# انواع روش‌های استحصال آب باران با تأکید بر روش آبخیز جاده‌ای (Roadded Catchment)

**محسن آرمین*[۱]، فاطمه طاعت پور[۲]، وجیهه قربان نیا خیبری[۳]**
۱*- استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی- آبخیزداری دانشگاه یاسوج، *Mohsenarmin@ut.ac.ir*
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی- آبخیزداری، *f.taatpour341@gmail.com*
۳- دکتری علوم و مهندسی محبط زیست دانشگاه ملایر، *Ghorbannia2008@gmail.com*

## چکیده

افزایش روز افزون جمعیت و نیاز به منابع آبی جدید، ضرورت بهره‌برداری و استفاده هر چه بهتر از منابع سطحی و رواناب‌های حاصل از بارندگی را نشان می‌دهد. استحصال آب باران یکی از روش‌های بهره‌برداری از نزولات آسمانی برای مقابله با کم آبی می‌باشد. این روش فرایند جمع‌آوری رواناب یک منطقه برای تأمین آب شرب خانگی و آب مورد نیاز دام‌های اهلی و وحشی، تولید محصول، تولید علوفه و کاشت درختان است. موضوع استحصال آب باران، با وجود سوابق تاریخی و سنتی در کشور، به صورت علمی و روزآمد در صنعت آب کشور جایگاهی ندارد. در این پژوهش سعی شده تا به معرفی انواع روش‌های مختلف استحصال آب باران با هدف شناخت از مزایا و معایب هر کدام پرداخت. نتایج نشان داد که انواع روش‌های مختلف استحصال آب باران از نظر قابلیت کاربرد شامل مدیریت پوشش گیاهی (Vegetation Management)، سطوح غیر قابل نفوذ طبیعی (Natural Impervious Surfaces)، تغییر زمین (Land Alteration)، اصلاح شیمیایی خاک (Chemical Treatment of Soil) و پوشش‌های زمین (Ground Covers) هستند. این روش‌ها از نظر هزینه (Costs)، عملکرد (Performance) و دوام (Durability) متفاوت هستند که این موضوع می‌تواند قابلیت کاربرد یک روش را محدود کند. آبخیز جاده‌ای پشته‌های موازی احداث شده در اراضی تپه‌ای هستند که باعث انتقال جریان به چاله‌ها و کانال‌ها می‌شوند. سطح این پشته‌ها را با خاک رس می‌پوشانند و آنها را فشرده می‌کنند تا سطح آنها صاف و در نتیجه نفوذپذیری کاهش و رواناب افزایش پیدا کند

**واژه‌های کلیدی:** روش، استحصال آب باران، آبخیز جاده‌ای.

## مقدمه

کشور ایران در پهنه‌ای از جهان قرار گرفته که خشکی در ذات آن و خشکسالی بلیه‌ای است که مردم این کشور همواره در مخاطره و بیم و امید آن به سر می‌برند. عدم توازن زمانی و مکانی بارش‌ها و در کنار آن برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی نیز به ابعاد مشکلات افزوده است. افزایش روز افزون جمعیت و نیاز به منابع آبی جدید، ضرورت بهره‌برداری و استفاده هر چه بهتر از منابع سطحی و رواناب‌های حاصل از بارندگی را نشان می‌دهد. محدودیت دسترسی به منابع آب شیرین و پایدار در اغلب نقاط دنیا تمایل به گزینه‌های کم هزینه، پایدار و محلی را افزایش داده است (دستورانی، ۱۳۸۷). موضوع استحصال آب باران، با وجود سوابق تاریخی و سنتی در کشور، به صورت علمی و روزآمد در صنعت آب کشور جایگاهی ندارد. در مقابل دیر زمانی است که تشکل‌ها و مجامع علمی دنیا به این موضوع توجه خاص نموده‌اند. داستان تکراری تقلید از دانش وارداتی بدون استفاده از تجربیات پیشینیان بیش از همه چیز گریبان محیط زیست و منابع طبیعی کشور را گرفته و روز به روز آنها را به نابودی کامل نزدیک‌تر می‌نماید. مهاجرت از روستاها، گسترش بی‌رویه کلان شهرها و نیز از بین رفتن زیستگاه‌های طبیعی مانند تالاب‌ها، دریاچه‌ها، جنگل‌ها و مراتع از مظاهر و نتایج راه و رسم فعلی استفاده از این توسعه ناپایدار و دانش و فنون نامتجانس با شرایط اقلیمی و فرهنگی در کشور است. حال این سؤال مطرح می شود که راه و روش پیشینیان ما در رابطه با استفاده از منابع آبی بویژه آب‌های سطحی برای انجام فعالیت‌های دامداری و کشاورزی که معیشت عمده مردم نیز بوده است چه ایراداتی داشته و چرا در حال حاضر کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. از جمله این روش‌ها بهره‌برداری از سیلاب برای دامداری و کشاورزی و نیز ایجاد مخازن ذخیره کوچک و بزرگ برای مصارف گوناگون در مناطق مختلف بوده است که آثار آن تحت عناوین مختلفی مانند خوشاب، بندسار و آب بندان، آب انبار و قنات در گوشه و کنار کشور به چشم می‌خورد (چکشی و طباطبایی یزدی، ۱۳۹۱). در شرایط فعلی، بهترین الگوی پیش‌رو، الهام از روش‌های سنتی و تلفیق استفاده از تجربیات و دانش فنی نوین برای به‌روزرسانی آنها می‌باشد. از آنجا که باران، هرچند به مقدار کم، تقریباً در همه نقاط کشور وجود دارد، چنانچه با اعمال مدیریت صحیح مورد استفاده قرار گیرد، می‌تواند جهت جبران بخشی از کمبودهای موجود، مفید واقع شود. یکی از روش‌هایی که به طور غیرمستقیم می‌تواند جایگزین منابع آب معمول، نظیر چاه، قنات و رودخانه باشد، استحصال آب باران است. استحصال آب باران یکی از روش‌های بهره‌برداری از نزولات آسمانی برای مقابله با کم آبی می‌باشد. این روش فرایند جمع‌آوری رواناب یک منطقه برای تأمین آب خانگی و دام، تولید محصول، تولید علوفه و کاشت درختان و مزارع پرورش ماهی است (Critchley et al, 1991; Pacey and Gullis, 1986; Lameck, 1994). در بسیاری از مناطق دنیا، تأمین آب دام‌های اهلی با روش‌های استحصال و ذخیره رواناب حاصل از باران با استفاده از سازه‌هایی مانند مخازن جمع‌آوری آب باران[1]، چاله‌های جمع‌آوری آب باران[2] و حوضه‌های ذخیره آب باران[3] صورت می‌گیرد. طراحی مناسب سیستم‌های استحصال آب باران در هر منطقه‌ای که میزان بارندگی برای رشد علوفه کافی باشد، می‌تواند آب مورد نیاز دام‌های اهلی را تأمین کند (Frasier, 1975). جای تأسف دارد که دستمایه بسیاری از کشورها برای استفاده از روش‌های استحصال آب، تجربیات بومی کشورهایی نظیر ایران است که از این جهت دارای قدمت و غنای چشمگیری هستند و مبتنی بر بهره‌برداری پایدار از منابع آبی است و امروزه در کشورمان مورد بی مهری قرار گرفته است. از مهمترین نقاط قوت در استفاده از سامانه‌های سطوح آبگیر باران به منظور استحصال رواناب‌های سطحی، توجه به اصول کنترل در مبدأ و عدم تمرکزگرایی است که دو اصل مهم در مدیریت پایدار منابع می‌باشد. تحقق این مفاهیم در روش‌های مورد نظر همانا مهار و بهره‌برداری از آب باران در محل بارش و نیز مسافت‌های کوتاه از محل بارش می‌باشند.

## مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نوع مطالعات مروری است که ابتدا منابع علمی موجود در کتابخانه‌ها و وب‌سایت‌های اینترنتی در خصوص موضوع تحقیق و همچنین مطالعات موردی مرتبط که محققان در داخل و خارج از کشور انجام داده‌اند، جمع‌آوری و سپس بر اساس هدف تحقیق دسته‌بندی و تفکیک شدند که نتیجه جمع‌بندی این مطالعات به تفصیل در ادامه خواهد آمد.

1 Trick Tank
2 Rain Traps
3 Catchment

## نتایج و بحث

**روش‌های استحصال آب باران (Water Harvesting Method)**

تکنیک‌های استحصال آب باران را می‌توان به پنج روش اصلی تقسیم کرد:

- مدیریت پوشش گیاهی Vegetation Management
- سطوح غیر قابل نفوذ طبیعی Natural Impervious Surfaces
- تغییر زمین Land Alteration
- اصلاح شیمیایی خاک Chemical Treatment of Soil
- پوشش‌های زمین Ground Covers

این روش‌ها از نظر هزینه (Costs)، عملکرد (Performance) و دوام (Durability) متفاوت هستند که می‌تواند قابلیت کاربرد یک روش را محدود کند (Cooley et al., 1970).

**مدیریت پوشش گیاهی Vegetation Management**

مطالعات نشان می‌دهد که در بعضی مناطق می‌توان با پوشیدن کف جنگل با استفاده از گراس‌های علوفه‌ای مقدار رواناب خروجی از جنگل را افزایش داد (Gifford, 1973). البته در بسیاری از مناطق این روش نمی‌تواند به عنوان یک منبع تأمین آب برای دام‌های اهلی مورد استفاده قرار گیرد زیرا نیاز به احداث سدها و سازه‌های انحرافی در کانال‌های زهکشی حوزه آبخیز است. برای بعضی مناطق محدود اجرای این روش برای جمع‌آوری رواناب قبل از رسیدن به کانال اصلی حوزه آبخیز امکان‌پذیر است.

**سطوح غیر قابل نفوذ طبیعی Natural Impervious Surfaces**

ساده‌ترین و احتمالاً بادوام ترین مصالح برای یک سطح جمع‌آوری کننده رواناب، رخنمون‌های سنگی بزرگ هستند. معمولاً آن چیزی که برای تبدیل یک رخنمون سنگی به یک سطح جمع‌آوری کننده رواناب ضروری است، یک سری دایک‌های انحرافی در امتداد پایین‌ترین لبه‌های آن برای هدایت رواناب به یک محل ذخیره است. ضریب رواناب سطوح سنگ‌های طبیعی در منابع علمی موجود است که بستگی به تخلل سنگ مادر و تعداد و اندازه درز و شکاف‌های سطح سنگ دارد. Burdass (۱۹۷۵) گزارش کرد که در استرالیا در روش‌های معمول عدد ۰/۴۵ را به عنوان ضریب رواناب برای حوضه‌های رخنمون‌های سنگی به کار می‌برند. در بعضی از سطوح سنگی ضریب رواناب را می‌توان با پوشیدن شکاف‌های سطحی با یک ترکیب بتن آسفالتی افزایش داد. در بعضی مناطق برای جبران ضریب رواناب نسبتاً کم، افزایش سطح حوضه جمع‌آوری کننده رواناب به سادگی امکان‌پذیر است. کل هزینه آماده سازی یک حوضه سنگی آب باران ممکن است کمتر از ۰/۰۱ دلار برای هر یارد مربع از سطح جمع‌آوری کننده باشد (جدول ۱).

بزرگ‌راه‌ها و جاده‌هایی که از مراتع عبور می‌کنند نیز می‌توانند برای جمع‌آوری آب باران مورد استفاده قرار گیرند. به دلیل اینکه رواناب در اثر ریختن بنزین وسایل نقلیه آلوده می‌شود، کل ظرفیت استفاده از بزرگ‌راه‌ها برای استحصال آب باران محقق نشده است. Chiarella و Beek (۱۹۷۵) یک سیستم جمع‌آوری کننده رواناب بزرگراه در آریزونا را تشریح کردند که برای تأمین آب دام‌های اهلی به مدت ۱۵ سال بدون مشاهده اثرات بیماری مورد استفاده قرار گرفت. Evans و همکاران (۱۹۷۵) گزارش کردند که در هر مایل از بزرگ‌راه‌های بین ایالتی در وایومینگ تقریباً ۸ ایکر پیاده‌روی وجود دارد. اگر ضریب رواناب ۹۰ درصد فرض شود، قابلیت تأمین آب حدود ۲ میلیون گالن در هر مایل از بزرگراه در یک بارندگی ۱۰ اینچی وجود دارد. هزینه اصلی جمع‌آوری این آب، هزینه سیستم انتقال آب از بزرگراه به محل ذخیره است.

جدول ۱ - هزینه‌های آب برای روش‌های مختلف استحصال آب باران (Frasier, 1975)

| روش‌ها | رواناب (درصد) | برآورد عمرروش‌ها (سال) | هزینه اولیه (دلار بر یارد مربع) | هزینه تجمعی سالانه (دلار بر یارد مربع) بر اساس عمر روش با سود (بهره) ۶ درصد | هزینه آب در یک منطقه با بارندگی متوسط ۲۰ اینچ (دلار بر ۱۰۰۰ گالن) |
|---|---|---|---|---|---|
| رخنمون سنگی | ۲۰-۴۰ | ۲۰-۳۰ | <۰,۰۱ | < ۰/۰۲ | ۰/۴۵ – ۰/۲۲ |
| تمیز کردن زمین | ۲۰-۳۰ | ۵-۱۰ | ۰/۰-۰۲/۰۱ | <۰/۰۱ | ۰/۴۵ – ۰/۳ |
| صاف کردن خاک | ۲۵-۳۵ | ۵-۱۰ | ۰/۰۷ – ۰/۰۵ | ۰/۰۲ – ۰/۰۱ | ۰/۷۱ – ۰/۲۵ |
| پخش سدیم (Cluff, 1975) | ۴۰-۷۰ | ۳-۵ | ۰/۱۲- ۰/۰۷ | ۰/۰۲ – ۰/۰۱ | ۰/۴۵ – ۰/۱۳ |
| مواد آب‌گریز سیلیکونی (Myers and Frasier, 1969) | ۵۰-۸۰ | ۳-۵ | ۰/۱۸ – ۰/۱۲ | ۰/۰۴ – ۰/۰۲ | ۰/۷۱ – ۰/۲۲ |
| واکس پارافین (Fink et al., 1973) | ۶۰-۹۰ | ۵-۸ | ۰/۴- ۰/۳ | ۰/۱- ۰/۰۵ | ۱/۴۹ – ۰/۵ |
| بتن | ۶۰-۸۰ | ۲۰ | ۲-۵ | ۰/۴۴- ۰/۱۷ | ۶/۵۳ -۱/۸۹ |
| غشای پوشش گراولی | ۷۰-۸۰ | ۱۰-۲۰ | ۰/۷ – ۰/۵ | ۰/۱ – ۰/۰۴ | ۱/۲۷ – ۰/۴۵ |
| فایبرگلاس آسفالت (Myers and Frasier, 1974) | ۸۵-۹۵ | ۵-۱۰ | ۱-۲ | ۰/۴۸ – ۰/۱۴ | ۵ -۱/۳۱ |
| پلاستیک‌های مصنوعی (Lauritzen and Thayer, 1966) | ۹۰-۱۰۰ | ۱۰-۱۵ | ۲-۳ | ۰/۴۱ – ۰/۲۱ | ۴ -۱/۸۷ |
| ورقه‌های مصنوعی (Lauritzen, 1967) | ۹۰-۱۰۰ | ۲۰ | ۲-۳ | ۰/۲۶ – ۰/۱۷ | ۲/۱-۵۷/۵۱ |

