فصلنامه علمی آماد و فناوری دفاعی، سال ششم، شماره هفدهم، بهار ۱۴۰۲

کاربرد نانو ماسه آب‌گریز به‌عنوان راهبردی در راستای کاهش هدر رفت منابع آبی در مناطق کویری و بیابانی ایران

داودپیروهدایتی[1]، جابر رحیمی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۲ تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۱۲/۰۲

چکیده

با توجه به قرارگیری ایران در کمربند خشک جهانی و مواجه بودن آن با بحران بیابان‌زایی، طی سالیان اخیر راهبردهایی در حوزه‌های مختلف به‌منظور مواجهه با این پدیده بکار گرفته شده است. در پژوهش حاضر ضمن معرفی دانش فنّ فناوری "ماسه آب‌گریز" به‌عنوان یک فرآورده مهم نانو فناوری در عرصه بیابان‌زدایی، تجربیات جهانی در این زمینه و همچنین قابلیت بهره‌برداری از آن در مناطق کویری و بیابانی کشور موردبررسی قرار می‌گیرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که کاربست یک پانل از این نوع ماسه در زیر لایه‌ای از ماسه کویر، می‌تواند آب حاصل از باران یا آبیاری را در خود نگه‌داشته و بدین ترتیب آب موردنیاز ریشه گیاهان و محصولات را به‌طوری مؤثر تأمین کند که این خود کاهش ۷۵ درصدی در نیاز به آبیاری و نیز محصولات بیشتر و بهتر را به دنبال خواهد داشت. در مطالعه موردی روی درخت خرما در این پژوهش، به بررسی تأثیر استفاده از این نانو ماسه بر روی پارامترهای رشد پرداخته شد. در گام اول بررسی‌ها نشان داد که در شرایط استفاده از نانو ماسه آب‌گریز، طول ریشه نسبت به حالت معیار، ۴۰٪ افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، به‌کارگیری این نوع نانو ماسه سبب افزایش غلظت مواد مغذی لازم رشد در ریشه نخل خرما می‌شود. همچنین، نتایج مربوط به میزان فلزات سنگین در برگ و ریشه نخل خرما نشان داد که میزان فلزات سنگین (کادمیم،مولیبدن، سرب و سلنیم) در محدوده توصیه‌شده قرار داشتند. همچنین بررسی مطالعات مزرعه‌ای صورت گرفته نشان می‌دهد، ازآنجایی‌که مناطق جنوبی ایران مستعد کاشت نخل است، استفاده از این نوع ماسه، می‌تواند اثرات شگرفی در توسعه پایدار منطقه ازجمله صرفه‌جویی در مصرف منابع آبی، حفظ محیط‌زیست، کاهش روند بیابان‌زایی در منطقه، رونق کشاورزی و ایجاد اشتغال ایجاد کند.

واژگان کلیدی: ماسه آب‌گریز، نانو فناوری، بیابان‌زدایی

---

[1] کارشناس ارشدمهندسی مواد، دانشکده فنی دانشگاه تهران. پست الکترونیک: d.pirhedayati@yahoo.com

[2] فارغ التحصیل دکتری هواشناسی کشاورزی دانشگاه تهران – گروه مهندسی آبیاری و آبادانی – پردیس کشاورزی و منابع طبیعی
شماره تماس: ۰۹۱۱۱۰۰۵۷۸۶ – پست الکترونیک: jaberrahimy@ut.ac.ir

مقدمه

سرزمین پهناور ایران به‌رغم تنوع قابل‌توجه آب و هوایی و گستردگی جغرافیایی و تنوع زیستی و اکوسیستمی، دارای محدودیت و تنگناهای طبیعی است که اگر مؤلفه‌های آن به‌درستی شناخته شوند و موردپژوهش قرار گیرند، می‌تواند به یک فرصت برای کشور و ارتقای کیفیت زیست و افزایش تولید ناخالص ملی بدل شود. بیابان یکی از مهم‌ترین بوم‌سازگان ایران است و به لحاظ وسعت زیاد و همچنین اثرگذاری بر سایر بوم‌سازگان جنگل، مرتع، تالاب و کشاورزی نمی‌توان این عرصه‌های وسیع را در برنامه‌ریزی‌ها و کلان‌نگری‌های مدیریت کشور نادیده گرفت. بیابان‌زایی عبارت است از تخریب سرزمین در مناطق خشک، نیمه‌خشک تا خشک نیمه مرطوب براثر عوامل گوناگون شامل تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های انسان. با توجه به اهمیت مقوله بیابان‌زدایی در طرح‌های مربوط به توسعه پایدار در کشور، تحقیق در زمینه طرح‌های علمی و عملی به‌منظور احیای مناطق بیابانی از اهمیت بالایی برخورد دار است (عبدی نژاد و ناظمی، ۱۳۹۳). ازجمله راهکارهای نوین در این زمینه، به‌کارگیری علم نسبتاً نوپای نانو فناوری است. بر اساس تعریف سازمان ملی نانو فناوری آمریکا، نانو فناوری درک و کنترل ماده در ابعادی بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتراست؛ ابعادی که پدیده‌های منحصربه‌فردی منجر به کاربردهای بدیع می‌گردد (Poole & Owens, 2003). در ابعاد نانو، مواد ممکن است رفتار متفاوت و حتی غیرمنتظره از خود به نمایش بگذارند. کاربرد نانوتکنولوژی در کشاورزی هنوز در مراحل اولیه است و هنوز تحقیقات زیادی در این زمینه انجام نشده است. در این تحقیق، هدف ارائه نگرشی جامع به استفاده از نانو فناوری در بهبود کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از طریق کاهش تعداد دفعات آبیاری است. در این زمینه، نانو ماسه‌های آب‌گریز، راهکاری با پتانسیل بالا و البته همراه با چالش‌هایی است که نیاز به مطالعه راهبردی عمیق‌تر آن‌ها را طلب می‌کند. لذا مطالعه حاضر بر آن است تا به بررسی تجربیات جهانی موجود در این زمینه و همچنین قابلیت بهره‌برداری از آن در مناطق کویری و بیابانی کشور به‌ویژه در خصوص محصول خرما بپردازد.

