزه‌ها نیز علاوه بر این که می‌تواند تحت تأثیر خصوصیات زمین‌شناسی حوزه قرار گیرد، متأثر از اندازه‌ی سطح جمع‌آوری کننده، کاربری اراضی حوزه آبریز، شکل و همچنین موقعیت مکانی حوزه آبریز می‌باشد. بطوری که هر چه سطح حوزه بزرگتر و کاربری آن از کاربری طبیعت بکر به کاربری‌های تحت تصرف انسان نزدیک‌تر شود، انتظار آلودگی آب استحصال شده افزایش خواهد یافت.

از آنجائی که رواناب آبریزهای با شکل نزدیک به دایره در مقایسه با دیگر اشکال ممکن یک حوزه آبریز زودتر به خروجی حوزه می‌رسد، لذا رواناب خروجی از سطح حوزه فاصله‌ی کمتری را طی نموده و فرصت کمتری برای نفوذ و تبخیر و همچنین حل مواد معدنی خاک داشته است. در نتیجه این فعل و انفعالات در نهایت منجر به برتری کیفیت آب استحصال شده در حوزه‌های دایره‌ای شکل نسبت به دیگر اشکال حوزه در شرایط مساوی می‌باشد. چنانچه حوزه‌ی آبریز سیستم استحصال آب باران متشکل از سطوح و برونزدهای سنگی یا اراضی منتهی به کوهستان باشد، با توجه به تعدد کمتر کاربری‌ها، جنس سخت مواد سازنده و شیب نسبتاً زیاد حوزه آبریز انتظار می‌رود کیفیت و کمیت آب در این حوزه‌ها نسبت به حوزه‌های زمینی بیشتر باشد.

همچنین در این سیستم‌ها علاوه بر سطح حوزه، سیستم انتقال و ذخیره‌ی آب نیز دارای اشکال و جنس‌های متفاوتی می‌باشد بطوری که در تعیین هزینه‌ی کلی پروژه نقش اساسی ایفا می‌کنند. در بین اجزای سیستم استحصال آب، منبع ذخیره با اختصاص تقریباً ۹۰ درصد هزینه، هزینه‌برترین بخش یک سیستم استحصال آب باران می‌باشد. لذا هر آنچه که بتوان در ساخت این اجزاء از منابع قرضه‌ی طبیعی استفاده نمود، می‌توان هزینه‌ی نهایی پروژه را تا اندازه‌ی قابل توجهی کاهش داد. کاهش هزینه‌ها در امر تأسیس همچنین پروژه‌های باعث امکان استفاده از آن برای تمامی اقشار جامعه می‌باشد. با این حال نقش دولت‌مردان و سیاسیون در تصویب طرح‌های استحصال آب در مناطق مستعد و اختصاص یارانه به این بخش و حتی ملزم کردن شهرداری‌ها به پیش‌بینی سیستم‌های اتصال آب باران از پشت‌بام در مجوزهای ساختمانی می‌تواند منجر به توسعه‌ی هر چه سریع‌تر و بهتر این تکنولوژی در کشور شد. با توسعه‌ی این تکنولوژی می‌توان فشار موجود بر منابع آبی کشور به طرز قابل چشم‌گیری کاست و با استفاده از آبیاری تکمیلی بهره‌وری کشاورزی به‌ویژه در مناطق دیم‌زار را افزایش داد. از آنجائی که دلیل فقر بیش از ۷۰ درصد مردم فقیر جهان، بهره‌وری پائین و متغیر اراضی دیم عنوان گردید، لذا افزایش بهره‌وری در این اراضی در نهایت منجر به بهبود معیشت مردم و تحقق توسعه‌ی پایدار می‌شود.

پیشنهادات

۱. مدل‌سازی بارش رواناب برای طراحی سیستم‌های استحصال آب باران.
۲. بهینه‌سازی طراحی مخزن سیستم‌های استحصال آب.
۳. اولویت‌بندی مناطق مختلف کشور برای اجرای روش‌های استحصال آب باران.
۴. بررسی مهمترین موانع اجرایی و توسعه‌ی تکنولوژی استحصال آب در کشور.

