بسم الله الرحمن الرحیم

کارگاه آموزشی جمع آوری آب باران جهت کشاورزی و فضای سبز شهری

۱۲مهر ۱۳۹۵

دانشگاه شیراز

دانشکده کشاورزی

مرکز مطالعات خشکسالی

قطب علمی مدیریت آب در مزرعه

بخش مهندسی آب

تهیه و تنظیم:

دکتر علیرضا سپاسخواه

دکتر علی اکبر کامگار حقیقی

دکتر تورج هنر

مهندس فاطمه ده بزرگی

مهندس پروانه ضیمران

مهندس سعیده پرویزی

مهندس نیلوفر رجحانی شیرازی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

جمع‌آوری رواناب برای کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، علیرضا سپاسخواه.....۱

استفاده از سیستم‌های جمع‌آوری آب باران در ریزحوضه‌های کشت انگور دیم، حمیدرضا فولادمند و علیرضا سپاسخواه.....۵

بخش اول- سناریوهای متفاوت پتانسیل برداشت آب باران (RWHP)، بخش دوم- کلان شهر شیراز، تهدیدها و فرصت ها، علیرضا احدی.....۱۰

افزایش جمع‌آوری رواناب حاصل از بارندگی به وسیله تغییرات فیزیکی و شیمیایی در سطح خاک، حسین پرویزی.....۱۳

جایگاه استحصال آب باران در تأمین نیازهای فضای شهری، ساغر فهندژ سعدی.....۱۷

جمع‌آوری رواناب برای کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک

علیرضا سپاسخواه
استاد بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
مرکز مطالعات خشکسالی

با توجه به کمبود منابع آب تجدیدپذیر در ایران، برای تولید محصولات کشاورزی بایستی از امکانات بالقوه دیگری بهره گرفت. یکی از این امکانات بارش (آب سبز) می‌باشد. با استفاده از سیستم‌های جمع آوری رواناب باران می‌توان حدود ۱۴ میلیارد مترمکعب از منابع آب جدید تولید کرد و در دیم‌کاری درختان از آن بهره گرفت. سیستم‌های جمع‌آوری رواناب به دو نوع تقسیم می‌شوند: میکرو و ماکرو که سیستم میکرو از نظر ساخت، قابلیت کاربرد و انعطاف‌پذیری برای کشاورزان مناسب‌تر است. در سیستم میکرو (ریزحوضه) انواع مختلف ساخته می‌شود که متداول‌ترین آن‌ها نوع هلالی و لوزی شکل است. ابعاد این ریز حوضه‌ها با توجه به نوع خاک، شرایط سطح خاک، شدت – مدت – تناوب بارش، شرایط آب - هوایی و نوع گیاه متفاوت بوده و بایستی طراحی گردد. شرایط سطح خاک در ایجاد رواناب بسیار مهم است و با تیمار کردن سطح خاک و ایجاد پوشش‌های مختلف می‌توان میزان رواناب را افزایش داد. در این مقاله عوامل مؤثر در افزایش رواناب تشریح شده و نحوه تعیین حد آستانه بارش برای تولید رواناب و ضریب تولید رواناب ارائه شده است.

میزان روناب از حاصل ضرب میزان باران در ضریب رواناب به صورت زیر بدست می‌آید:

$$r=R\times R_c \qquad (۱)$$

که در آن R_c ضریب رواناب است.

اگر نسبت سطح ریز حوضه به سطح کشت (CCR) بیش از حد تخمین زده شود منجر به اتلاف زمین و آب می‌شود. همه رواناب بطور مؤثر توسط گیاه استفاده نمی‌شود. مقداری از آن تبخیر می‌شود و بخشی دیگر ممکن است نفوذ عمقی نماید. اثر این دو عامل را در تبیین CCR بایستی بوسیله «ضریب کارآیی ذخیره» اعمال کرد. این ضریب عبارت است از نسبت حجم آب رواناب ذخیره شده در ناحیه مؤثر ریشه به کل حجم آب رواناب. مقدار این ضریب عموماً بین ۶۰٪ تا ۸۰٪ تغییر می‌کند. حجم آب رواناب جمع شده (VE) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$VE=A\times R\times RC \qquad (۲)$$

که در آن A مساحت تولید کنند رواناب، R میزان باران طرح و RC ضریب رواناب فصلی یا سالانه است. میزان رواناب ناخالص تولید شده (GVE) عبارت است از:

$$GVE=a(U-R)/E_a \qquad (۳)$$

که در آن a مساحت ناحیه کشت شده، U میزان فصلی یا سالانه مصرف آب گیاه و E_a ضریب کارآیی ذخیره است.

با تلفیق معادله‌های (۲) و (۳) نسبت CCR یعنی $\frac{A}{\alpha}$ بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{A}{a} = (U - R)/(R \times RC \times E_a) \qquad (۴)$$

با افزایش حد آستانه بارندگی (سبک شدن بافت خاک) ضریب رواناب کاهش می‌یابد. رابطه بین حد آستانه بارندگی (RT میلی‌متر) روزانه و ضریب رواناب (RC) در یک خاک لوم سنگریزه‌ای به صورت زیر است:

$$RC=0.118-0.0073\ TR\ ,\ R^2=0.35 \qquad (۵)$$

مثلاً برای حالتی که حد آستانه بارندگی روزانه ۵ میلی‌متر باشد ضریب رواناب ۰/۰۸ حاصل شود:

$$RO=0.08(R-5.0)$$

چنین رابطه‌ای بین حد آستانه بارندگی روزانه و ضریب رواناب در خاک منطقه خناسر حلب در سوریه به صورت زیر است:

$$RC=0.43-0.0385\ TR\ ,\ R^2=0.96 \qquad (۶)$$

تفاوت معادله‌های فوق احتمالاً به علت تفاوت در نوع خاک منطقه می‌باشد. خاک منطقه خناسر حلب در سوریه دارای بافت سنگین‌تر و بدون سنگریزه می‌باشد.