پایه‌های علمی تکنولوژی ماسه آب‌گریز

یک کاربرد اساسی نانو فناوری که می‌تواند تغییری انقلابی در صنایع به وجود آورد، پوشش دهی سطحی بر روی مواد با خواص معمولی در جهت بهبود خواص است. برخلاف حجم ماده، که تعیین‌کننده خواص ساختاری ماده است، سطح ماده، فصل مشترک ارتباط با سیستم‌های بیرونی است.

اصلاح خواص سطحی از طریق نانو فناوری کاربردهای گوناگونی دارد که یکی از مه‌ترین آن‌ها

مفهومی به نام سطوح آب‌گریز است (Zettlemoyer&Fowkes, 1969). استفاده از این نوع سطوح در طی چند سال گذشته تجاری شده است. این سطوح، در اثر تماس با آب‌تر نمی‌شوند و هیچ‌گونه اتصالی با سطح آب برقرار نمی‌کنند. برگ گیاه نیلوفر آبی به‌طور طبیعی از این خاصیت برخوردار است و از همین رو به این اثر، اثر Lotus نیز گفته می‌شود (Aegerter*et al.*, 2008: ۲۳۶-۲۰۳). ماسه آب‌گریز را می‌توان در کشاورزی استفاده کرد به این صورت که این ماسه پس از فراوری در زیر عمق مشخصی از خاک مدنظر دفن می‌شود. یک‌لایه از ماسه آب‌گریز در زیر خاک باعث می‌شود آب از این ماسه عبور نکند و درعین‌حال، اجازه ورود هوا وجود داشته باشد (Salem *et al.*, 2010: 2237-2246; Mura *et al.*, 2013: 127-140).

ماده اولیه تولید ماسه آب‌گریز، ماسه‌بادی معمولی است که با مادهای ارگانیک، پوشش داده می‌شود. زمانی که این افزودنی به ماسه افزوده شود، سطح ماسه آب‌گریز می‌گردد. این عمل سبب ایجاد یک عمل مویینگی می‌شود و باعث می‌گردد که علاوه بر مقاومت نسبت به عبور آب، ماسه نسبت به نمک، به‌ویژه یون‌های سدیم کلرید نیز مقاوم گردد (Franco *et al.*, 2010: 47-58). مزرعه‌های کشاورزی می‌توانند از ماسه آب‌گریز در زیر لایه ماسه رویی استفاده کنند تا میزان هدر روی آب به حداقل برسد. آب از این لایه ماسه پایین‌تر نمی‌رود و بالای لایه ماسه آب‌گریز حبس می‌گردد و سبب می‌شود که ریشه‌ها به لایه آب جمع شده دسترسی پیدا کنند. (Urbanek*et al.*, ۲۰۰۷: ۱۴۷-۱۵۵).

همان‌طور که گفته شد، قابلیت بسیار ارزشمند دیگر این ماسه‌ها این است که مانع صعود نمک به بالا، جایی که ریشه حضور دارد، می‌شوند. مکانیسم این ویژگی بسیار ساده است. در عمقی که لایه ماسه آب‌گریز وجود دارد، آب از بالا و پایین اجازه حرکت نخواهد داشت و بنابراین، نمک محلول در آب نیز نمی‌تواند در عمق خاک حرکت کند. همچنین با استفاده از این ماسه، تبخیر آب از سطح آب نیز تا حد زیادی کاهش می‌یابد.

بیشتر حجم خاک کویر را شن‌های شوره‌زار تشکیل می‌دهند که از ۸۵٪ ماسه تشکیل شده‌اند. این ماسه ازنظر وجود مواد آلی فقیر است و میزان این دسته از مواد بین ۰,۱ تا ۰,۲٪ است. همچنین خاک کویری ازنظر عناصر اصلی مانند نیتروژن (با بازه ppm10–۵)، فسفر (با بازه ppm5–۱) و پتاسیم (با بازه ppm ۱۴–۱۰۰) بسیار فقیر است. ترکیبات فرعی مانند کلسیم کربنات نیز غلظت بسیار پایینی در حدود ٪ ۴۰–۲۰ دارند (Kassas, 1995). از سوی دیگر، منابع آبی جهت آبیاری در کشورهای خاورمیانه اصولاً منابع زیرزمینی هستند که در آن‌ها چاه‌ها باید به لحاظ شوری آب در بازه ۲۰۰ تا

۵۰۰۰ppm باشد تا بتوان برای مقاصد کشاورزی از آن‌ها استفاده کرد. نیاز برای آب زیرزمینی جهت آبیاری به دلیل کمبود بارش‌های سالانه منجر به اختلال در سطح این منابع آبی شده است که همین امر موجب شده است تا منابع زیرزمینی کاهش پیداکرده و همچنین میزان شوری آن‌ها نیز به‌ویژه در طی سال‌های خشک‌سالی افزایش پیدا کند (مختاری، ۱۳۹۳).

از دیدگاه تولیدی، ماسه آب‌گریز، ماسه ساحلی معمولی است که با ذرات ریز سیلیس خالص پوشش داده می‌شوند. به‌طور مشخص‌تر، این ماسه در معرض بخار یک ترکیب سیلیسیم دار به نام "تری‌متیل هیدروکسیلان"[1]قرار می‌گیرد. زمانی که دانه‌های ماسه ساحلی با بخار تری‌متیل هیدروکسیلان تماس پیدا می‌کنند، واکنشی رخ می‌دهد که نتیجه آن تشکیل آب در پیوندهای "تری‌متیل سیلان" است که از قبل با ذرات سیلیس ترکیب شده‌اند. به دنبال این واکنش، سطوح خارجی دانه‌های ماسه حاوی گروه‌هایی می‌شوند که در آب نامحلول بوده و یا آب‌گریز هستند.