منابع



- آئینه‌بستگی س.، سیامکی م.، (۱۳۹۱). " اثر پخش سیلاب در تغذیه قنوات (مطالعه موردی حوزه آبخیز ایور گرمه " اولین کنفرانس ملی سامانه‌های سطوح آبخیز، ۲۲ و ۲۳ آذرماه. مشهد مقدس.
- بهزادفر م.، (۱۳۹۱)، " استحصال آب از بیرون‌زدگی‌های سنگی: آشنایی با تجربیات کشور کنیا". اولین کنفرانس ملی سامانه‌های سطوح آبخیز، ۲۲ و ۲۳ آذرماه. مشهد مقدس.
- رشیدی‌مهرابی م. ح.، ثقفیان ب.، شمسانی ا.، (۱۳۹۱). " ارزیابی عملکرد سطوح آبخیز باران در مناطق مسکونی برای تأمین نیازهای آبی (مطالعه‌ی موردی شهر قزوین)" اولین کنفرانس ملی سامانه‌های سطوح آبخیز، ۲۲ و ۲۳ آذرماه. مشهد مقدس.
- زهتابیان غ. ر.، جان‌افزا ع. ا.، محمدعسگری ح.، نعمت‌الهی م. ج.، (۱۳۸۹). "مدلسازی توزیع مکانی برخی از خصوصیات شیمیایی آب‌های زیرزمینی(مطالعه موردی حوزه آبخیز گرمسار)" فصل‌نامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و آبخیزداری، ۱۷(۱): ۷۳-۶۱.
- زهتابیان غ. ر.، رفیعی‌امام ع.، علوی‌پناه س. ک.، جعفری م.، (۱۳۸۲). " بررسی کیفیت آب رودخانه جاجرود در ورامین" مجله بیابان، ۸(۲): ۱۷۶-۱۶۵.
- سعدالدین ا.، بای م.، نعیمی ا.، پیرودیان ن.، کریمی د.، جندقی ن.، (۱۳۹۱). " ارزیابی کمیت و کیفیت آب باران قابل جمع‌آوری از سطوح بام ساختمان‌ها (مطالعه‌ی موردی پردیس‌های دانشگاه منابع طبیعی گرگان)". اولین کنفرانس ملی سامانه‌های سطوح آبخیز، ۲۲ و ۲۳ آذرماه. مشهد مقدس.
- شاه‌کریمی ع. ا.، دریکوند ف.، ویسکریمی ا.، پیامی ک.، (۱۳۹۱). " احیای مراتع و جنگل‌کاری با استفاده از آب باران و مشارکت مردم در حوزه آبخیز ریمله " اولین کنفرانس ملی سامانه‌های سطوح آبخیز، ۲۲ و ۲۳ آذرماه. مشهد مقدس.
- عادلی ب.، مرادی ح.، نوری ا.، (۱۳۹۱). " اثرات اقتصادی-اجتماعی سطوح آبخیز باران بر زندگی عشایر روستای دوپرنظری شهرستان بهمئی " اولین کنفرانس ملی سامانه‌های سطوح آبخیز، ۲۲ و ۲۳ آذرماه. مشهد مقدس.
- عباسی ع.، طباطبایی‌یزدی.، تکلی ح.، خوشبزم ا.، (۱۳۹۱). " بررسی کیفیت آب باران جمع‌آوری شده از سطوح آبخیز شهری با دیدگاه استفاده در آبیاری تکمیلی فضای سبز" اولین کنفرانس ملی سامانه‌های سطوح آبخیز، ۲۲ و ۲۳ آذرماه. مشهد مقدس.
- کاووسی ا.، مشکاتی س. م.، (۱۳۸۶). "پهنه‌بندی و تحلیل فضایی بارش اقلیمی ایران"، محیط‌شناسی، ۳۳(۴۳): ۴۰-۳۱.
- منصوریان ن.، ا.، (۱۳۹۱). "ارزیابی اقتصادی ذخیره‌ی آب باران برای فضای سبز مشهد" اولین کنفرانس ملی سامانه‌های سطوح آبخیز، ۲۲ و ۲۳ آذرماه. مشهد مقدس.
- مرکز آمار ایران (۱۳۹۰). "اطلاعات منتخب جمعیت خانوارهای شهری و روستایی".
- ناظم‌السادات س. م. ج.، سامانی ن.، باری ا.، مولایی‌نکو م. (۱۳۸۵). "نیروی موثر بر پدیده‌ی النینو-نوسانات جنوبی (ENSO) بر ایجاد تغییر اقلیم در ایران با استفاده از تحلیل داده‌های بارش". مجله علوم و تکنولوژی، ۳۰(۴): ۵۶۵-۵۵۵.
- Basinger M., Montalto F., Lall U., (2010).** "A Rainwater Harvesting System Reliability Model Based on Nonparametric Stochastic Rainfall Generator." *Journal of Hydrology* 392(3): 105-118.
- Boers T. M. and Ben-Asher J. (1982)** "A Review of Rainwater Harvesting". In *Agriculture Water Management*. 5:145-158.
- Cheng, C. and Liao M., (2009).** "Regional Rainfall Level Zoning for Rainwater Harvesting Systems in Northern Taiwan." *Resources, Conservation and Recycling* 53(8): 421-428.
- Han, J., Zhi-Kuan J., Qing-Fang H., Jie Z., (2013).** "Application of Mulching Materials of Rainfall Harvesting System for Improving Soil Water and Corn Growth in Northwest of China." *Journal of Integrative Agriculture* 12(10): 1712-1721.