در منطقه یال ایلخچی اسکو (آذربایجان شرقی) برای سطوح آبگیر طبیعی، صاف و تمیز شده و غلظت زده شده میزان آستانه بارش برای شروع رواناب به‌ترتیب ۵/۵-۴/۵ ، ۴۵-۳/۵ و ۳/۵-۲/۵ میلی‌متر می‌باشد. هم چنین بر اساس باران روزانه ۱۷ ساله در منطقه مورد مطالعه میانگین ضریب رواناب را بر اساس آستانه روزانه ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌متر بترتیب ۰/۲۸، ۰/۱۷، ۰/۱۱ و ۰/۰۷ گزارش شده است. رابطه بین میانگین ضریب رواناب (RC ، اعشار) و حد آستانه باران (RT، میلی‌متر) به صورت زیر به دست آمد:

$$RC=0.33-0.0345\times RT\ ,\ R^2=0.95 \qquad (۷)$$

ضرایب معادله (۷) از معادله (۶) کمتر و از معادله (۵) بیشتر است. علت این امر تفاوت در بافت خاک می‌باشد. مثلاً برای حالتی که حد آستانه بارندگی روزانه ۵ میلی‌متر باشد ضریب رواناب ۰/۰۸ حاصل می‌شود.

رابطه بین بارندگی سالانه و رواناب سالانه در خاک لوم سنگریزه‌ای به صورت زیر است:

$$Ro=0.09(R-106) \qquad (۸)$$

مقدار ۱۰۶ میلی‌متر حد آستانه بارندگی سالانه برای ایجاد رواناب است که تقریباً برابر تعداد بارندگی روزانه می‌باشد که منجر به رواناب شده ضرب در مقدار آستانه بارندگی روزانه می‌باشد (۱۰۵ = ۵ × ۲۱ میلی‌متر).

برای تخمین رواناب بایستی حد آستانه بارندگی معین باشد. این پارامتر را می‌توان با در نظر گرفتن خواص فیزیکی خاک، شدت بارندگی و معادله نفوذ گرین – امپت به صورت زیر محاسبه کرد:

$$TR=(S_{av}\times D_i) / (R/k_{fs}-1) \qquad (۹)$$

که در آن S_{av} میانگین مکش در جبهه رطوبتی نفوذ آب به خاک (میلی‌متر)، D_i تفاوت بین رطوبت حجمی اولیه و نزدیک به اشباع خاک (m^3/m^3)، K_{Fs} هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع خاک (میلی‌متر بر ساعت) و R شدت بارندگی (میلی‌متر بر ساعت) می‌باشد. مقادیر S_{av} برای بافت‌های مختلف عبارتند از ۱۱۰ میلی‌متر برای بافت لوم شنی، ۱۶۷ میلی‌متر برای بافت لوم سیلتی، ۲۰۷ میلی‌متر برای بافت لوم رسی و ۲۹۲ میلی‌متر برای بافت رسی سیلتی.

ضریب رواناب با مساحت ریز حوضه رابطه کاهشی دارد یعنی با کاهش مساحت ریز حوضه ضریب رواناب بطور غیرخطی افزایش می‌یابد. این رابطه برای خاک لوم سنگریزه‌ای بصورت زیر می‌باشد:

$$RC= 0.172A^{-0.4} \qquad (۱۰)$$

که در آن A مساحت ریز حوضه بر حسب مترمربع می‌باشد.

با استفاده از عوامل مؤثر در طراحی ابعاد ریزحوضه، نحوه تعیین ابعاد آن ارایه شده است. معادله (۴) برای تعیین مساحت ریز حوضه که بتواند نیاز آبی درخت را تأمین کند بکار برده می‌شود. مثلاً برای ریز حوضه لوزی شکل اگر مصرف آب درخت ۴۴۰ میلی‌متر و باران طرح ۲۰۰ میلی‌متر و ضریب رواناب ۰/۴ و ضریب کارآیی ذخیره آب ۰/۷۵ باشد نسبت $\frac{A}{a}$ برابر ۴/۰ حاصل می‌شود. بنابراین اگر مساحت کشت یا سایه‌انداز درخت ۱۲ متر مربع باشد مساحت کل ریز حوضه برابر ۴۸ مترمربع محاسبه می‌شود.

سرانجام اثر ایجاد ریز حوضه در جمع‌آوری رواناب و افزایش رشد و محصول درختان دیم مطرح شده میزان آبیاری تکمیلی برای حفظ درختان دیم در شرایط بارندگی بسیار کم که در شرایط خشکسالی‌های شدید اتفاق می‌افتد گزارش شده است.