**تغییر زمین Land Alteration**

برای هزاران هکتار از ارا ضی که در آنها بزرگ‌راه‌ها و رخنمون‌های سنگی وجود ندارد، بع ضی اوقات آب دام‌های اهلی را می‌توان با روش‌های ساده تغییر زمین که منجر به افزایش رواناب در سطح خاک می‌شود، تأمین کرد. پاک کردن زمین یکی از ارزان‌ترین روش‌های تغییر زمین است اما افزایش رواناب حاصل از بارندگی در این روش معمولاً ناچیز است مگر اینکه رگبارهای باران دارای شدت زباد و تداوم طولانی با شند. به دلیل اینکه رگبارهای باران همی شه نمی‌تواند مقدار رواناب قابل ملاحظه‌ای تولید کنند، معمولاً ضروری است حوضه در نظر گرفته شده برای استحصال آب باران سطح نسبتاً بزرگی داشته باشد تا در فواصل زمانی بین وقایع رواناب آب کافی در اختیار دا شته با شیم. در بع ضی از خاک‌ها، ضریب رواناب روش تمیز کردن زمین را می‌توان با صاف کردن و ف شرده کردن ا ضافی خاک به طور مؤثری افزایش داد. تغییر زمین، صاف کردن و ف شرده کردن خاک به طور موفقیت‌آمیزی در ا سترالیا به شکل آبخیزهای جاده‌ای (Roaded Catchment) (شکل ۱) مورد ا ستفاده قرار می‌گیرد (Frith, 1975). روش ف شرده کردن و صاف کردن خاک معمولاً روی خاک‌های لومی و لومی رسی موفقیت‌آمیزتر است. در طراحی این روش برای به حداقل رساندن شیب خاک و سرعت رواناب برای جلوگیری از هر گونه فرسایش خاک باید مراقبت لازم صورت گیرد (Hollick, 1975).

شکل ۱- آبخیز جاده‌ای

**آبخیز جاده‌ای (Roadded Catchment)**

یک آبخیز جاده‌ای (Roadded Catchment) یک سازه استحصال آب است که برای افزایش مقدار رواناب از حوضه بالادست یک سد طراحی می شود. جاده‌های یک آبخیز جاده‌ای پشته‌های موازی احداث شده در اراضی تپه‌ای (یا شیب‌های کناری) هستند که باعث انتقال جریان به چاله‌ها و کانال‌ها می‌شوند. سطح این پشته‌ها را با خاک رس می‌پوشانند و آنها را فشرده می‌کنند تا سطح آنها صاف و در نتیجه نفوذپذیری کاهش و رواناب افزایش پیدا کند.

**ویژگی‌های منطقه محل احداث آبخیز جاده‌ای**

منطقه انتخابی برای آبخیز جاده‌ای باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

- دارای خاک رسی، رس لومی و لومی رسی شنی در نزدیکی سطح زمین (عمق کمتر از ۶۰ سانتی متر)
- قرار گرفتن در شیب بالاست و ترجیحاً در فاصله ۵۰۰ متر از مخزن دریافت کننده رواناب (در رگبارهای با شدت کم، در یک کانال جمع‌آوری طولانی‌تر احتمال دارد مقداری از رواناب در فاصله بین حوضه و مخزن از دست برود)
- شیب زمین کمتر از ۵ درصد باشد (در دامنه‌های با شیب تندتر باید نیم - جاده half-roads احداث کرد
- در منطقه مورد نظر موانع بزرگ مانند پرتگاه‌های سنگی، درختان و بادشکن وجود نداشته باشد
- اجتناب از مناطق سدیمی و دارای خاک‌های خود مالچی (self-mulching)

آبخیزهای جاده‌ای در جایی که خاک‌های دوبلکس با خاک‌های سبک در سطح و خاک‌های سنگین بافت در لایه زیرین با فاصله ۲۰ تا ۶۰ سانتی‌متر از سطح زمین قرار دارند، به راحتی احداث می شوند. رس با کیفیت خوب ترجیح داده می شود. خاک‌های با بافت متوسط نیز مناسب هستند البته اگر آنها را با یک غلطک کوبید تا یک سطح غیرقابل نفوذ، سخت و صاف برای حوزه آبخیز ایجاد شود. نیاز است که خاک‌های زیر سطحی فاکتور انقباض – انبساط (shrink-swell factor) کمی داشته باشند و حداقل حاوی ۳۵ درصد رس باشند. بعضی از شاخص‌های ویژگی‌های انقباضی - انبساطی را می‌توان با تعیین بافت خاک به روش دستی و فرصت دادن به خاک برای خشک شدن بدست آورد. خاک‌های خیلی پلاستیکی به محض خشک شدن منقبض می شوند و شکاف بر می‌دارند. این خاک‌ها برای تولید رواناب در یک حوضه نیازمند باران بیشتری هستند و باید از احداث سامانه استحصال آب در حوضه‌هایی که چنین خاک‌هایی دارند اجتناب کرد. بسیاری از خاک‌ها در مناطق کشاورزی دارای یک بافت شنی و شنی لومی در سطح (اغلب حاوی گراول‌های سنگ آهن) و یک لایه رس زیر سطحی هستند. اگر عمق لایه رسی کمتر از ۶۰ سانتی‌متر باشد، این خاک‌ها برای آبخیزهای جاده‌ای بسیار رضایت‌بخش هستند. در جایی که برای پوشش جاده‌ها نیاز است از رس با عمق زیاد استفاده کرد، برداشت کامل لایه شن نامناسب و یا برداشت گراول توصیه می‌شود. در چنین حالتی ممکن است استفاده از سایر تکنیک‌های استحصال آب مانند اصلاح شیمیایی خاک که می‌تواند نفوذپذیری خاک را کاهش دهد و هزینه بالای برداشتن بیش از حد مواد را کاهش دهد، اقتصادی‌تر باشد. برای فراهم شدن یک خاک مناسب برای ایجاد یک آبخیز جاده‌ای در جایی که خاک‌های گراولی و شنی سطحی حاوی مقدار کمی رس باشند، نیاز است که سطح خاک با یک پرده رسی پوشیده شود و یا خاک سطحی برداشته شود. خاک‌های نامناسب برای "جاده" رس‌هایی هستند که شکاف بر می‌دارند، فرو می‌ریزند و وقتی خشک می شوند شکننده می شوند، یا گراول‌های در شت و ماسه‌های سست که بدون رس هستند. خاک‌های ساختار یافته قوی مثل رس‌های خود پوششی (خود مالچی) نیز نامناسب هستند زیر رواناب کمی تولید می‌کنند. به دلیل خصوصیات اتقباضی و انبساطی رس‌ها باید از مناطق چاله - خرچنگی (crab-hole) یا gilgsi نیز اجتناب ورزید.