ماسه‌های آب‌گریز از دیدگاه فیزیولوژیکی بی‌خطر گزارش‌شده‌اند و خاصیت آب‌گریزی این ماسه‌ها تا ۳۰ سال تضمین می‌گردد. نانو سیلیس مورداستفاده شامل مجموعه‌ای از ذرات کوچک $SiO2$ است که از طریق پیوندهای شیمیایی به یکدیگر متصل شده و ذرات بزرگ‌تری را تشکیل می‌دهند. مزیت اصلی نانو سیلیس در مقایسه با سیلیس، گستره سطح بالای این ماده است که باعث می‌شود در بستر مورداستفاده برهم‌کنش بیشتری از خود نشان دهد. تصویری از ماسه آب‌گریز در شکل ۱ آورده شده است.

شکل ۱: نمایی از ماسه هایدروفوبیک مقاوم در برابر نفوذ آب

---

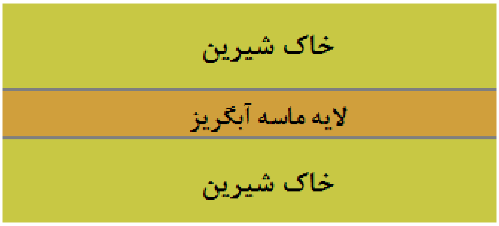
[1] Trimethylsilanol (TMS) ($(CH_3)_3SiOH$)

نکته مهم در طراحی سطوح آب‌گریز این است که نباید به قطرات آب اجازه داده شود تا با سطح تماس سرتاسری برقرار کند چراکه در این صورت به دلیل وجود نیروهای وان در والس، به سطح چسبیده و اصطلاحاً سطح را تر می‌کند. رسیدن به این مهم، درگرو طراحی سطحی ماده در مقیاس نانو است (Al-Azawi, 2015). به‌طور دقیق‌تر، می‌بایست در این ابعاد از ماده، سطحی ناهموار شامل قله‌ها و دره‌ها ایجاد کرد. در این صورت، هوا در بین این ناهمواری‌ها به دام خواهد افتاد و چنانچه دره‌ها به‌اندازه کافی کوچک باشند، تنش سطحی آن‌قدر بالا خواهد بود که قطرات آب نمی‌توانند وارد این منافذ شوند و به سمت قله‌های رانده می‌شوند. بدین ترتیب، درواقع قطرات آب با سطح برخوردی ندارند و روی بالشی از هوا حرکت می‌کنند و تماس آب با سطح به میزان چشمگیری کاهش پیدا می‌کند. اساساً میزان آب‌گریز بودن یا تر شوندگی، به پیکربندی سطحی و همچنین خواص ماده بستر بستگی دارد (Hirasaki, 1991: 217-226).

همان‌طور که ذکر شد، ماسه آب‌گریز، همان ماسه ساحلی معمولی است که با ذرات ریز سیلیس خالص پوشش داده‌شده و تحت عملیات شیمیایی خاصی در معرض بخار ترکیبی از سیلیس به نام تری‌متیل هیدروکسیلان $(CH_3)SiOH$ قرار گرفته است. زمانی که دانه‌های ماسه ساحلی در معرض تری‌متیل هیدروکسیلان قرار می‌گیرند، واکنشی رخ می‌دهد که نتیجه آن تشکیل آب و اتصال ترکیب تری‌متیل سیلان با ذرات سیلیس است. پس‌ازاین واکنش، سطوح خارجی این دانه‌های ماسه‌ای شامل گروه‌هایی می‌شود که در آب نامحلول هستند و یا اصطلاحاً آب‌گریز می‌باشند. ماسه آب‌گریز از دیدگاه فیزیولوژیکی یک ماده بی‌خطر شناخته‌شده است و اثر آب‌گریزی آن تا ۳۰ سال ضمانت خواهد داشت (Andrén-Sandberg, 2011).

ماسه‌های آب‌گریز را می‌توان در کشاورزی استفاده کرد. یک‌لایه از ماسه آب‌گریز در انتهای گلدان مانع عبور آب از درون گلدان شده ولی اجازه عبور هوا را از بین دانه‌های ماسه می‌دهد و هوای موردنیاز برای تنفس ریشه‌ها را فراهم می‌کند. به‌محض اضافه شدن افزودنی به ماسه، پدیده موئینگی به وجود می‌آید و سبب ایجاد پوشش آب‌گریز اطراف ماسه می‌شود و آن را نسبت به نمک، به‌طور مشخص، سدیم کلرید، مقاوم می‌سازد.

به‌منظور به حداقل رساندن هدر رفت آب، مزارع کشاورزی می‌توانند از ماسه آب‌گریز، به‌عنوان لایه‌ای زیر خاک شیرین استفاده کنند. به این طریق، جریان آب به سمت منابع زیرزمینی گرفته می‌شود و به‌جای آن، بر روی لایه‌ای از ماسه آب‌گریز به دام می‌افتد و به ریشه گیاهان اجازه داده می‌شود که به حوضچه‌ای از آب جمع شده زیر آن دسترسی داشته باشند. شماتیک این طرح در شکل ۲ نشان داده است.