استفاده از سیستم‌های جمع‌آوری آب باران در ریزحوضه‌های کشت انگور دیم

حمیدرضا فولادمند [1] و علیرضا سپاسخواه [2]

۱- دانشیار آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت و ۲- استاد بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

در بسیاری از اراضی شیبدار کوهپایه‌ای در ایران اقدام به کشت انواع درختان دیم مانند انگور می‌شود. اما معمولاً میزان باران کم بوده و نیاز آبی گیاه را تأمین نمی‌کند. لذا می‌توان با کاربرد روش‌های فنی، بخشی از آب باران را در قسمت‌های کشت نشده مهار کرده و در خاک قسمت کشت شده ذخیره نمود. از بهترین روش‌های موجود ایجاد یک حوضچه کوچک برای هر تک درخت می‌باشد که به آن ریزحوضه کشت (Microcatchment) گفته می‌شود و معمولاً به شکل لوزی و یا هلال (نعل اسبی) می‌باشد. در این روش برای هر درخت یک ریزحوضه درنظر گرفته می‌شود، به گونه‌ای که درخت در پایین‌ترین قسمت لوزی و یا هلال قرار می‌گیرد و کل سطح زمین به لوزی و یا هلال‌های متعدد تقسیم می‌شود. در این صورت بارندگی رخ داده به جای رواناب شدن در اراضی شیب‌دار وارد یکی از لوزی‌ها و یا هلال‌های موجود در اطراف هر درخت می‌شود. با این روش آب در داخل ریزحوضه‌ها محبوس می‌شود. دلیل قرار گرفتن درخت‌ها در پایین‌ترین قسمت ریزحوضه آن است که تجمع آب در این قسمت بیشتر از سایر قسمت‌های ریزحوضه می‌باشد. این کار بسیار ساده و کم هزینه بوده و منجر به افزایش ذخیره رطوبتی خاک می‌شود و در نتیجه محصول نیز افزایش می‌یابد. در تحقیقی در منطقه باجگاه در استان فارس طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۱۹۸۷ از ریزحوضه‌های کشت به

مساحت ۱۳/۴ مترمربع برای انگور دیم استفاده شد. در طی مدت فوق در ۳۴ زمان مختلف مقادیر رطوبت حجمی خاک در عمق ۱۲۰ سانتی‌متری و مقدار رطوبت خاک در عمق صفر تا ۱۲۰ سانتی‌متری در درون ریزحوضه‌ها با استفاده از دستگاه نوترون‌متر اندازه‌گیری گردید. با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت و همچنین داده‌های اندازه‌گیری شده محصول انگور دیم طی سال‌های ذکر شده موارد زیر مورد بررسی قرار گرفت.

الف- یک مدل رایانه‌ای بیلان آب خاک به زبان برنامه‌نویسی Fortran Power Station تهیه گردید. برای این منظور عمق خاک در ناحیه ریشه به هفت لایه ۲۰ سانتی‌متری تقسیم شد. سپس با توجه به آمار هواشناسی منطقه باجگاه طی سال‌های ذکر شده و با استفاده از معادلات و روابط حاکم بر آب خاک، از طریق بیلان آب خاک در لایه‌های مختلف، مقدار رطوبت حجمی آب خاک در هر لایه در هر روز سال شبیه‌سازی گردید. برای استفاده از معادلات بیلان به پارامترهایی مانند مقدار بارندگی و رواناب ایجاد شده و تبخیر- تعرق واقعی گیاه نیاز بود. همچنین از عددی ثابت به‌عنوان کمک رطوبت از اعماق پایین ریشه به لایه‌های مختلف خاک استفاده شد. عدد فوق با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده آب خاک در عمق ۱۲۰ سانتی‌متری و مقدار آب خاک اندازه‌گیری شده در عمق صفر تا ۱۲۰ سانتی‌متری واسنجی گردید و برای لایه‌های اول تا پنجم برابر ۰/۱۴ و برای لایه‌های ششم و هفتم برابر ۰/۰۱ میلی‌متر در روز بدست آمد. همچنین از رابطه بین بارندگی و رواناب روزانه در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. برای محاسبه تبخیر- تعرق واقعی گیاه از ضریب گیاهی ساده استفاده شد، به عبارت دیگر تبخیر و تعرق به صورت یکجا یعنی تبخیر- تعرق در نظر گرفته شدند و برای محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع نیز از چهار روش پنمن- فائو، پنمن- مانتیت، هارگریوز و جنسن- هیز استفاده شد. همچنین برای

تفکیک مقدار تبخیر- تعرق در لایه‌های مختلف خاک از قانون ساده ۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰ استفاده گردید. نتایج نشان داد که مدل تهیه شده بر مبنای روش پنمن- فائو مناسب‌تر بوده و مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت حجمی خاک در عمق ۱۲۰ سانتی‌متری و مقدار رطوبت خاک در عمق صفر تا ۱۲۰ سانتی‌متری را بهتر شبیه‌سازی نمود. سپس برمبنای روش پنمن- فائو مساحت هر ریزحوضه تعیین گردید. مساحت هر ریزحوضه طبق روابط ارائه شده موجود به پارامترهای عمق فعال ریشه، قابلیت نگهداری آب در خاک، ضریب رواناب، مساحت کشت شده هر تک درخت، مقدار بارندگی سالانه و مقدار تبخیر- تعرق واقعی بستگی دارد. در تحقیق فوق عمق فعال ریشه انگور ۱/۲ متر درنظر گرفته شد و قابلیت نگهداری آب در خاک نیز برابر ۱۶۰ میلی‌متر در متر درنظر گرفته شد. ضریب رواناب نیز برابر ۰/۰۸ انتخاب شد و مساحت کشت شده هر تک درخت نیز برابر ۱/۸ مترمربع درنظر گرفته شد. مقدار بارندگی سالانه هم با احتمال وقوع‌های مختلف منظور گردید، به‌طوری‌که با بارندگی با احتمال وقوع ۹۰ درصد مساحت هر ریزحوضه برابر ۲۱ مترمربع تخمین زده شد، درصورتی‌که برای بارندگی‌های با احتمال وقوع کمتر (مقدار باران بیشتر)، مساحت‌های کوچک‌تری بدست آمد. از طرف دیگر با کوچک‌تر شدن مساحت هر ریزحوضه گرچه محصول هر درخت کاهش می‌یابد، اما در مقابل تعداد کل درخت در هر هکتار زیادتر شده و لذا محصول کل در هکتار افزایش می‌یابد. بنابراین استفاده از مساحت کوچک‌تر اقتصادی‌تر می‌باشد و از آن‌جا که در شرایط معمولی (بدون ریزحوضه) در منطقه باجگاه درختان انگور به فاصلهٔ ۳ متر از یکدیگر کشت می‌شوند، لذا مناسب‌ترین مساحت ریزحوضه برابر ۹ مترمربع می‌باشد.