**روش کار یک آبخیز جاده‌ای**

آبخیزهای جاده‌ای بواسطه عوامل زیر رواناب را افزایش می‌دهند:

- افزایش شیب سطح
- کاهش نگهداری سطح
- کاهش نفوذپذیری سطوح شیب‌دار

این عملیات با تغییر شکل و بافت خاک سطحی به پشته‌های موازی (جاده‌ها) و کانال‌ها (چاله‌ها) و پوشیدن آنها با یک لایه رسی فشرده شده قابل دستیابی است. شیب کانال جاده حرکت رواناب به درون کانال جمع‌آوری و یا مستقیماً به درون سد را امکان‌پذیر می‌سازد. یک آبخیز جاده‌ای که به درستی مورد بررسی قرار گیردو مطابق با معیارهای طراحی شناخته شده احداث شده، هنگامی که سطح جاده تا یک مقدار آستانه مرطوب شده است، ظرفیت آن برای تولید آب از باران‌های با شدت کم افزایش می‌یابد. آستانه، مقدار باران مورد نیاز قبل از شروع رواناب تعریف شده است. به عنوان مثال سطوح پشت بام آستانه کمتر از ۲ میلی‌متر باران دارند، رواناب جاده‌های قیرپاشی شده بعد از ۲ میلی‌متر شروع می‌شود و اراضی کشاورزی اغلب نیاز به ۲۵ میلی‌متر و یا بیشتر باران قبل از شروع رواناب دارند. در اغلب آبخیزهای جاده‌ای کاشت گندم یک مقدار آستانه ۸ تا ۱۰ میلی‌متر قابل دستیابی است. نتایج برای یک آبخیز جاده‌ای با آستانه ۴ میلی‌متر در شرق York در اواخر دهه ۱۹۶۰ در جدول ۲ نشان داده شده است.

**جدول ۲- رگبار باران انتخابی برای تأمین آب شرق York (Frasier, 1975)**

| روز در ماه جولای | بارندگی (میلی‌متر) | بارندگی بیشتر از ۴ میلی‌متر آستانه | جریان رواناب به درون سد (مترمکعب) | رواناب (درصد) |
|---|---|---|---|---|
| ۲ | ۶/۲ | ۲/۲ | ۳۲ | ۳۵ |
| ۱۷ | ۱۵/۲ | ۱۱/۲ | ۱۶۲ | ۷۳ |
| ۲۱ | ۸/۷ | ۴/۷ | ۶۸ | ۵۴ |

**برنامه‌ریزی برای تأمین آب قابل اعتماد**

برای توسعه منابع تأمین آب قابل اعتماد، سطح آبخیز جاده‌ای مورد نیاز بستگی به:

- الگوهای بارندگی و تبخیر منطقه
- کیفیت مواد و شرایط سطح حوضه
- اندازه، عمق و قابلیت نگهداری آب سد
- تعداد و شرایط دام‌های اهلی که نیاز به آب دارند
- هر گونه تقاضای اضافی در مورد تأمین آب (به عنوان مثال پمپاژ برای استفاده خانگی).

**بررسی منطقه (سایت)**

قبل از طراحی و احداث یک آبخیز جاده‌ای باید یک تحقیق و بررسی جامع انجام شود. محدوده سایت برای آبخیز جاده‌ای باید با دقت بررسی و پیکه کوبی (میخ کوبی) ششود. حد پایین آبخیز جاده‌ای با تدارک یک منطقه دریافت کننده ایمن یا آبراهه بالای سد تعیین می‌شود. نیاز است خاک بالای سد مورد بررسی قرار گیرد تا مناسب بودن آن برای ساخت آبخیز جاده‌ای تعیین شود. برای انجام این ارزیابی، گمانه‌های اوگر باید تا عمق حداقل ۱ متر ایجاد شوند و خاک‌های مختلف برای قابلیت نگهداری آب ارزیابی شود. نیاز است با نمونه‌های دستی بافت خاک تعیین شود تا شاخصی از مقاومت خاک داشته باشیم. خاک‌هایی که مقاومت بیشتری دارند، شکل فشرده‌ششان را حفظ می‌کنند و بعد از اشباع شدن فرو نمی‌ریزند. یک اطلاع منطقی از عمق رس با حفر ۳ گمانه در هکتار و سپس استفاده از یک نمونه‌بردار خاک برای بررسی بیشتر عمق در محل انتخاب شده به دست می‌آید. عمق میانگین رس باید در طراحی در نظر گرفته شود. مناطق با خاک سطحی کم عمق مقرون به صرفه‌تر هستند چون عرض جاده‌ها می‌تواند کاهش یابد.

**تله رسوب‌گیر**

در سطح آبخیز جاده‌ای بویژه اگر فنس‌کشی نشده باشد، رسوبات تشکیل شده از بقایای گیاهی و حیوانی و همچنین خاک فرسایش یافته تجمع خواهد کرد. رسوب‌گذاری عمق مؤثر و عمر ذخیره سد را کاهش می‌دهد، قابلیت اطمینان آبخیز جاده‌ای را کاهش می‌دهد و هزینه‌های نگهداری آن را افزایش می‌دهد. در جایی که رسوب‌گذاری غیرقابل اجتناب است، یک تله رسوب‌گیر باید در جلوی سد احداث کرد. کانال‌های جمع‌آوری کننده باید درون تله رسوب‌گیر تخلیه شوند که می‌توان آن را به راحتی تمیز کرد. رسوبات موجود در آب را نیز ممکن است با وارد کردن جریان به یک نوار یا بافر گیاهی قبل از ورود به سد حذف کرد. نوار گیاهی می‌تواند از چمن یا گیاهان بزرگ‌تر مثل نی‌ها باشد.

