DOI: 10.22092/irn.2024.364510.1562

نامـه‌علمی

تاریخ دریافت ۱۴۰۲/۱۰/۰۶
تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۰۳/۰۱

# استحصال آب از مه، رهیافتی برای توسعه پایدار

کورش کمالی*[۱]، داود نیک‌کامی[۲]، میرمسعود خیرخواه زرکش[۳] و محمود اسلامی[۴]

چکیده

یکی از جنبه‌های چرخه آب در طبیعت، که معمولاً نادیده گرفته می‌شود، «مه» است که بخش چشمگیری از هیدرولوژی مناطق کوهستانی را تشکیل می‌دهد. وجود مه، پتانسیلی را برای مناطق کوهستانی اشکورات شهرستان رودسر فراهم می‌آورد، به‌گونه‌ای که استحصال آب از آن می‌تواند مکمل سایر روش‌ها برای جبران کم‌آبی باشد. با پایش وقایع مه‌آلودگی طی دو سال در روستای ویشکی، به‌طور میانگین ۶۵ رخداد مه‌آلود ثبت شد. در این وقایع، میانگین آب جمع‌آوری‌شده برای هر مترمربع از جمع‌کننده‌های توری از جنس پلی‌پروپیلن، ۲۷۵ لیتر در سال بوده است. در این نوشتار قابلیت سامانه‌های جمع‌آوری آب از مه در این مناطق با هدف بررسی امکان استحصال آب از مه به‌منظور افزایش توان تاب‌آوری ساکنین آن در مواجهه با بحران کم‌آبی بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی: اشکورات، تأمین آب، جمع‌کننده مه، رطوبت هوا

## Harvesting water from fog; an approach for sustainable development

K. Kamali*[1], D. Nikkami[2], M.M. Kheirkhah Zarkesh[3] and M. Eslami[4]

**Abstract**

One aspect of the water cycle in nature that is usually overlooked is fog, which forms a significant part of the hydrology of mountainous regions. The existence of fog has provided potential for the mountainous areas of Eshkevarat of Roudsar City, so water extraction from it can complement other methods to compensate for the lack of water. By monitoring the fog events during two years in Vishki village, an average of 65 fog events were recorded. In these events, the average water collected for each square meter of polypropylene mesh collectors was 275 liters per year. In this article, the ability of fog collection systems in these areas has been investigated to explore the possibility of extracting water from fog to increase resilience against the water shortage crisis.

**Keywords**: Air humidity, Eshkevarat, Fog Collector, Water supply

۱*- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.
پست الکترونیک: kamali_kourosh@yahoo.com
۲- استاد پژوهش، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۳- دانشیار پژوهش، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۴- استادیار دانشگاه فنی و حرفه‌ای، دانشکده کشاورزی پاکدشت، گروه امور زراعی و باغی، تهران، ایران

1*- Corresponding author, Assistant professor, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, (AREEO), Rasht, Iran.
2- Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, (AREEO), Tehran, Iran.
3- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, (AREEO), Tehran, Iran.
4- Assistant professor, Technical and Vocational University, Pakdasht Faculty of Agriculture, Department of Agricultural and Horticultural Affairs, Tehran, Iran.

## مقدمه

دستیابی به آب و رفع کمبود آن با هزینه‌های نگهداری کم و بدون تکیه بر مصرف انرژی در مناطقی که رویداد مه در آنها شایع است، اهمیت بسیاری دارد (Qadir *et al.*, 2018). طبیعت شواهد فراوانی برای جمع‌آوری آب از مه به‌عنوان منبع آب شیرین ارائه داده و الهام‌بخش طرح‌های احتمالی برای ایجاد سامانه‌های جمع‌آوری مه توسط انسان است. به‌عنوان‌مثال، سوسک‌های بیابانی نامیب با جمع‌آوری آب مه در منطقه‌ای با بارندگی سالانه ۱۲ میلی‌متر سازگار شده‌اند (Domen *et al.*, 2014 به نقل از Henschel and Seely, 2008). پشت این سوسک‌ها از یک سطح آب‌گریز با برجستگی‌های آب‌دوست صاف پوشانده شده است که به جمع‌آوری آب مه‌آلود و تخلیه آن در امتداد کانال‌های ایجادشده از برجستگی‌ها به دهان سوسک کمک می‌کند (شکل ۱).