ب- مدل رایانه‌ای بیلان آب خاک تهیه شده به زبان برنامه‌نویسی Fortran Power Station توسعه داده شد. برای این منظور به جای ضریب گیاهی ساده از ضریب گیاهی دوگانه استفاده شد و لذا تبخیر و

تعرق از یکدیگر تفکیک شدند. با توجه به نتایج بدست آمده از مدل ساده، در مدل توسعه یافته برای محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع تنها از روش پنمن- فائو استفاده شد. همچنین برای توزیع مقدار تعرق در لایه‌های مختلف خاک نیز به جای قانون ساده ۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰ از الگوی پیچیده‌تر ذوزنقه‌ای استفاده شد. گرچه مدل توسعه یافته بسیار دقیق‌تر از مدل ساده است اما نتایج نشان داد که مدل ساده ابتدایی مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت حجمی خاک در عمق ۱۲۰ سانتی‌متری و مقدار رطوبت خاک در عمق صفر تا ۱۲۰ سانتی‌متری را بهتر شبیه‌سازی می‌نماید و لذا مناسب‌تر از مدل توسعه یافته است.

ج- تجزیه و تحلیل اقتصادی نتایج با درنظر گرفتن عمر مفید ۵۰ ساله برای باغ انگور دیم و نرخ بهره ۱۴ درصد در بین چهار رقم انگور دیم سیاه ریش‌بابا، رطبی، عسگری و سیاه نشان داد که رقم سیاه ریش‌بابا مناسب‌ترین رقم انگور برای کشت در درون ریزحوضه کشت در منطقه باجگاه می‌باشد.

د- مساحت ریزحوضه کشت با توجه به احتمالات مختلف تبخیر- تعرق و بارندگی سالانه تعیین گردید. برای محاسبه مقدار تبخیر- تعرق واقعی از روش مناسب پنمن- فائو برای محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع و روش ضریب گیاهی ساده استفاده شد. همچنین برای تعیین مقدار تبخیر- تعرق واقعی در سطوح احتمالاتی مختلف از توزیع پیرسون تیپ ۳ استفاده شد. بر این اساس در هر سطح احتمال باران و تبخیر- تعرق، مساحت‌های متفاوتی برای ریزحوضه‌ها بدست آمد، اما نتایج نشان داد که برای احتمال ۵۰ درصد باران و ۵۰ درصد تبخیر- تعرق مساحت ریزحوضه برابر ۸/۷ مترمربع می‌شود که به مقدار مناسب مساحت ریزحوضه در منطقه یعنی ۹ متر مربع بسیار نزدیک است.

ه- مدل ساده ابتدایی برمبنای روش گیاهی ساده و استفاده از روش پنمن- فائو برای محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع مورد آنالیز حساسیت قرار گرفت. برای این منظور پارامترهای مهم مدل مانند مقادیر روزانه حداقل و حداکثر دما به صورت هم‌زمان، مقادیر روزانه حداقل و حداکثر رطوبت نسبی به صورت هم‌زمان، مقدار سرعت روزانه باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، مقدار ساعات آفتابی روزانه واقعی و همچنین مقادیر ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی لایه‌های مختلف به صورت هم‌زمان، مقادیر ضرایب گیاهی سه‌گانه فصل رشد و مقدار ضریب آب سهل‌الوصول در نظر گرفته شده و به مقادیر آن‌ها ۱۰ درصد کم و اضافه گردید و تحلیل حساسیت به روی مدل انجام شد. در زمان تغییر هر پارامتر سایر پارامترهای مدل برابر مقدار واقعی خود درنظر گرفته شدند. سپس نتایج شبیه‌سازی شده مدل در هر حالت تغییر پارامترها با مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت حجمی خاک در عمق ۱۲۰ سانتی‌متری و مقدار رطوبت خاک در عمق صفر تا ۱۲۰ سانتی‌متری مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که تغییر ظرفیت زراعی لایه‌های مختلف نیمرخ خاک و تغییر ضریب گیاهی دارای بیشترین حساسیت بوده و پارامترهای دیگر که در محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع نقش دارند، دارای حساسیت کمی بر روی مدل می‌باشند.

بخش اول- سناریوهای متفاوت پتانسیل برداشت آب باران (RWHP)
بخش دوم- کلان شهر شیراز، تهدیدها و فرصت ها

علیرضا احدی
معاون برنامه‌ریزی و بهبود مدیریت شرکت آب و فاضلاب شیراز

در بخش اول به تشریح عوامل کلیدی در P شامل وضعیت فیزیکی و وضعیت اقتصادی- اجتماعی منطقه مورد مطالعه، رویکردهای پارامتریک و دینامیک در ارزیابی RWH، نقاط ضعف و قوت، فاکتورهای نیازمندی و موفقیت در اجرای طرح‌های استفاده از RWH که در آن دو سوال زیر طرح می‌گردد مورد بحث قرار می‌گیرد.