شکل ۲: شماتیک طرح استفاده از ماسه آب‌گریز در مزارع کشاورزی

بررسی تجربیات جهانی در عرصه استفاده از فناوری ماسه‌های آب‌گریز

کمبود آب برای ساکنین مناطق بیابانی، به‌ویژه در آفریقا و خاورمیانه چالشی بزرگ است. بر اساس گزارش سازمان ملل متحد، سالانه بیش از ۱٫۶ میلیون نفر براثر نبود دسترسی به آب پاک جان خود را از دست می‌دهند. بر اساس گزارش سازمان منابع جهانی WRI، منتشرشده در سال ۲۰۱۳ ایران ازنظر کمبود آب در منطقه هشدار قرار داشته است. در کمتر از یک دهه قبل، مفهوم نوین "ماسه آب‌گریز"[1] در یک آزمایشگاه نانو فناوری تحت سرپرستی پژوهشگر آلمانی Schulze توسعه یافت و به‌تدریج کشورهای زیادی ازجمله امارات متحده عربی، آلمان، مغولستان، ایتالیا، تونس قدم‌های راهبردی فراوانی چه در حوزه پژوهش و چه در حوزه صنعت به انجام رسانده‌اند (Moser, 2013: 281). کشور امارات متحده عربی با احداث یک کارخانه تولید انبوه ماسه‌های آب‌گریز در این امر پیشتاز شده است. این شرکت با سرمایه داخلی و با انتقال فنّاوری از کشور آلمان احداث شده است (Salem *et al.*, 2013: 591-595). این ماسه در این کارخانه با ظرفیت ۳۰۰۰ تن در روز، به‌صورت لایه‌های ساندویچی با پوشش نازک پلی‌اتیلن زیست تجزیه‌پذیر و در طول‌هایی به‌اندازه ۵۰ متر تولید می‌شوند. محصولات تولید شده به‌صورت بسته‌بندی ماسه‌های آب‌گریز زیر ماسه‌های صحرا خوابانده می‌شوند. جنس بسته‌بندی‌ها از پلاستیک تجزیه‌پذیر تهیه می‌شوند (Rola-Rubzen*et al.*, 2009). به‌منظور تبیین اهمیت این محصول می‌توان به‌عنوان مقایسه، شرایط طبیعی با ماسه معمولی را در نظر گرفت که در آن، آب ناشی از باران و یا آبیاری به‌سرعت به سمت پایین می‌رود و ریشه گیاهان را خشک می‌کند. اما با استفاده از این نوع ماسه، آبیاری سنتی را می‌توان از پنج یا شش بار در روز به‌یکبار در روز کاهش داد. بنابراین، این تحقیق می‌تواند به‌عنوان مقدمه‌ای برای طرح ساخت کارخانه جهت تولید

---

[1] Hydrophobic Sand

پنل‌های ماسه آب‌گریز مطرح باشد. در صورت عملیاتی شدن، این اولین تأثیر نانو فناوری در حوزه توسعه پایدار در کویر خواهد بود چراکه استفاده از ماسه آب‌گریز می‌تواند به میزان ٪۷۵ در مصرف آب برای آبیاری محصولات کشاورزی صرفه‌جویی کند. از مزایای این روش می‌توان به افزایش تولید محصولات غذایی و تعدیل مشکلات ناشی از کمبود آب و خشک‌سالی اشاره کرد.

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، ماسه آب‌گریز دارای سطوح با ویژگی‌های منحصربه‌فردی هستند. این ماسه‌ها کاربردهای گوناگونی دارند که برخی از آن‌ها به‌صورت بالقوه و در مرحله تحقیقاتی هستند و برخی دیگر به‌طور موفقیت‌آمیز، صنعتی شده‌اند. Klein *et al.* (۲۰۰۳: ۳۷۷-۳۸۰) در دانشگاه کالیفرنیا در تحقیقی بر روی تولید سطوح فوق آب‌گریز بر روی بستر آلومینایی پلی کریستال، از خمیر نانوسیلیس استفاده کردند. آن‌ها با تغییر دادن غلظت خمیر سیلیس و عملیات حرارتی پوشش دهی به بررسی بهینه‌ترین حالت برای تر شوندگی سطح پرداخته‌اند. نوآوری ویژه در این پژوهش، اضافه کردن محلول فلوئوروسیلین در پوشش بود که زاویه تر شوندگی را به حداقل میزان رساند و درنتیجه خواص فوق آب‌گریز بر بستر آلومینا مشاهده گردید. در پژوهشی دیگر (xia&Brueck, 2008: ۲۸۱۹-۲۸۲۴). مطالعه نانو ساختاری بیشتری بر روی خواص سطحی و مکانیسم‌های مؤثر در ایجاد سطح آب‌گریز انجام داده‌اند که نتایج کاربردی حائز اهمیتی را در بردارد. (Urbanek*et al, 2007: 147-۱۵۵)*. نیز به بررسی امکان آب‌گریز کردن سیستم‌های خاک مختلف با استفاده از افزودن گروه‌های ترکیبی آب‌دوست و آب‌گریز پرداختند. این تحقیق از آن نظر حائز اهمیت است که می‌تواند مفهوم استفاده از ماسه‌های آب‌گریز را به مناطق نیمه‌خشک و زمین‌های کشاورزی نیز بسط بدهد. خاصیت دفع آب در ماسه‌های ترنشونده یا آب‌گریز به دلیل وجود پوشش‌های آب‌گریز موجود در سطح دانه‌های ماسه‌هاست. در برخی کشورها، مانند استرالیا و نیوزلند، این ماسه‌ها به‌صورت طبیعی یافت می‌شوند. بنابراین، این پوشش‌ها اغلب پایه آلی دارند. تحقیق (Franco *et al,2000: 47-58)*. به بررسی خواص فیزیکی-شیمیایی این پوشش‌های طبیعی می‌پردازد. نتایج این‌گونه تحقیق‌ها، می‌تواند جنبه اقتصادی مهمی در صنعتی شدن طرح مبارزه با بیابان‌زایی باشد چراکه در صورت کارآمد بودن منابع طبیعی، نیاز به سنتز پوشش‌ها کمتر می‌گردد.