- Gould, J. E. (1992).** "Rainwater Catchment Systems for Household Water Supply" in Environmental Sanitation Reviews, No. 32, ENSIC, Asian Institute of Technology, Bangkok.
- Meta Analysis to Assess Impact of "**Joshi, P.K., A. K. Jha, S.P. Wani, L Joshi, R. L. Shiyani (2005).** . Comprehensive Assessment Research Report 8, International "Watershed Programme and People's Action Water Management Institute, Colombo.
- Kim, H., Han M., Lee J., (2012).** "The Application of an Analytical Probabilistic Model for Estimating the Rainfall–Runoff Reductions Achieved Using a Rainwater Harvesting System." Science of the Total Environment 424: 213-218.
- Li, X.-Y., Zhao W.-W., Song Y.-X., Wang, W., Zhang X.-Y., (2008).** "Rainfall Harvesting on Slopes Using Contour Furrows With Plastic-Covered Transverse Ridges for Growing Caragana Korshinskii in the Semiarid Region of China." Agricultural Water Management 95(5): 539-544.,
- Postel, S.L., Daily, G.C., and Ehrlich, P.R. (1996),** "Human Appropriation of Renewable Fresh Water". Science 271: pp. 785-788.
- Srivastava., R. (2001).** "Methodology for Design of Water Harvesting System for High Rainfall Areas." Agricultural Water Management 47(1): 37-53.
- Swarn L. A., and Yadav R. P., (2006).** "Economic Viability of Rainwater Harvesting .Agricultural Economics Research Review . 19:71-82.
- UNEP (1997).** "Sourcebook of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Some Countries in Asia,
- UNEP (1982).** "Rain and Storm Water Harvesting in Rural Areas, Tycooly International Publishing Ltd., Dublin.
- UNEP, Unit of Sustainable Development and Environment General Secretariat, Organisation of American States, Washington, D.C.
- UNEP and SEI (Stockholm Environment Institute) (2009).** Rainwater Harvesting: a Lifeline for Human wellbeing, United Nations Environment Programme and Stockholm Environment Institute.
- UNFCCC (2008).** Nacional Adaptation Programmes of Action, Summary of Projects on Water Resources identified in submitted NAPAs as of September 2008, United Nations.
- Wang, Y., Xie Z., Malhi S., Vera C-L., Zhang Y., Wang J., (2009).** "Effects of Rainfall Harvesting and Mulching Technologies on Water use Efficiency and Crop Yield in the Semi-Arid Loess Plateau, China." Agricultural Water Management 96(3): 374-382.