**سرریزها**

همانند کانال‌های آب، نیاز است که سرریزها نیز به درستی مطالعه، طراحی و اجرا شوند تا اینکه جریان عبوری از سد به خود سد و اراضی پایین دست آن خسارتی وارد نکند. نیاز است که سرریزهای گرانسی برای مدیریت رواناب یک رگبار بارندگی حداقل یک تا ۲۰ اینچی طراحی شوند. اگر سد در خط زهکشی قرار دارد (نه در مسیر کانال) نیاز است که یک سرریز اضطراری روی طرف دیگر سد برای مدیریت جریان‌های بزرگ‌تر وجود داشته باشد. شرایط دیگری که سد را نیازمند یک سرریز اضطراری می‌کند عبارتند از:

- جایی که مساحت آبخیز جاده‌ای بیشتر از ۵ هکتار باشد
- جایی که آبخیز جاده‌ای برای ایجاد یک سد کشاورزی کوچک قابل اعتمادتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و احتمالاً سرریز خواهد کرد
- اگر سد بالای ساختمان‌های مزرعه یا دیگر زیرساخت‌های مزرعه یا جاده‌های مهم ناحیه‌ای یا استانی قرار گیرد

نیاز است که سرریزها جریان‌های عبوری در طی زمستان‌های مرطوب و وقایع رواناب بزرگ بعد از بارندگی‌های سنگین پس از رگبارهای تابستانی را مدیریت کنند. سرریزها برای انتقال جریان مازاد به یک منطقه تخلیه ایمن و کاهش احتمال آسیب به مردم یا خسارت به سد یا زیرساخت‌های پایاب یا فرسایش در اراضی پایاب مورد استفاده قرار می‌گیرند.

**فنس‌کشی**

برای جلوگیری از ورود همه حیوانات اهلی، آبخیز جاده‌ای باید فنس‌کشی شود. گوسفندان و گاوها می‌توانند سطوح حوضه را آسیب برسانند و کود آنها رواناب و آب ذخیره شده در سد را آلوده کند و رشد علف‌های هرز را افزایش می‌دهند.

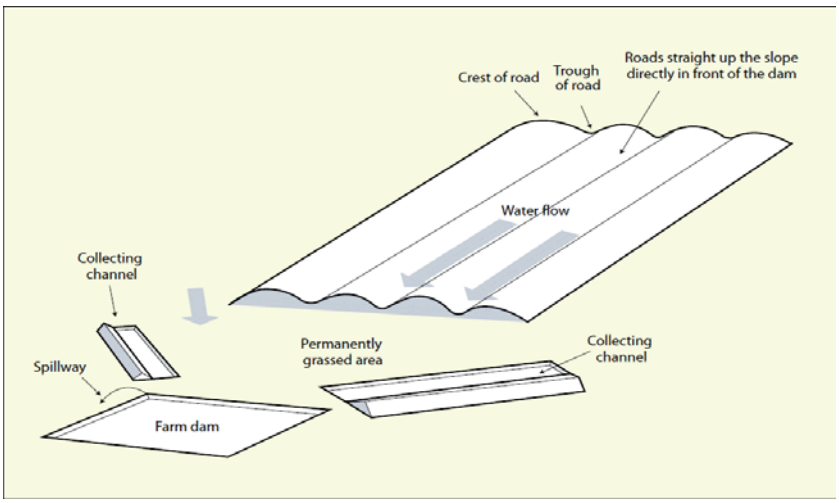
**مشورت با یک متخصص**

برای نتایج بهتر، با یک متخصص با تجربه برای کمک به طراحی یک حوضه جاده‌ای مشورت کنید. اصلاح یک سیستم طراحی ضعیف می‌تواند پرهزینه باشد و منجر به هزینه‌های نگهداری بیشتر شود. مهم‌تر از همه بر قابلیت اطمینان و کیفت تأمین آب کشاورزی تأثیر می‌گذارد.

**چارچوب (طرح) یک آبخیز جاده‌ای**

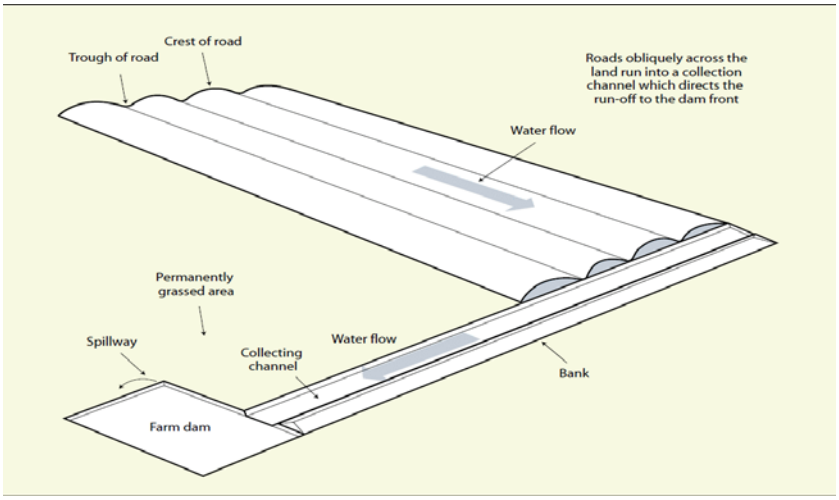
طرح یک آبخیز جاده‌ای با توجه به سیمای منظر متفاوت است و بستگی به شیب زمین، توزیع خاک‌های مناسب و اندازه مورد نیاز آبخیز جاده‌ای دارد. بسته به شیب سطح زمین، جاده‌های منفرد ممکن است در طرح‌های مختلف برای دستیابی به شیب درست احداث شوند. ۳ طرح کلی وجود دارد:

- روی زمین‌های کم شیب با شیب کمتر از ۱ به ۸۰ (۱/۲۵ درصد)، که شیب آن نزدیک به شیب طراحی کانال‌های جاده است. جاده‌ها در راستای شیب در جلوی سد احداث می‌شوند و مستقیماً به درون یک تله رسوب‌گیر در جلو سد تخلیه می‌شوند. اگر تعداد زیادی جاده وجود دارد، می‌توان یک کانال جمع‌آوری کننده ساخت (شکل ۲).



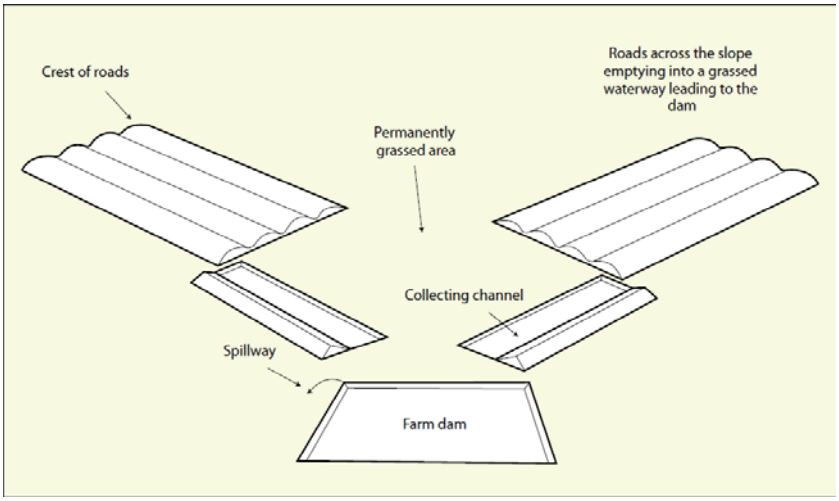

**شکل ۲- طرح توصیه شده آبخیز جاده‌ای برای اراضی با شیب ۱ به ۸۰ ( یا ۱/۲۵ درصد)**

- روی اراضی با کم تا متوسط شیب با شیب از ۱ به ۸۰ (۱/۲۵ درصد) تا ۱ به ۳۰ (۳/۵ درصد) و جایی که آبراهه ثابتی وجود ندارد. جاده‌ها به صورت مورب در عرض شیب ساخته می‌شوند و در درون یک کانال جمع‌آوری کننده که در جهت مخالف احداث شده تخلیه می‌شوند (شکل ۳)، کانال جمع‌آوری کننده، رواناب را به جلو سد هدایت می‌کند.