در کشور عمان، که در مجاورت دریای عمان واقع شده است، با نصب دستگاه‌های بزرگ جمع‌آوری مه، پروژه استحصال آب از رطوبت هوا در منطقه ظفار، که ارتفاعی حدود ۹۰۰ الی ۱۰۰۰ متر دارد، به اجرا گذاشته شد. نتایج حاصل از این پروژه نشان داد، برای یک دوره سه ماهه، مقدار آب به‌دست‌آمده حدود ۳۰ لیتر در روز بوده است (Abdul-Wahab and Lea, 2008).

استحصال آب از مه با رشد خوبی در کشورهای مختلفی در جهان نظیر ساحل غربی آفریقای جنوبی، پرو، عمان، یمن، هائیتی، شیلی، نامبیا، اکوادور، گواتمالا، اریتره، نپال و کانادا در حال انجام است (Qadir *et al.*, 2021). به‌عنوان‌مثال، در سال ۱۹۹۲ با به‌کارگیری سیستم استحصال آب از مه، در مناطق ساحلی خشک شمال شیلی روزانه به‌طور متوسط ۱۱ هزار لیتر آب تولید شد. این پروژه، به‌عنوان بزرگ‌ترین پروژه استحصال آب از رطوبت هوا، در یک دامنه کوهستانی در سواحل مرکزی شمال کشور شیلی انجام شده است. در این مکان، ۵۰ جمع‌کننده بزرگ رطوبت هوا، که هر یک شامل یک لایه مضاعف از شبکه الیاف پلی‌پروپیلن به سطح ۴۸ مترمربع بوده، نصب شده است (International Development Research Center, 2003).

در ارتفاعات کوهستانی شمال شرق کشور در خراسان شمالی، قابلیت سامانه‌های جمع‌کننده آب از مه آزموده شده است (Mousavi, 2008). مطابق نتایج این پژوهش، این سامانه، روزانه بین ۰/۵ تا ۳/۳ لیتر در مترمربع قابلیت استحصال آب داشته است. در این پژوهش بر کاربرد این سامانه و ارزان بودن و طرح‌های مختلف نصب جهت بالابردن راندمان آن تأکید شده است.

در بسیاری از مناطق کوهستانی و مرتفع اشکورات شهرستان رودسر در استان گیلان، به‌دلیل ویژگی‌های فیزیوگرافی و توپوگرافی، امکان دسترسی به منابع آب زیرزمینی (چاه و چشمه‌های طبیعی) و آب سطحی رودخانه‌ها فراهم نیست. در این رابطه، ساکنان خلاق و تیزهوش این مناطق از تمام ظرفیت‌های محیطی موجود ازجمله سامانه‌های استحصال آب باران به‌منظور تأمین آب موردنیاز برای مصارف خانگی، شرب و آبیاری باغ‌ها و مزارع خود بهره می‌برند (کمالی، ۱۴۰۱). وجود مه، پتانسیلی را برای مناطق کوهستانی اشکورات فراهم آورده است (شکل ۲)، به‌گونه‌ای که استحصال آب از آن می‌تواند مکمل سایر روش‌ها برای جبران کم‌آبی در این مناطق باشد.