۱-بزرگترین و ضروری ترین تقاضا برای منابع آب اضافی در کجاست؟

۲-از کجا بیشترین آب باران را می‌توان برداشت کرد؟

در ادامه اجزای مرتبط، شامل هفت لایه اطلاعاتی بر بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی، همراه با نمرات شایستگی در قالب طبقه بندی به شرح ذیل ارائه خواهد شد.

۱-تمرکز جمعیت: هر اندازه منطقه پر جمعیت‌تر باشد تعداد افراد بهره‌مند از اجرای طرح RWH بیشتر خواهد بود. وزن دهی کمتر برای مناطق پراکنده و دور افتاده حتماً باید مد نظر قرار گیرد.

۲-کاربری اراضی: هر اندازه کاربری اراضی توسعه یافته‌تر باشد در واقع کاربری‌های کشاورزی، روستایی و شهری بیشتری وجود داشته باشد موفقیت در اجرای طرح‌های RWH بیشتر خواهد بود.

۳-دسترسی به سایر منابع آب: مناطقی که از آب بهداشتی سالم از قبیل لوله کشی، دریاچه و رودخانه بهره‌مندترند نیازمندیشان به اجرای طرح‌های RWH کمتر است.

۴- خشکی: مناطق خشک‌تر نیازمندی بیشتری به RWH دارند. شاخص خشکی بر اساس نسبت باران (P) به پتانسیل تبخیر و تعرق (PET) تعریف می‌شود.

۵- بارش سالانه: هر اندازه بارش سالانه منطقه تحت مطالعه بیشتر باشد آب برای ذخیره‌سازی بیشتر خواهد بود و اجرای طرح‌های RWH با موفقیت بیشتری روبرو خواهد بود.

۶- تغییرات بارش: اگر دوره‌های کوتاه خشک و مرطوب بیشتری در منطقه حاکم باشد نیازمندی و موفقیت در اجرای طرح‌های RWH بیشتر می‌شود.

۷- زهکشی خاک: زهکشی بهتر سبب حرکت زیر سطحی سریع‌تر و تبخیر و آلودگی کمتر خواهد شد در این حالت طرح‌های RWH در قالب بستری مناسب‌تر یا به عبارتی بستری همچون سدهای شنی عمل خواهند کرد و ذخیره زیرزمینی بهتری را فراهم می‌سازند در نتیجه اجرای طرح موفق‌تر خواهد بود.

در حالت‌هایی که اطلاعات منطقه‌ای از قلم افتاده است سری داده‌های جهانی که در مطالعه RWHP می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد ارائه می‌شود. در مبحث بعد کاربردهای GIS و RS در RWHP بیان می‌گردد و به تأثیر تغییرات آب و هوایی، الزامات داده‌ها و استفاده از مدل SPHY به منظور یکپارچه سازی خروجی‌های پارامتریک و دینامیک اشاره خواهد شد. در پایان این بخش، نتایج مطالعات RWHP در کشورهای سنگال و مالی ارائه می‌گردد.

در بخش دوم به فرصت‌ها و تهدیدهای کلان شهر شیراز از نقطه نظر وضعیت کمی و کیفی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، خصوصاً نقش ۷۷ درصدی منابع ناپایدار زیرزمینی در تأمین آب این کلان شهر و کمک شایان توجه RWH به تغذیه آبخوان با استفاده از تمهیدات بسیار ساده می‌پردازیم علاوه بر این به تقاضای آب در بخش‌های مختلف خصوصاً فضای سبز شهری و عدم توزیع مکانی و زمانی بارش‌ها و امکان بهره‌گیری

از طرح‌های RWH مورد بحث قرار خواهد گرفت. پس از آن اشاره‌ای به تغذیه سفره با توجه به RWHP و جلوگیری از فرونشست دشت شیراز و پیشروی سفره شور مهارلو خواهیم داشت.

افزایش جمع‌آوری رواناب حاصل از بارندگی به وسیله تغییرات فیزیکی و شیمیایی در سطح خاک

حسین پرویزی
دانش آموخته دوره دکتری بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز

سطوح جمع‌آوری‌کننده رواناب از مهمترین بخش‌های سیستم جمع‌آوری آب باران می‌باشند که نقش تأمین آب کافی مورد نیاز با کیفیت مناسب را بر عهده دارند. مساحت این سطوح باید به اندازه کافی و کارآیی جمع‌آوری آب باران (RCE) در آن‌ها تا حد ممکن بالا باشد. همچنین این سطوح نباید تأثیر جدی بر آلودگی آب جمع‌آوری شده داشته باشند و هزینه ایجاد آن‌ها نیز نباید زیاد باشد. سطوح آبگیر عمدتاً به سه دسته تقسیم می‌گردند که عبارتند از: سطوح طبیعی شیبدار خاکی و صخره‌ای، سطوح موجود در ساختارهای از قبل ساخته شده با قابلیت نفوذپذیری کم مانند جاده‌ها و سطوح آبگیری که تنها با هدف جمع‌آوری رواناب ساخته می‌شوند. کارآیی جمع‌آوری آب باران در این سه دسته از سطوح، با توجه به جنس سطح متفاوت می‌باشد. در سطوح از پیش ساخته شده موجود مانند جاده‌ها، سقف‌ها و کف حیاط ساختمان‌ها معمولاً نمی‌توان تغییرات فیزیکی یا شیمیایی به منظور جمع‌آوری رواناب را اعمال کرد، مگر این که با هدف جمع‌آوری رواناب و از ابتدا با مواد خاص و مورد نظر ساخته شوند. در سطوحی که با هدف جمع‌آوری رواناب و به طور مصنوعی ایجاد می‌گردد استفاده از مواد مختلف می‌تواند منجر به تغییر در RCE شود. بتن که ترکیبی از شن و سنگریزه، سیمان و آب و گاهی اوقات عوامل بهبود دهنده خصوصیات می‌باشد، از رایج‌ترین مواد مورد استفاده در ساخت سطوح جمع‌آوری کننده رواناب می‌باشد که RCE در آن حدود ۰/۷۵ تا ۰/۸۵ می‌باشد. ترکیب سیمان، آب و انواع خاک (به جز خاک‌های با درصد رس بیش از ۳۰ درصد) از دیگر موادی است که در ساخت