**شکل ۳- طرح توصیه شده آبخیز جاده‌ای برای اراضی با شیب بزرگ‌تر ۱ به ۸۰ ( یا ۱/۲۵ درصد) و کمتر از ۱ به ۳۰ (۳/۵ درصد)**

- روی اراضی متوسط تا پرشیب با شیب بیشتر از ۱ به ۸۰ و در جایی که یک آبراهه ثابت وجود دارد. جاده‌ها در عرض شیب ساخته می‌شوند و و به یک آبراهه گراسی که به سد هدایت می‌شوند، تخلیه می‌شوند (شکل ۴). در دامنه‌های با شیب بیشتر از ۱ به ۳۰ (۳/۵ درصد)، باید یک آبراهه گراسی مورد استفاده قرار گیرد زیرا یک کانال جمع‌آوری کننده با شیب مورد نیاز با یک زاویه خیلی حاده به کانال‌های جاده وصل می‌شود که باید به راحتی ساخته شود.
-




**شکل ۴- طرح توصیه شده آبخیز جاده‌ای برای اراضی با شیب بزرگ‌تر ۱ به ۸۰ ( یا ۱/۲۵ درصد) و در جایی که یک آبراهه ثابت وجود دارد**

**ویژگی‌های طراحی**

در طراحی یک آبخیز جاده‌ای هدف رسیدن به:

- حداکثر توانایی رها شدن آب از سطوح رسی جاده‌ای
- حداقل فرسایش یا برداشت خاک از سطح حوضه

### اصلاح شیمیایی خاک Chemical Treatment of Soil

در بعضی از خاک‌ها، کاربرد مواد شیمیایی که می‌تواند باعث عدم نفوذ آب و تجمع آن در سطح خاک شود، امکان‌پذیر است. آب‌گریز کردن سطح خاک نفوذپذیری را کاهش یا متوقف می‌کند و از این رو مقدار رواناب را افزایش می‌دهد. در خاک‌های ماسه‌ای لومی (Loamy Sand) در جنوب آریزونا، کاربرد یک ماده سیلیکونی دفع کننده آب در اصلاح خاک یک پلات، در سال اول بیش از ۹۰ درصد رواناب ایجاد کرد (Myers and Frasier, 1979). در چهار سال بعدی، میزان رواناب تولیدی تا حدود ۶۰ درصد کاهش پیدا کرد زیرا که ماده اصلاح کننده خاک به تدریج تخریب شد. حوضه‌های اصلاح شده با سیلیکون ممکن است به دلیل فرسایش خاک ناشی از پایداری ناکافی خاک منتج از کاربرد سسیلیکون آسسیب ببینند. مطالعاتی در خصوص تعیین امکان اضافه کردن یک ترکیب پایدار کننده به مخلوط سیلیکونی برای کاهش فرسایش خاک انجام شده است. اخیراً مشخص شده که واکس‌های پارافینی در دفع و عدم نفوذ آب در خاک مؤثر هستند (Fink et al., 1973). در روش واکس‌های پارافینی علاوه بر آب گریز کردن خاک، تا اندازه‌ای خاک پایدار نیز می‌شود. مطالعات روی یک آبخیز عملیاتی اصلاح شده با واکس پارافینی نشان داد که این روش اصلاحی ممکن است قابلیت آب‌گریزی و عدم نفوذ آب در خاک را حداقل به طور موقتی از دست بدهد، اگر خاک در معرض پدیده یخ زدن (Freezes) و ذوب یخ (Thaw) قرار گیرد و یک لایه از آب روی سطح خاک تشکیل شود. این مطالعات همچنین نشان داد اگر سطح خاک تا بالاتر از درجه حرارت نقطه ذوب واکس (۱۲۸ درجه فارنهایت برای این مطالعه) دوباره حرارت داده شود، کارایی روش می‌تواند دوباره بهبود پیدا کند. در بسیاری از مناطق، در طی روزهای گرم تابستان درجه حرارت سطح خاک به طور طبیعی بیشتر از این مقدار است. دیگر روش شیمیایی کاهش نفوذ آب به خاک و افزایش رواناب سطح خاک دیسپرس کردن (پراکنده کردن سطح خاک رس خاک برای بستن خلل و فرج خاک است. در بعضی از خاک‌ها این روش می‌تواند با نمک سدیم مثل کربنات سدیم انجام شود. این روش اصلاحی برای پوشاندن مخازن ذخیره آب دام‌های اهلی (Stock Tanks) بسیار موفقیت آمیز بود (Reginato et al., 1973) و قابلیت روش را در بعضی از مناطق حوزه آبخیز نشان داد (Dutt and McCreary, 1975). روش نمک سدیم نیازمند حداقل رس منبسط شونده در خاک است و فرسایش خاک یک مشکل بالقوه است.

### پوشش‌های زمین Ground Covers

روش دیگر مورد بحث برای استحصال آب باران تحت عنوان پوشش زمین طبقه‌بندی شده است. در این روش سطح خاک با بعضی از لایه‌های غیر قابل نفوذ پوشیده می‌شود. بتن برای سال‌های متمادی به عنوان یک روش برای استحصال آب باران مورد استفاده قرار می‌گیرد. صفحات بتنی کاملاً بادوام هستند اما عیب آنها نسبتاً گران بودن و ترک خوردن ناشی از پدیده انقباض بتن است مگر اینکه مفصل‌های انبساطی با طراحی درست فراهم شوند. یک روش ساده و ارزان برای پوشیدن شکاف‌های بتن چسباندن نوارهای چسب فایبرگلاس روی شکاف‌ها به همراه آسفالت است. از طریق نگهداری و بازرسی دوره‌ای مطمئن خواهیم شد که شکاف‌ها پوشیده و بسته باقی خواهند ماند. به دلیل خلل و فرج طبیعی سطح بتن که بخش قابل توجهی از بارندگی را قبل از شروع رواناب جذب می‌کند، حتی با شکاف‌های کاملاً بسته و پوشیده بتن نیز ۱۰۰ رواناب ایجاد نمی‌شود (Frasier, 1975). پوشش غشاهای گراولی مصالح مختلف مثل پلاستیک و کاغذ قیراندود (Tar Paper) به عنوان روش‌های موفق پوشش زمین مورد استفاده قرار گرفتند. پوشش گراولی تخریب لایه غشایی کاغذ قیراندود یا پلاستیک غیرقابل نفوذ را کاهش می‌دهد و بعضی از اقدامات حفاظت از تخریب مکانیکی را فراهم می‌کند. اجرای این روش تقریباً آسان و کم هزینه است البته اگر مصالح قرضه گراول‌های تمیز در نزدیکی سایت استحصال آب باران وجود داشته باشند. هر گونه تخریب در طی جایگذاری لایه گراولی می‌تواند جدی باشد بویژه اگر در نقاط پایین حوضه جمع‌آوری کننده رواناب اتفاق افتد اما مراقبت معمول در طی نسب معمولاً برای اطمینان از اجرای رضایت‌بخش این روش کافی است. امکان رشد بذور گیاهان درون باد در روی پوشش گراولی وجود دارد اگر گراول‌ها تمیز نبا شند یا اگر زمان کافی از نهشته شدن ذرات گرد و غبار روی لایه گراولی سپری شده باشد. لایه گراولی بخشی از هر رگبار باران را نگه می‌دارد. این آب نگه داشته شده سپس تبخیر خواهد شد و در نتیجه کارایی حوضچه جمع‌آوری رواناب کاهش می‌یابد (Frasier, 1975). پوششهای زمین فایبرگلاس یا شبکه پروپیلن اشباع شده با آسفالت روش‌های قابل دوام دیگری هستند که در مناطق مختلف برای استحصال آب باران مورد استفاده قرار می‌گیرند (Myers and Frasier, 1974). شبکه به عنوان یک چارچوب استحکام دهنده و آسفالت به عنوان یک عامل ضد آب گریز عمل می‌کند. کاربرد