امکان بهره‌برداری از فناوری ماسه آب‌گریز در کشاورزی

بیشتر خاک مناطق کویری و بیابانی ایران همانند خاک بسیاری از کشورهای عربی من‌جمله امارات متحده، خاک شور با ٪۸۵ ماسه است که ازنظر مواد آلی بسیار فقیر و در حدود ۰/۱ تا ٪۰/۲ است. همچنین میزان عناصر اصلی نیز در خاک این منطقه بسیار پایین است. نیتروژن بین ۵ppm-۱۰، فسفر

در بازه ۵–۱ppm و پتاسیم در بازه ۱۰۰–۱۴ppm است. ترکیب‌های فرعی مانند کلسیم کربنات نیز غلظت بسیار پایین و در حدود ۲۰ تا ۴۰٪ است. منابع آبیاری کشاورزی نیز در این مناطق محدود به آب‌های زیرزمینی است به‌طوری‌که تنها منابعی با شوری بین ۵۰۰۰–۲۰۰ppm برای آبیاری کشاورزی استفاده می‌شود. نیاز به آب زیرزمینی برای مقاصد آبیاری اخیراً بسیار افزایش‌یافته است به دلیل کمبود بارندگی میانگین که در سال به مقدار ۱۲۰ میلی‌متر می‌رسد، منجر شده است که این کشورها با کاهش شدید سطح منابع آب زیرزمینی و افزایش شدید شوری آب در طی سال‌های خشک‌سالی مواجه شوند (Salem *et al.*, 2013: 591-595).

در کشاورزی، به‌کارگیری آب و مواد مغذی هر دو در به‌دست آوردن بیشترین راندمان در واحد سطح مهم هستند. در یک حرکت بدیع در این تحقیق، از ماسه آب‌گریز به‌منظور به حداقل رساندن نیاز آب در راستای سیاست‌های حفظ منابع آبی در مناطق خشک ایران استفاده شده است. همچنین امکان به‌کارگیری این ماسه بر روی کاشت درختان خرما بررسی شده است.

بررسی قابلیت بهره‌برداری از فناوری ماسه آب‌گریز در مناطق کویری و بیابانی کشور

شرح آزمایش

در این بخش، تأثیر به‌کارگیری این ماسه در رشد درخت خرما، تعیین جذب مواد مغذی و میزان عناصر سنگین جذب‌شده توسط محصول موردبررسی قرار گیرد. همچنین بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک نیز ارزیابی می‌گردد. آزمایش درخت خرما[1] بر روی دانه‌های دوساله انجام می‌شود. ماسه آب‌گریز (جدول ۱) از شرکت نوآوران نمک‌زدایی خاورمیانه[2] در دوبی امارات متحده عربی جمع‌آوری شد.

---

[1] Phoenix dactylifera L.

[2] Desalt Innovation Middle East LLC (DIME)

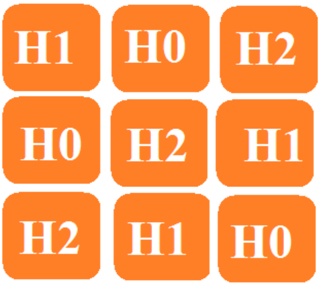
جدول ۱: خواص اولیه ماسه آب‌گریز HS قبل از کاشت

خواص ماسه آب‌گریز	**مقدار**	**خواص ماسه آب‌گریز**	**مقدار**
Zn (ppm)	۸/۲۸	pH	۸/۵
Cd (ppm)	۰/۶۴	EC (μScm^{-1})	۲۷۰
Mo (ppm)	۰/۳۲	P (ppm)	۱۳۷
Cr (ppm)	۳/۰	K (ppm)	۱۶۲۸
Pb (ppm)	۱/۳۸	Fe (ppm)	۶۵۵۲
Se (ppm)	<۰/۰۲	Cu (ppm)	۲/۷۸
Mn (ppm)	۱۵۳/۲	-	-

از دیدگاه جغرافیایی، درختان خرما در کشورهای مختلفی ازجمله آمریکا، صحرای بزرگ آفریقا، شبه‌جزیره عربی، ایران و پاکستان، توزیع شده است. این درختان قادر به تحمل بازه دمایی گسترده‌ای بوده و در تقریباً هر نوع خاکی رشد می‌کنند. این‌گونه، درختی همیشه سبز با برگ‌هایی است که نمونه‌برداری از آن‌ها آسان است و برگ‌هایی سفت، چرمی، باحالت تیغه شمشیری دارد که در طول آن با رگه‌های برجسته موازی تا می‌شود. همین حالت به آن توانایی جمع‌آوری گردوغبار انباشته‌شده در مقادیر زیاد را می‌دهد. درخت خرما، مهم‌ترین و پرطرفدارترین درخت در بیشتر کشورهای خاورمیانه است. اکثر این درختان در خاک‌های ماسه‌ای رشد پیدا می‌کنند و می‌توانند تحت شرایط خاکی و آبی نامطلوب رشد کنند. از ویژگی این نوع خاک می‌توان به وجود مواد آلی کم، نرخ نفوذ بالا، ظرفیت ذخیره آب پایین و ظرفیت نگه‌داری مواد مغذی پایین و حاصلخیزی کم اشاره کرد. کشت درخت خرما با چندین مانع روبه‌رو است. عمدتاً به دلیل رشد آن در شرایط کویری سخت مانند کمبود آب، دمای بالا و عملیات‌ترمیم غیرمنظم. تحت این شرایط، ماسه آب‌گریز می‌تواند عامل مؤثری در بهبود رشد محصولات داشته باشد. (Salem *et al.*, 2013: 591-595).