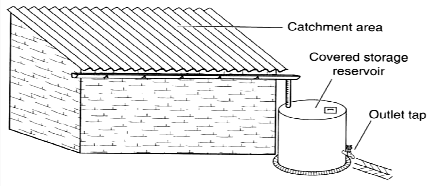
سطوح آبگیر استفاده می‌شود و با تراکم حدود ۱۶۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، RCE در آن حدود ۰/۴ تا ۰/۵ می‌باشد. همچنین ورقه‌های نازک پلاستیکی نفوذناپذیر به دو صورت دفن شده در زیر خاک و روی سطح خاک در ساخت سطوح جمع‌آوری کننده رواناب مورد استفاده قرار می‌گیرند. تثبیت و تحکیم خاک با عوامل تقویت‌کننده مانند HEC (ترکیب گچ و سیمان) نیز می‌تواند RCE را به بیش از ۰/۷۵ افزایش دهد و در مقایسه با بتن هزینه کمتری دارد. از دیدگاه اقتصادی و بر اساس برخی پژوهش‌ها ثابت شده است که از بین مواد مورد استفاده در ساخت این سطوح، سنگفرش (کاشی) سیمانی و پس از آن بتن قادر به تولید ۱ متر مکعب آب با هزینه کمتری نسبت به سایر مواد می‌باشند. در بیشتر سطوح شیبدار طبیعی می‌توان با تغییرات فیزیکی و شیمیایی مختلف در سطح خاک نسبت به افزایش RCE اقدام کرد. از جمله تغییرات فیزیکی در سطح خاک می‌توان به حذف پوشش گیاهی، حذف سنگریزه و ایجاد شیار در جهت شیب اشاره کرد. به طور کلی نفوذ پذیری همبستگی بالایی با پوشش گیاهی نشان می‌دهد و پوشش‌های دارای شاخ و برگ (درختچه‌ها)، قابلیت نفوذ بیشتری نسبت به پوشش‌های سطحی(علف‌زار) دارند (ویل کاکس و همکاران، ۱۹۸۸). بنابراین حذف پوشش گیاهی از سطوح جمع‌آوری کننده باران در افزایش RCE موثر می‌باشد و نقش مثبت آن در پژوهش‌های مختلف اثبات شده است. با این حال حذف پوشش گیاهی می‌تواند منجر به افزایش فرسایش و هدر رفت خاک شود که باید مورد توجه قرار گیرد. حذف پوشش سنگریزه‌ای از سطح خاک از جمله تغییرات فیزیکی است که منجر به تغییر در RCE سطوح جمع‌آوری کننده می‌گردد. نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده است که حذف سنگریزه از سطح خاک باعث کاهش RCE می‌گردد، در حالی که پژوهش‌های دیگری نشان داده‌اند که حذف آن منجر به افزایش رواناب تولیدی از آب باران می‌گردد. نوع قرارگیری سنگریزه‌ها در سطح خاک (آزاد یا فرورفته در خاک) و اندازه آن‌ها از جمله عوامل تعیین‌کننده در

افزایش و یا کاهش RCE می‌باشند. بعضی از محققین نشان دادند که در خاک‌هایی که دارای تخته سنگ می‌باشند افزایش شدید رواناب در اثر حذف پوشش سنگی از خاک اتفاق می‌افتد. نتایج پژوهش دیگری نشان داد که حذف سنگ‌هایی با قطر بیش از ۳/۸ سانتی‌متر از سطح خاک باعث افزایش رواناب می‌گردد. همچنین نتایج پژوهشی در دانشگاه شیراز نشان دهنده افزایش ۱۷ درصدی رواناب تولیدی در اثر حذف پوشش سنگریزه‌ای با قطر بیش از ۸ میلی‌متر می‌باشد. هر چند که یکی از پژوهشگران اثر قطعه‌های مختلف سنگی را بر روی آب بندی سطح خاک مورد پژوهش قرار داد و بیان کرد که رابطه‌ی بین این دو عامل به شرایط آب و هوایی وابسته است. به گونه‌ای که در نواحی خشک و نیمه خشک که پوشش غالب، سنگریزه‌های درشت و تخته سنگ‌های فرورفته در خاک هستند تولید رواناب افزایش می‌یابد و بر خلاف آن در نواحی مرطوب به علت غالب بودن سنگریزه‌های متوسط و ریز که به صورت آزاد در سطح خاک قرار گرفته‌اند رواناب کاهش می‌یابد. همچنین بر اساس نتایج پژوهش‌های موجود ایجاد شیار در جهت شیب در درون سطوح جمع‌آوری کننده رواناب، باعث افزایش رواناب تولیدی می‌گردد. استفاده از مواد شیمیایی در سطح خاک از دیگر روش‌های افزایش رواناب است که به دو طریق منجر به افزایش رواناب می‌گردد. برخی از مواد شیمیایی مانند بی کربنات سدیم (جوش شیرین) با تغییر در ساختمان خاک باعث کاهش نفوذپذیری و افزایش رواناب تولیدی از سطح خاک می‌گردد. استفاده از این مواد به دلیل آلودگی احتمالی و کاهش کیفیت رواناب جمع‌آوری شده باید با احتیاط صورت گیرد. برخی مواد مانند سیلیکات پتاسیم و تیوس (تترا اتیل اورتوسیلیکات) با قرار گرفتن در منافذ خاک و پرکردن آن‌ها ضمن تحکیم خاک منجر به افزایش رواناب تولیدی می‌شود. علاوه بر اعمال این تغییرات در سطح خاک به صورت جداگانه، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که کاربرد توأم این تغییرات منجر به افزایش بیشتری در RCE می‌گردد. از جمله نتایج این پژوهش‌ها می‌توان به افزایش ۱۷۴ درصدی