رنگ‌های حفاظتی در سطح پوشش‌ها، مشکل تغییر رنگ رواناب ناشی از سطح آسفالت را کاهش می‌دهد و مدت زمان تعویض پوشش‌های ضد آب جدید را افزایش می‌دهد (Frasier, 1970). حوضچه‌های جمع‌آوری رواناب فایبرگلاس- آسفالت برای اغلب پوشش‌های غشایی در روی سطوح خیلی زبر به طور موفقیت‌آمیزی نصب شده‌اند. اگر چه سطح زبر مقداری از آب را نگه می‌دارد اما غشای حفاظتی بعد از ۵ سال از نصب تخریب‌های جزئی دارد. اجرای حوضچه جمع‌آوری رواناب فایبرگلاس – آسفالت کار زیادی نیاز دارد. غشاهای پلاستیکی مصنوعی بیش از ۲۰ سال است که به عنوان حوضچه‌های استحصال آب باران در بخش‌های مختلفی از ایالات متحده مورد استفاده قرار می‌گیرند (Lauritzen and Thayer, 1966). نصب و نگهداری صحیح ورقه‌های پلاستیکی منجر به ایجاد یک منبع خوب از آب تمیز و پاک خواهد شد. شکست‌های زیادی از پروژه‌های استحصال آب باران از طریق حوضچه‌های پلاستکی Butyl می‌توان دید که از جمله دلایل شکست می‌توان به دستورالعمل نامناسب نصب، عدم نگهداری از آن، مواد فرموله شده نامناسب، عدم حفاظت در مقابل حیوانات یا جوندگان شاره کرد (Dedrick, 1973). بعد از اینکه محل حوضچه استحصال آب باران به درستی آماده شد، حوضچه‌های پلاستیکی مصنوعی یکی از ساده‌ترین پوشش‌های زمین برای نصب هستند. ورقه‌های فلزی می‌توانند مصالح خیلی بادوامی و مؤثری برای ایجاد حوضچه استحصال آب باران باشند. در گذشته تصور می‌شد که ضروری است این حوضچه‌ها بالای سطح زمین روی یک چارچوب شبیه به یک پشت بام ساختمان اجرا شوند. اما اغلب این حوضچه‌ها عملکرد رضایت‌بخشی داشتند حتی زمانی که چارچوب حمایتی آنها تخریب و سقوط کرد. حوضچه‌های ورقه‌های فلزی با گذاشتن مستقیم ورقه‌ها روی زمین و یک پوشش آسفالت رنگ کاری شده برای جلوگیری از خوردگی ورقه‌ها نصب خواهند شد. پیچاندن ورقه‌ها در یک پوشش پیوسته و همپوشانی کافی کناره ورقه‌ها همه آن چیزی است که نیاز است (Laurizzen, 1976).

### ذخیره آب در سیستم استحصال آب باران Water Storage

یک سیستم استحصال آب باران شامل بعضی از ابزارهای ذخیره آب جمع‌آوری شده تا زمانی است که مورد استفاده قرار گیرد (Dedrick, 1975). ۳ روش اساسی برای ذخیره آب وجود دارد : (۱) چاله‌های حفر شده، (۲) تانک‌های روی زمین که از موادی مانند استیل یا چوب ساخته می‌شوند و (۳) کیسه‌های لاستیکی یا پلاستیکی. جدول ۳ بعضی از روش‌های ذخیره آب و مزیت‌ها و معایب هر کدام را لیست کرده است. هزینه اجرای تسهیلات ذخیره آب در مناطق دور تحت تأثیر دسترسی به آن منطقه قرار می‌گیرد. در بعضی از مناطق دسترسی مردم و تجهیزات یک عامل محدود کننده در انتخاب سیستم‌های استحصال آب است.

**جدول ۳- مزیت‌ها و معایب انواع مختلف سازه‌های ذخیره سسیستم‌های استحصال آب باران**

| روش ذخیره | | مزیت‌ها | معایب |
|---|---|---|---|
| چاله‌های حفاری شده | بدون پوشش | هزینه کم | امکان تلفات زیاد نشت آب |
| | | دسترسی مستقیم حیوانات | باید عمق خاک کافی باشد |
| | پوشش شیمیایی (غیر قابل نفوذ کردن با استفاده از مواد شیمیایی) | هزینه کم | برای همه انواع خاک‌ها مناسب نیست |
| | | | بعضی مواد نسبت به خشک شدن و مرطوب شدن ناپایدار هستند |
| | پوشش غشایی | حذف کل تلفات نشت | هزینه زیاد |
| | | | امکان تخریب توسط دام‌ها |
| تانک‌ها | | در سطح دنیا در دسترس هستند | هزینه زیاد |
| کیسه‌ها | | حذف تلفات تبخیر | امکان تخریب توسط دام و جوندگان |
| | | سادگی نصب | در مناطق برفی مناسب نیستند |

### نگهداری سیستم استحصال آب Maintenance

هزینه نگهداری برای یک سیستم استحصال آب باران خیلی متغیر است. همه روش‌های ایجاد حوضچه‌های استحصال آب باران نیازمند نوع و مقدار نگهداری یکسانی نیستند. در روش‌های صاف کردن زمین رشد بذور باید حذف شود و از فرسایش خاک نیز جلوگیری شود. در روش‌های شیمیایی نیز همین نوع ملاحظات نیاز است. نگهداری روش‌های پوشش زمین در اصل شامل تعمیر خسارت مکانیکی به مصالح پوشش دهنده است. سیستم ذخیره و سیستم انتقال بین حوضه جمع‌آوری و سیستم ذخیره باید در برنامه

نگهداری در نظر گرفته شوند. این نوع نگهداری را می‌توان با یک نیروی کار که تقریباً یک تا دو ساعت در هر سیستم استحصال آب باران و چهار بار در هر سال وقت می‌گذارد، انجام داد.