اشکور، یک منطقه کوهستانی و ییلاقی است که در امتداد رشته کوه البرز واقع شده است. شرایط آب‌وهوایی این منطقه، نیمه‌مرطوب سرد تا نیمه‌خشک سرد است و ازنظر توپوگرافی در شرایط کوهستانی قرار دارد. با توجه به شرایط زمین و شیب تند آن، همچنین اقلیم منطقه، مهم‌ترین محصول زراعی این منطقه گندم، جو، حبوبات، صیفی‌جات و درختان میوه نظیر فندق، گردو، سیب، به، گلابی و ... است. بسیاری از مردمان این مناطق علاوه‌بر کشاورزی به دامداری نیز مشغولند. در این مناطق که به‌عنوان قطب توسعه فندق و گیاهان دارویی کشور شناخته می‌شوند، ضرورت تأمین آب موردنیاز جهت آبیاری تکمیلی در ماه‌های بحرانی، همچنین تأمین آب شرب دو چندان است. ازاین‌رو، در نوشتار پیش‌رو، به الزامات مکان‌یابی نصب سامانه‌ها، روش‌های جمع‌آوری آب از مه و یافته‌های حاصل از آن در روستای ویشکی شهرستان رودسر پرداخته شده است.

## الزامات مکان‌یابی نصب سامانه‌ها

بهترین روش برای انتخاب مکان‌های مستعد استحصال آب از مه، استفاده از نقشه‌ها و داده‌های هواشناسی است که با استخراج تعداد روزهای ابرناکی در منطقه موردمطالعه، بتوان محل استقرار سامانه‌های جمع‌آوری رطوبت هوا را تعیین نمود. آگاهی از جهت باد غالب نیز در موفقیت طرح تأثیر بسزایی دارد. بهره‌گیری از دانش بومی و تجربیات کشاورزان و بهره‌برداران پیشرو در منطقه و توجه به مشاهده‌های آنها، کمک شایانی به

شکل ۱- جذب مه توسط سوسک صحرای نامیب

شکل ۲- نمایی از روستای ویشکی در محاصره مه

استقرار مناسب سامانه‌ها می‌نماید.

برای انتخاب محل مناسب اجرای پروژه، باید به الزامات فنی و اجتماعی محل استقرار سامانه‌ها توجه نمود. الزامات فنی شامل فراوانی وقوع مه و وجود مناطقی با بیش از ۵۰ روز مه‌آلودگی در سال، وجود توپوگرافی مناسب و دسترسی به منطقه، وجود محیط بادخیز و آگاهی از جهت و سرعت باد در مناطق نصب سامانه‌هاست. الزامات اجتماعی نیز شامل نیاز مردم منطقه به آب برای مصارف کشاورزی و شرب، توجه به مالکیت اراضی محل نصب سامانه‌ها (اجرای پروژه در اراضی مستثنیات اشخاص) و مشارکت ذی‌نفعان و بهره‌برداران محلی در اجرای پروژه، دیده‌بانی و حفاظت از تجهیزات و سامانه‌های نصب‌شده است.

## ● روش‌های جمع‌آوری آب از مه

روش‌های جمع‌آوری آب از مه، به‌نسبت ساده و شامل استفاده از تورهای مشبک متصل به یک قاب محکم است. با عبور مه از تورهای مشبک، قطرات مه روی توری تجمع می‌کنند و درنهایت، از تورهای مشبک به داخل ناودان‌هایی که به مخزن جمع‌آوری هدایت می‌شود، جاری

شکل ۳- نمایی از استقرار سامانه‌های جمع‌کننده پرده‌ای آب از مه و اندازه‌گیری آب جمع‌آوری‌شده در مخازن