تولید رواناب در اثر اعمال توامان عملیات حذف سنگریزه، ایجاد شیار در جهت شیب و کاربرد ماده شیمیایی جوش شیرین در خاک در یافته‌های پژوهش انجام شده در دانشگاه شیراز اشاره کرد. همچنین این نتایج نشان داد که در مورد کیفیت رواناب تولیدی در اثر کاربرد ماده شیمیایی جوش شیرین اگر چه محدودیتی از نظرشوری و باقی مانده کربنات ایجاد نمی‌شود با این حال کاربرد این ماده تنها با رعایت جنبه‌های مدیریتی آب و خاک بلامانع است.

به‌طور کلی طراحی هر سیستم استحصال آب باران شامل بخش جمع‌کننده آب باران، بخش انتقال، فیلتر و مخزن ذخیره می‌باشد (شکل ۱). بخش جمع‌کننده باران همان بام ساختمان است که جنس و شیب آب بر راندمان جمع‌آوری آب باران و کیفیت آب استحصالی تأثیر می‌گذارد. از این نظر مناسب‌ترین مصالح برای ساخت بام شامل صفحات گالوانیزه، سفال و آجر می‌باشد. بنابراین با توجه به خصوصیات سطح جمع‌کننده آب باران (مساحت و جنس پوشش سطح) و محل مصرف (شرب، غیر شرب) ویژگی‌های فیلتر و ابعاد مخزن بدست می‌آید. بر همین اساس دستورالعمل طراحی برای جمع‌آوری آب باران، شامل گام‌های زیر است:

۱- محاسبه حجم رواناب قابل استحصال از پشت بام بر اساس رابطه زیر:
میزان آب ذخیره شده (لیتر در سال) = میزان بارندگی (میلی‌متر در سال) * مساحت بام (متر مربع) * ضریب رواناب



شکل ۱- اجزاء سیستم استحصال آب از بام به صورت بسیار ساده

جایگاه استحصال آب باران در تأمین نیازهای فضای شهری

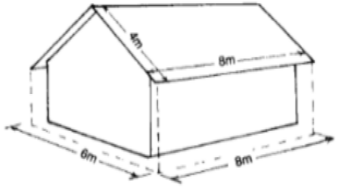
ساغر فهندژ سعدی
دانشجوی دکتری بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

از آنجایی که رشد جمعیت، نیاز روز افزون به غذا، ضرورت ارتقای سطح بهداشت و رفاه اجتماعی و توسعه صنعتی تقاضای آب را هر روزه افزایش می‌دهد، استحصال آب باران به عنوان مکمل منابع آب یا جایگزینی برای آن، به عنوان راه حلی ارزشمند در تأمین مصارف شرب، غیر شرب و آبیاری اهمیت خاصی پیدا کرده است.

به‌طور کلی استحصال آب به معنی جمع‌آوری و استفاده مفید از رواناب‌هایی است که در صورت عدم کنترل یا به فاضلاب تبدیل شده و یا باعث فرسایش و تخریب می‌شوند. استحصال آب در فضای شهری می‌تواند از طریق جمع‌آوری رواناب بام ساختمان‌های مسکونی، سطوح عایق و یا جمع‌آوری آن از سطح خیابان‌ها و بزرگراه‌های شهری صورت گیرد. استفاده از سیستم سطوح آبگیر بام ساختمان‌های مسکونی این امکان را فراهم می‌کند تا با جمع‌آوری آب باران در هنگام بارندگی، بخشی از نیاز شرب و غیر شرب (آب مورد نیاز برای شستشوی فضاهای باز، سرویس‌های بهداشتی، آبیاری فضای سبز) ساکنان تأمین شده همچنین میزان و هزینه مصرف آب در سیستم آبرسانی شهری کاهش یابد. بنابراین می‌توان گفت که استفاده از سیستم‌های جمع‌آوری آب باران به‌طور کلی سه هدف عمده را دنبال می‌کنند:

۱- کاهش نیاز به آب تصفیه شده
۲- کاهش نیاز به گسترش زیرساخت‌های تأمین آب
۳- کاهش فشار تحمیلی به سیستم فاضلاب

که اگر سطح بام مربوط به مجتمع مسکونی، یک اداره و یا ساختمانی بزرگتر نظیر بیمارستان در نظر گرفته شده حجم آب جمع‌آوری شده در سال بسیار چشمگیر خواهد بود.



مساحت سقف = ۶ * ۸ = ۴۸ مترمربع

ضریب رواناب = ۰/۶۹

میزان بارندگی سالانه = ۲۵۰ میلی‌متر

حجم رواناب استحصالی = ۴۸ * ۰/۶۹*۲۵۰ = ۸۲۸۰ لیتر در سال

شکل ۳- شکل شماتیک خانه‌ای فرضی به منظور محاسبه حجم رواناب استحصالی

۲- تخمین حجم مورد نیاز مخزن، با توجه به اطلاعات بارش منطقه، تخمین پتانسیل تولید رواناب پشت بام مورد نظر، برآورد نیاز آب مصرفی روزانه و در نهایت محاسبه حداقل میزان ذخیره مورد نیاز.