### هزینه‌های آب سیستم استحصال آب Costs

راندمان رواناب، هزینه‌های اولیه و هزینه تجمعی سالانه روش‌های مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است. طول عمر هر روش و راندمان رواناب بر اساس نتایج ۱۱ سال مطالعه در سایت آزمایشی Granite Reef و بر اساس ۱۵ واحد صحرایی عملیاتی احداثی در مشارکت با دامداران خصوصی و نمایندگان دولتی حاصل شده است. هزینه‌های آب نشان داده در ستون آخر جدول ۳-۲ بر اساس بارندگی سالانه ۲۰ اینچ در هر سال و هزینه تجمعی سالانه با بهره ۶ درصد برای عمر مورد انتظار روش برآورد شده است. این هزینه شامل هزینه‌های نگهداری سالانه نمی‌شود. هزینه‌های محاسبه شده آب از کمتر از ۰/۲ دلار بر ۱۰۰۰ گالن برای روش نمک سدیم تا بیش از ۶/۵ دلار بر ۱۰۰۰ گالن برای یک حوضه بتنی متغیر است. این هزینه‌ها بر اساس دسترسی محلی به مصالح ساخت مختلف و دوری مکان حوضه استحصال رواناب متغیر خواهد بود. این هزینه‌های می‌تواند مبنایی برای اهداف مقایسه‌ای در انتخاب نوع حوضه استحصال آب و مصالح در طی مراحل اولیه طراحی باشد. هزینه کل آب یک سیستم استحصال آب شامل هزینه ذخیره آب نیز می‌شود. بسته به نوع و اندازه سازه مورد نیاز، هزینه‌های ذخیره آب خیلی متغیر خواهد بود. حوضه استحصال آب با ضریب رواناب کمتر اغلب نیاز به سازه‌های ذخیره‌ای بزرگ‌تر آب برای اطمینان از وجود آب کافی در هنگام نیاز دارند (Frasier, 1975).

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

استحصال آب باران به معنی پتانسیل تأمین آب در منطقه‌ای است که بارندگی کافی وجود دارد. شناخت از مزایا و معایب هر کدام از انواع روش‌های استحصال آب باران، برای انتخاب بهترین روش مناسب برای یک منطقه نیاز است. رخنمون‌های سنگی بزرگ و بزرگ‌راه‌ها حوضه‌های کم هزینه‌ای هستند که پتانسیل کامل آنها محقق نشده است. عمر مورد انتظار، راندمان رواناب و نیازهای نگهداری سالانه دیگر عواملی هستند که باید در انتخاب نوع حوضه استحصال آب در نظر گرفته شوند. سازه‌های ذخیره آب باید همچنین با روش ایجاد حوضه استحصال آب برای فراهم کردن یک سیستم آب کامل و رضایت‌بخش مطابقت داشته باشد. یک آبخیز جاده‌ای (Roadded Catchment) یک سازه استحصال آب است که برای افزایش مقدار رواناب از حوضه بالادست یک سد طراحی می‌شود. یک آبخیز جاده‌ای پشته‌های موازی احداث شده در اراضی تپه‌ای هستند که باعث انتقال جریان به چاله‌ها و کانال‌ها می‌شوند. سطح این پشته‌ها را با خاک رس می‌پوشانند و آنها را فشرده می‌کنند تا سطح آنها صاف و در نتیجه نفوذپذیری کاهش و رواناب افزایش پیدا کند.

### منابع


- چکشی، ب. طباطبایی یزدی، ج. ۱۳۹۱. استحصال آب باران شیوه ای جهت استفاده از دانش بومی به منظور تامین آب در مناطق خشک. اولین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران.
- دستورانی، م. ۱۳۸۷. ارزیابی روشهای نوین و پایدار در تامین آب برای توسعه فضای سبز. سومین همایش ملی فضای سبز و منظر شهری، ۲۶۰-۲۷۱.
- Critchley, W., and Siegert, K. 1991. Water harvesting: a manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. FAO, Rome, Italy
- Dedrick, A. R. 1973. Raintrap performance on the Fishlake National Forest. J. Range Manage. 26:9-12 .
- Dedrick, A. R. 1975. Storage systems for harvested water. In: Proc ,.Water Harvesting Symp., U.S. Dep. Agr. Agr. Res. Serv. ARS W-22 ,p. 175-191 .
- Dutt, G. R., and T. W. McCreary. 1975. Multipurpose salt treated water harvesting system. In: Proc., Water Harvesting Symp., U.S. Dep .Agr., Agr. Res. Serv. ARS W-22, p. 310-314 .
- Evans, C. E., D. A. Woolhiser, and F. Rauzi. 1975. Opportunity for harvesting water from and along highways in rangeland areas of Wyoming. In: Proc., Water Harvesting Symp., U.S. Dep. Agr. Agr .
- Res. Serv. ARS W-22, p. 293-301 .
- Fink, D. H., K. R. Cooley, and G. W. Frasier. 1973. Wax-treated soils for harvesting water. J. Range Manage.

26:396-398 .

- Frasier, G. W., and L. E. Myers. 1970. Protective spray coatings for water harvesting catchments. Trans. Amer. Sot. Agr. Eng. 13: 292-294.
- Frasier, G. W. 1975. Water harvesting for livestock, wildlife, and domestic use. In: Proc., Water Harvesting Symp., U.S. Dep. Agr .Agar. Res. Serv. ARS W-22, p. 4049
- Frith, J. L. 1975. Design and construction of roared catchments. In :Proc., Water Harvesting Symp., U.S. Dep. Agr., Agr. Res. Serv. ARS W-22, p. 122-127 .
- Gifford, G. F. 1973. Runoff and sediment yield from runoff plots on chained pinyonjuniper sites in Utah. J. Range Manage. 26:440-443 .
- HoIIick, M. 1975. The design of roaded catchments for maximum runoff. In: Proc., Water Harvesting Symp., U.S. Dep. Agr., Agr. Res .Serv. ARS W-22, p. 201-220 .
- Lawitzen, C. W. 1967. Raintraps of steel. Utah Science, Sept., p. 79-81 .
- Lauritzen, C. W., and A. A. Thayer. 1966. Raintraps for intercepting and storing water for livestock. U.S. Dep. Agr., Agr. Res. Serv. Agr .Inform. Bull. 307 .
- Myers, L. E., and G. W. Frasier. 1969. Creating hydrophobic soil for water harvesting. J. Irrig.and Drain. Div., Amer. Sot. Civil Eng .Proc. 95 (IR 1):43-54 .
- Myers, L. E., and G. W. Frasier. 1974. Asphalt-fiberglass for precipitation catchments. J. Range Manage. 27: 12-l 4 .
- Reginato, R. J., F. S. Nakayama, and J. B. Miller. 1973. Reducing seepage from stock tanks with uncompacted sodium-treated soils. J .Soil and Water Conserv. 28:214-215