طراحی آزمایش

در مطالعه حاضر، آزمایش به‌صورت طرح بلوک کاملاً تصادفی و با ۳ تکرار انجام پذیرفت. هر آزمایش به‌گونه‌ای طراحی شد که بتواند اثر سطح ماسه آب‌گریز را بر روی رشد نهال‌های درخت خرما و همچنین خواص خاک بررسی کرد. در سیستم نام‌گذاری H0: میزان ماسه آب‌گریز صفر است، H1: ضخامت ۱۰ سانتی‌متر HS(ماسه آب‌گریز) در هر گلدان، H2: ۲۰ سانتی‌متر HS در هر گلدان. در همه آزمایش‌ها بر اساس نیاز محصول، کود غیر آلی به محصول اضافه شد و میزان آبیاری در همه آن‌ها یکسان بود. شماتیک انواع نمونه‌ها در شکل ۳ آورده شده است.



H2	H0	H1
H1	H2	H0
H0	H1	H2

شکل ۳: طراحی آزمایش درخت خرما

پارامترهای رشد و آنالیز مواد معدنی

در طی فصل رشد، پارامترهای اندازه‌گیری شده عبارت بودند از: ارتفاع گیاه، وزن گیاه در حالت تازه و خشک‌شده، طول و وزن ریشه‌ها. مقادیر فلزات سنگین مانند Cd، Mo، Pb و Se نیز در فصل رویش در گیاه و خاک موردبررسی قرار گرفتند. مواد معدنی اندازه‌گیری شده نیز شامل مقدار کلی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، گوگرد، ماکرو نوترینت‌ها و فلزات سنگین می‌شود.

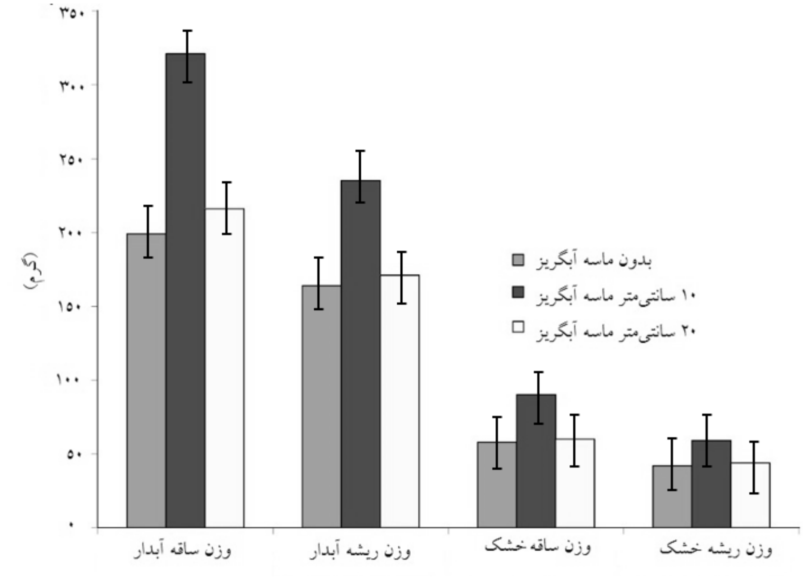
بحث و نتایج

شکل‌های ۴ و ۵، به ترتیب نتایج آزمون‌ها در هر دو حالت H1 و H2 در فصل رشد و در حضور ماسه آب‌گریز را نشان می‌دهد. این ماده در نگه‌داری آب در خاک تأثیر مثبتی دارد. مکانیسم این بهبود نیز کاهش هدر رفت آب از طریق کاهش تبخیر آب است، بنابراین، این ترکیب اثر مثبتی روی رشد و

---

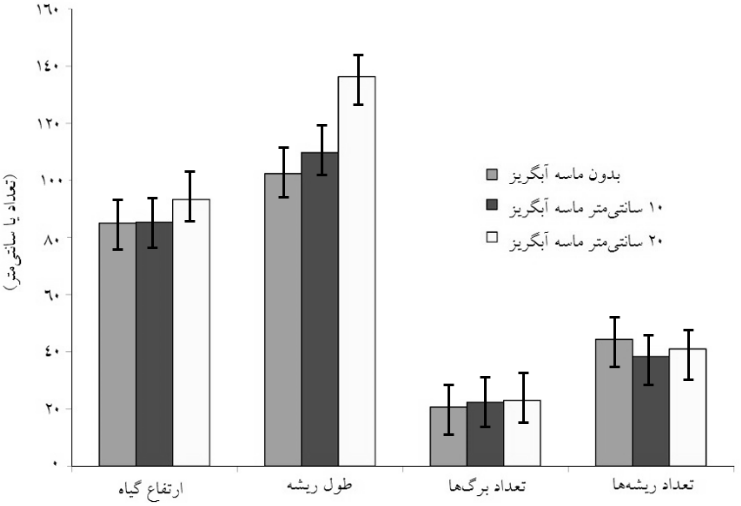
[1] Hydrophobic Sand

بازدهی محصول داشته است. شکل ۴ تأثیر استفاده از ماسه آب‌گریز را بر وزن ساقه و ریشه آب‌دار و خشک نخل‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۴: تأثیر استفاده از ماسه آب‌گریز بر وزن ساقه و ریشه آبدار و خشک نخل خرما

شکل ۵ تأثیر استفاده از ماسه آب‌گریز را بر ارتفاع گیاه، طول ریشه و تعداد برگ‌ها و ریشه‌های نخل خرما نشان می‌دهد.