برای مثال چنانچه هدف طراحی مخزنی برای نگهداری بارش ماهانه باشد که مقدار آن بر اساس آمار بلند مدت ۸۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود، مقدار آب استحصالی جهت ذخیره بر اساس مثال قبل برابر با ۲۶۵۰ لیتر (۲/۶۵ مترمکعب) می‌باشد. چنانچه ارتفاع مخزن مورد نظر ۹۰ سانتی‌متر باشد و بتوان شکل مخزن را استوانه انخاب نمود آنگاه:

ارتفاع = h = 0.9 m

π = ۳/۱۴

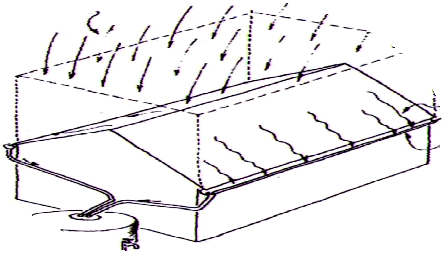
حجم مخزن = $\pi r^2 h$ = 2.65 m^3

شعاع = r = $(2.65 / (3.14*0.9))^{1/2}$ = 0.97 m

جدول ۱- مقادیر ضریب رواناب با توجه به جنس بام

نوع سطح	ضریب رواناب
صفحات فلزی گالوانیزه	۰/۹<- اما ۰/۸ معمول‌تر است
آزبست	۰/۸-۰/۹
سیمان	۰/۶۲-۰/۶۹
کاشی	۰/۶-۰/۹
آجر کارخانه‌ای	۰/۳-۰/۳۹
آجر دست‌ساز	۰/۲۴-۰/۳۱

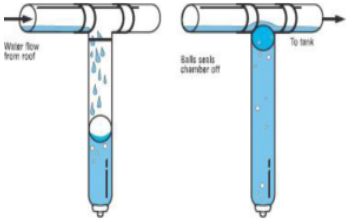
و در نهایت میزان آب جمع‌آوری شده نسبت به سقف مسطح کاهش می‌یابد. برای واضح‌تر شدن این مطلب می‌توان به شکل ۲ توجه نمود.



شکل ۲- سطح مؤثر جمع‌آوری کننده باران برابر است با سطح زمین پوشیده شده توسط بام ساختمان

۳- رعایت دستورالعمل‌های مربوط درتعیین جنس پشت بام، شیب پشت بام،طراحی سیستم جدا کننده رواناب ابتدای بارش، طراحی محل ورود و برداشت آب از مخزن، طراحی سرریز آب از مخزن و تعیین نوع فیلتر مورد نیاز.

سیستم جدا کننده بارش در حالت بسیار ابتدایی در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل نیز معلوم است بخشی از بارش صرف پر کردن استوانه پایینی شده و بعد از پر شدن آن آب به صورت خودکار به مخزن انتقال می‌یابد. حجم استوانه پایینی متناسب با مساحت بام می‌باشد.



شکل ۴- سیستم جمع‌کننده ابتدای بارش جهت حفظ کیفیت آب استحصالی

باید توجه داشت که سیستم‌های استحصال آب باران در صورتی کارآمدی خود را حفظ می‌کنند که در استفاده و نگهداری از آن‌ها دقت شود. برای مثال می‌توان به نکات زیر به عنوان ملاحظات کلی در این زمینه اشاره نمود:

۱- رواناب حاصله از بام‌های شیبدار فلزی (مانند سالن‌های ورزشی) بالاخص در مناطق گرم، دارای آلاینده‌های شیمیایی و میکروبیولوژی پایین‌تری نسبت به موارد مشابه خواهد بود.

۲- وجود ریزگردها در مناطق جنوب غربی کشور و گرد غبار در استان‌های کویری رواناب حاصله را به شدت از لحاظ کدورت

تحت تأثیر قرار می‌دهد، لذا طراحی سیستم فیلتراسیون یا زلال‌سازی الزامی خواهد بود.

۳- جنس لوله‌های انتقال آب به سمت پایین منزل می‌تواند هر نوعی باشد ولی بهتر است که از لوله‌های PVC و نظایر آن استفاده شود تا هم کیفیت آب حفظ شده و هم نگهداری و تعمیرات زیادی را نیاز نداشته باشد.

۴- تمیز کردن پشت بام‌ها و سطوح مورد استفاده در سیستم، بسیار مهم است. زدودن گرد و خاک، جمع‌آوری برگ‌ها و فضولات پرندگان که باعث مسدود شدن آبروها و کاهش کیفیت آب باران شده، بسیار مهم است.

۵- اگر آب از سطوحی غیر از بام جمع‌آوری شود تصفیه اولیه و فیلتراسیون الزامی است زیرا کیفیت آب بسیار پایین‌تر از آب جمع‌آوری شده از بام ساختمان است.

۶- در تدوین آیین‌نامه‌های اجرایی در داخل کشور، نمی‌توان شرایط یکسانی را برای تمام شهرها در نظر گرفت و ضوابط یکسانی را وضع نمود، زیرا شرایط اقلیمی تأثیر زیادی بر کارآیی سیستم‌های استحصال آب باران دارد و بایستی در هر منطقه آب و هوایی، دستورالعمل سازگار با شرایط محیط وضع گردد.