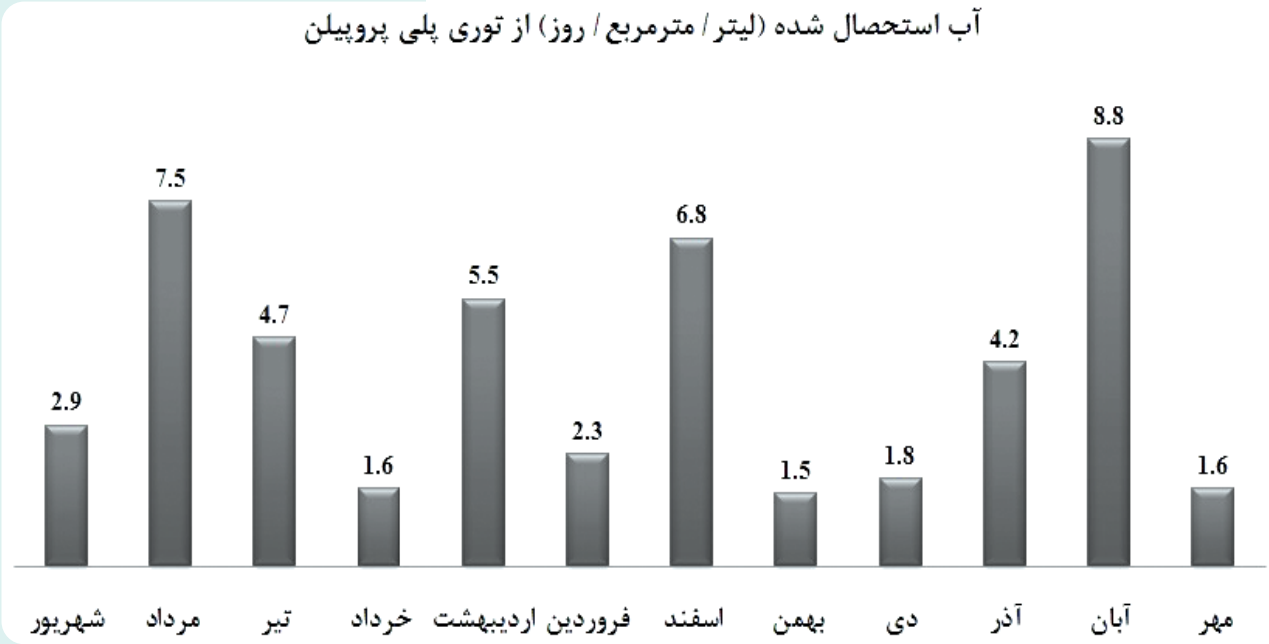
شکل ۴- نمایی از تراکم و انباشته شدن مه در سامانه جمع‌کننده و هدایت آب به سمت ناودان

می‌شوند. با تعبیه مخازن جمع‌آوری آب و با دیده‌بانی و پایش منظم، حجم آب ذخیره‌شده در جمع‌کننده‌ها، اندازه‌گیری شدند (شکل ۳). در این ارتباط، شکل ۴، نمایی از تراکم و انباشته شدن مه و ایجاد جریان نازک آب توسط سامانه توری جمع‌کننده را نشان می‌دهد.

## ● یافته‌ها

بررسی داده‌های حاصل از دیده‌بانی و پایش مستمر سالانه، جمع‌آوری مقادیر مختلفی از آب را در روزهای مه‌آلود نشان داد. در سال اول اجرای پروژه، ۷۶ روز (واقعه) و در سال دوم ۵۴ روز (واقعه مه‌آلود) در منطقه پژوهش ثبت شد. Rahimi (۲۰۱۲) نیز با بررسی ۱۱۵ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی کشور ایران، منطقه اجرای این پژوهش را در زمره مناطقی با بیش از ۵۰ روز مه‌آلودگی گزارش کرده است.

مقدار کل آب جمع‌آوری‌شده برای هر مترمربع از جمع‌کننده‌های توری پلی‌پروپیلن، ۲۷۵ لیتر در سال به دست آمد. بیشترین میزان آب جمع‌آوری‌شده، در ماه‌های اردیبهشت و مرداد و کمترین آن مربوط به ماه‌های بهمن و دی بود. بررسی متوسط عملکرد جمع‌کننده‌ها نشان




شکل ۵- میانگین آب استحصالی از سامانه جمع‌کننده پرده‌ای (لیتر / مترمربع / روز)

داد، حداکثر مقدار برداشت ماهانه در آبان ماه با ۸/۸ (لیتر / مترمربع / روز) و مرداد ماه با ۷/۵ (لیتر / مترمربع / روز) و کمترین مقدار به میزان ۱/۵ (لیتر / مترمربع / روز) در بهمن ماه بوده است. همچنین بررسی‌ها نشان داد، مجموع آب جمع‌آوری‌شده در ماه‌های بحرانی تیر و مرداد نیز ۱۲/۲ (لیتر / مترمربع / روز) است (شکل ۵). این میزان جمع‌آوری آب از مه در این ماه‌ها، امیدواری به توسعه این شیوه را برای جبران کمبود آب در ماه‌های بحرانی و سازگاری با کم‌آبی نشان می‌دهد.