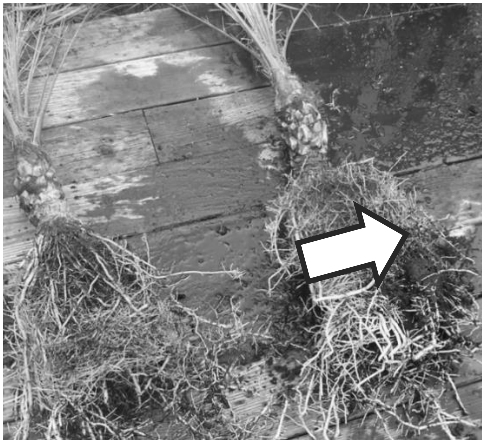


شکل ۵: تأثیر استفاده از ماسه آب‌گریز بر ارتفاع گیاه، طول ریشه، تعداد ریشه‌ها و برگ‌ها

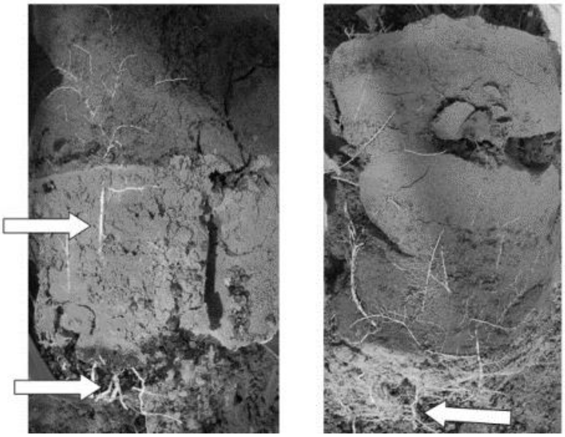
به‌کارگیری HS(ماسه آب‌گریز) به‌طور محسوسی تعداد برگ‌های هر درخت را افزایش داده است. در هر دو آزمایش تعداد برگ‌ها نسبت به حالت معیار بیشتر بود درحالی‌که تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای روی ارتفاع جوانه و تعداد ریشه‌ها مشاهده نشد.

با استفاده از HS، طول ریشه به‌شدت افزایش یافت که در آن طول ریشه نسبت به حالت معیار ۴۰٪ بیشتر بود. به‌طورکلی، ماسه آب‌گریز HS پارامترهای رشد جوانه‌های درخت نخل را بهبود می‌بخشد. (شکل‌های ۸ و ۹).

در اثر کمبود آب، گیاهان پاسخ‌های گوناگونی را در اثر کمبود آب از خود نشان می‌دهند و از دیدگاه‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی، مکانیسم‌های متفاوتی برای تحمل خشکی از خود نشان می‌دهند. تنش خشکی شرایطی است که در آن مقدار از دست دادن آب در حد متوسط است که منجر به بسته شدن روزنه‌ها و محدودیت‌های تبادل گاز می‌شود. از دست رفتن بیشتر آب به‌طور بالقوه می‌تواند به اختلال سوخت‌وساز ساختار سلول و درنهایت به توقف واکنش آنزیمی در حضورکاتالیزر منجر شود. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، مشاهده گردید که استفاده از ماسه آب‌گریز اثر زیادی بر روی مواد مغذی و میزان فلزات سنگین در برگ نخل نداشت (جدول ۲).



شکل ۸-رشد جوانه در اثر استفاده از ماسه آب‌گریز



شکل ۹-ریشه نخل خرما به لایه ماسه آب‌گریز نفوذ می‌کند

جدول ۲: اثر ماسه آب‌گریز (HS) بر روی غلظت عناصر مغذی و فلزات سنگین در برگ‌های درخت خرما

تیمار	P	K	Fe	Cu	Mn	Zn	Cd	Mo	Cr	Pb	Se
	Ppm										
بدون ماسه آب‌گریز	۲۴۳۴	۱۸۰۹۴	۵۴۶۳	۳۱/۴	۱۱۹/۱۵	۸/۸	۰/۰۹۹۷	۱/۱۸	۴/۲۳	۰/۲۶	<۰/۰۲
۱۰ سانتی‌متر ماسه آب‌گریز	۱۸۸۹	۲۰۱۱۲	۲۳۴	۳۱/۲	۱۰۱/۶	۸/۴۷	۰/۰۳۱	۱۱/۳۲	۸/۳۲	۰/۱۸	<۰/۰۲
۲۰ سانتی‌متر ماسه آب‌گریز	۲۶۳۳	۱۹۰۲۳	۲۲۳	۹/۹	۵۸/۳	۸/۳۲	۰/۰۷۰	۰/۹۲	۲/۸۸	۰/۱۲	<۰/۰۲

جدول ۳ اثر ماسه آب‌گریز (HS) روی مواد مغذی و غلظت فلزات سنگین در ریشه نخل خرما را نشان می‌دهد. استفاده از ماسه آب‌گریز سبب افزایش غلظت این مواد مغذی در ریشه نخل خرما شده

است. با توجه به نتایج مربوط به میزان فلزات سنگین در برگ و ریشه نخل خرما، می‌توان فهمید که میزان فلزات سنگین (کادمیم، مولیبدن، سرب و سلنیم) در محدوده توصیه‌شده قرار داشتند.

تیمار	**P**	**K**	**Fe**	**Cu**	**Mn**	**Zn**	**Cd**	**Mo**	**Cr**	**Pb**	**Se**
	Ppm										
بدون ماسه آب‌گریز	۸۰۰	۱۱۱۴۰	۶۸۹	۱۴/۶	۶۳/۸	۶/۵۵	۰/۱۲	۲/۰۵	۸/۸۷	۰/۳۳	<۰/۰۱
۱۰ سانتی‌متر ماسه آب‌گریز	۸۲۰	۱۲۲۸۷	۱۶۰۶	۲۸/۳	۷۸/۰	۸/۴۵	۰/۲۲	۲/۴۰	۲۱/۳۳	۰/۵۰	<۰/۰۱
۲۰ سانتی‌متر ماسه آب‌گریز	۱۱۱۱	۱۲۲۷۰	۷۸۷	۱۶/۴۱	۴۷/۲	۸/۲۵	۰/۱۱	۱/۸۹	۱۰/۱۱	۰/۴۴	<۰/۰۲

جدول ۳: اثر ماسه آب‌گریز (HS) بر روی غلظت عناصر مغذی و فلزات سنگین در ریشه‌های نخل خرما