## ● سطح نفوذ اجرای پروژه و قابلیت تعمیم آن

با توجه به پتانسیل فراوان مه در مناطق کوهستانی، استحصال آب از این سرمایه محیطی، گام مهمی در تأمین آب با کیفیت مناسب برای نیازهای آشامیدنی، آبیاری و سایر مصارف است. بهره‌گیری از این فناوری، جهت توسعه باغ‌ها در اراضی شیب‌دار (دیم‌زارهای رهاشده و کم‌بازده)، ایجاد پوشش دائمی گیاهی و توسعه گیاهان دارویی و تأمین آب موردنیاز حیات‌وحش و دام‌های اهلی چراکننده در مناطق مستعد، پتانسیل بالقوه‌ای را فراهم آورده است. این فناوری، با تأمین بخشی از نیاز آبی محصولات زراعی، باغی و دامی آبخیزنشینان و عشایر کوچ‌رو، به رفاه اجتماعی، کاهش هزینه‌های جاری و عمرانی کشور و افزایش توان تاب‌آوری ساکنین مناطق مستعد منجر خواهد شد. ذکر این نکته لازم است که در مناطق کوهستانی گیلان نظیر ارتفاعات دیلمان، رودبار و تالش، استعداد استحصال آب از مه وجود دارد. اجرای این پروژه در مناطق کوهستانی اشکورات، موجب ارائه الگوی علمی و عملی به‌کارگیری سامانه‌های استحصال آب از مه در این منطقه شده و توانسته است نقش مهمی در اشاعه فرهنگ بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی به‌منظور بهبود وضعیت معیشت کشاورزان و باغداران داشته باشد. چراکه، توسعه آنگاه پایدار و ماندگار خواهد بود که همگان آن را به‌صورت یک فرهنگ بپذیرند و با مقبولیت عام با مشارکت غیررسمی مردم همراه شود. شکل ۶، الگوبرداری و ابتکار یک باغدار پیشرو را برای تأمین رطوبت خاک باغ‌های گردو با استحصال مه در روستای ویشکی اشکورات نشان می‌دهد.

## ● اهمیت اقتصادی-اجتماعی استحصال آب از مه

اثرات اقتصادی و اجتماعی اجرای پروژه استحصال آب از مه در مناطق مستعد را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

- بهره‌گیری از سرمایه محیطی مه به منظور

شکل ۶- الگوبرداری استحصال مه در یک باغ گردو (عکس: علی حسن‌زاده ویشکی)

تبدیل آن به آب قابل دسترس،

• نسبت فایده به هزینه اجرای پروژه بیش از ۱/۵،

• مشارکت جوامع محلی در اجرای پروژه،

• استقرار ارزان سامانه‌های جمع‌کننده آب از مه به‌عنوان گزینه‌ای پایدار در تامین بخشی از نیاز آبی مردم.

## ● دستاوردها

اجرای پروژه استحصال آب از مه، به‌عنوان راهکاری برای سازگاری با کم‌آبی در مناطق محروم اشکورات رودسر، توانسته است نامزد دریافت جایزه بنیاد جهانی انرژی در سال ۲۰۲۲ شود (شکل ۷).

همچنین این پروژه، توانست در پنجمین جشنواره علمی سلمان فارسی سازمان پدافند غیرعامل کشور در سال ۱۴۰۱ شایسته تقدیر شناخته (شکل ۸) و به‌عنوان دستاورد برتر سازمان تحقیقات،

شکل ۷- دریافت جایزه بنیاد جهانی انرژی؛ ایران، ۲۰۲۲ (جزیره کیش- اردیبهشت ۱۴۰۱)

شکل ۸- دریافت گواهی شایسته تقدیر از پنجمین جشنواره علمی سلمان فارسی (سازمان پدافند غیرعامل کشور، تهران- خرداد ماه ۱۴۰۱)

شکل ۹- دستاورد برتر سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (هفته پژوهش و فناوری، آذر ماه ۱۴۰۱)

آموزش و ترویج کشاورزی در همان سال معرفی شود (شکل ۹). لیکن دستاورد اصلی این پروژه پاسخگویی به نیاز مردم سختکوش مناطق مستعد کوهستانی استان گیلان به‌منظور جبران کمبود آب و سازگاری با کم‌آبی است. بی‌شک موفقیت این پروژه، مرهون عنایت پروردگار و حمایت‌های پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان و تلاش بهره‌برداران سختکوش مناطق اجرای پژوهش در روستاهای اشکورات رودسر است.

## ● نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در انتخاب محل‌های اجرای پروژه، توجه به الزامات فنی و اجتماعی، مهم است. فراوانی وقوع مه و وجود مناطقی با بیش از ۵۰ روز مه‌آلودگی در سال، سرعت و جهت باد، محتوای رطوبتی مه، خصوصیات توپوگرافی و دسترسی به منطقه، ازجمله الزامات فنی و نیاز مردم منطقه به آب برای مصارف کشاورزی و شرب، مالکیت اراضی محل نصب سامانه‌ها و اجرای پروژه در اراضی مستثنیات، مشارکت ذی‌نفعان و بهره‌برداران محلی در اجرای پروژه به‌منظور دیده‌بانی و حفاظت از تجهیزات و سامانه‌های نصب‌شده، ازجمله الزامات اجتماعی اجرای پروژه است.

شایان ذکر است، گسترش سامانه‌های جمع‌آوری آب از مه در مناطق مستعد، نیازمند مشارکت جوامع محلی، توانمندسازی افراد، حمایت دولت و مشارکت فعال نهادهای محلی به‌عنوان محرک‌های کلیدی برای توسعه این سامانه‌ها در تأمین پایدار آب شیرین است.

طراحی و ساخت سامانه‌های جمع‌کننده مه نیز باید به‌صورتی انجام شود که در عین سادگی و هزینه کم، در عمل امکان استقرار و بهره‌برداری از آن وجود داشته باشد. به‌طوری‌که بهبود کارایی این سامانه‌ها متناسب با شرایط طبیعی هر منطقه، موجب گسترش کاربرد این شیوه در مناطق مستعد خواهد شد.

## ● منابع

کمالی، ک.، ۱۴۰۱. شیوه‌های ذخیره نزولات و افزایش رطوبت خاک در باغ‌های دیم فندق. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، انتشارات: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۳۹ صفحه.

Abdul-Wahab, S.A. and Lea, V., 2008. Reviewing fog water collection worldwide and in Oman. International Journal of Environmental Studies, 65(3): 485-498.

Domen, J., Stringfellow, W., Camarillo, M. and Gulati, S., 2014. Fog water as an alternative and sustainable water resource. Clean Techn Environ Policy, 16: 235–249.

International Development Research Center, 2003. A lesson about the value of multidisciplinary research. IDRC Annual Report, 2002-2003, 39.

Mousavi-baygi, M., 2008. The implementation of fog water collection systems in Northeast of Iran. International Journal of Pure and Applied Physics, 4: 13–21.

Qadir, M., Jiménez, G.C., Farnum, R.L., Dodson, L.L. and Smakhtin, V., 2018. Fog water collection: challenges beyond technology. Water, 10: 372.

Qadir, M., Jiménez, R., Farnum, R. and Trautwein, P., 2021. Research history and functional systems of fog water harvesting. Frontiers in Water, 3: 1-11.

Rahimi, M., 2012. Analyzing the temporal and spatial variation of fog days in Iran. Pure and Applied Geophysics, 169 (5-6): 1165-1172.