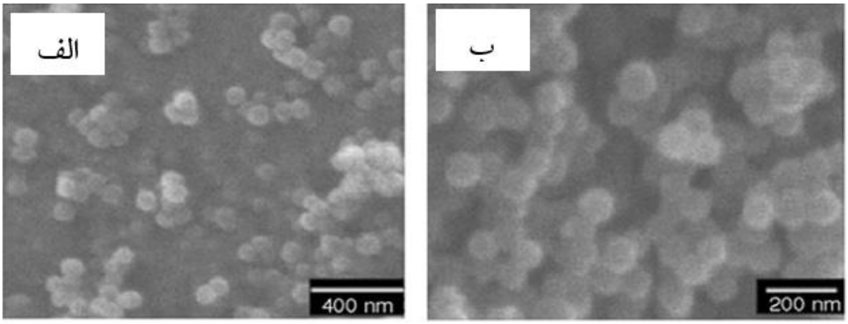
جداول ۴ میزان مواد مغذی و فلزات سنگین در خاک نخل خرما در فصل رشد را توضیح می‌دهد. ماسه آب‌گریز هیچ تأثیر قابل‌توجهی در غلظت مواد معدنی در خاک نخل خرما نداشته است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده فلزات سنگین در خاک (کادمیم، مولیبدن، سرب و سلنیم) در سطوح توصیه‌شده بودند.

جدول ۴: اثر ماسه آب‌گریز (HS) بر روی غلظت عناصر مغذی و فلزات سنگین در خاک نخل خرما

تیمار	P	K	Fe	Cu	Mn	Zn	Cd	Mo	Cr	Pb	Se
	ppm										
بدون ماسه آب‌گریز	۱۱۱	۱۰۳۵	۱۵۷۸۸	۵/۲	۲۱۵	۱۲/۸	۱/۴۷	۰/۶۲	۱۲۵	۲/۳۹	<۰/۰۱
۱۰ سانتی‌متر ماسه آب‌گریز	۱۳۰	۱۱۸۰	۱۶۳۰۱	۴/۴	۲۴۰	۱۲/۵	۱/۳۸	۰/۵۰	۱۵۹	۲/۱۴	<۰/۰۱
۲۰ سانتی‌متر ماسه آب‌گریز	۱۴۴	۱۰۱۱	۱۶۰۳۲	۶/۰	۲۱۵	۱۳/۵	۱/۵۰	۰/۴۰	۱۳۳	۲/۸۹	<۰/۰۱

ریزساختار نانو ماسه آب‌گریز

به‌منظور بررسی ساختاری در نمونه تهیه‌شده جهت انجام آزمایش‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی در دو حالت سیلیس اصلاح‌نشده و اصلاح‌شده توسط پوشش آب‌گریز تری متیل سیلان استفاده شد. شکل ۱۰ ساختار در دو حالت مذکور را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مربوط به (الف) پودر نانو سیلیس اولیه بدون اصلاح سطحی و (ب) پودر نانو سیلیس اصلاح‌شده با پوشش TMS

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک که منابع آبیاری کمیاب هستند، به‌عنوان یک اولویت مطرح است. در این مقاله یک رویکرد تعاملی با استفاده ماسه آب‌گریز و خاک شیرین ارائه داده شد و در شرایط آب‌وهوای خشک مورد آزمایش قرار گرفت. امروزه بهبود در طراحی سیستم‌های آبیاری و محاسبه نیاز آبی گیاه منجر به کاهش قابل‌توجهی در ضرر و زیان‌های مربوط به هدر رفت آب در زهکشی و رواناب‌ها شده است. ازاین‌روی، استفاده از ماسه آب‌گریز امیدوارکننده به نظر می‌رسد؛ چراکه به ریشه گیاه اجازه می‌دهد به منابع آب ذخیره‌شده دسترسی داشته باشند و همچنان از درون این لایه عبور کنند. این مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از این فناوری می‌تواند عامل مهمی در بهبود کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان باشد. الگوبرداری صحیح از این پژوهش‌ها در کشور ایران نیز می‌تواند به نتایج قابل‌قبول مشابهی منجر شود. مناطق جنوبی ایران مستعد کاشت محصول نخل است و استفاده از این نوع ماسه، می‌تواند اثرات شگرفی در توسعه پایدار منطقه ازجمله صرفه‌جویی در مصرف منابع آبی، حفظ محیط‌زیست، کاهش روند بیابان‌زایی در منطقه، رونق کشاورزی و ایجاد اشتغال شود.

منابع فارسی

۱. عبدی نژاد، غلام؛ داود ناظمی، عباس، (۱۳۹۳)، بیابان و مقابله با بیابان‌زایی در ایران، نشر پونه.

۲. مختاری، داریوش، (۱۳۹۳)، مدیریت مشارکتی منابع آب کشاورزی در ایران، درس آموزه‌هایی از تجربه‌ها، انتشارات ایلاف.

منابع لاتین

1. Aegerter, M. A., Almeida, R., Soutar, A., Tadanaga, K., Yang, H., & Watanabe, T. (2008). Coatings made by sol–gel and chemical nanotechnology. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, *47*(2), 203-236.
2. Al-Azawi, S. (2015). Hydrophobic sand to combat water scarcity–Properties and possible chemical risk.
3. Andrén-Sandberg, F. (2011). Energy Efficiency-Can Nanotechnology Change the Equation?. *ISRN LUTMDN/TMHP--11/5242--SE.*

٤. Franco, C. M. M., Clarke, P. J., Tate, M. E., &Oades, J. M. (2000). Hydrophobic properties and chemical characterisation of natural water repellent materials in Australian sands. *Journal of Hydrology*, *231*, 47-58.

٥. Hirasaki, G. J. (1991). Wettability: fundamentals and surface forces. *SPE Formation Evaluation*, *6*(02), 217-226.

٦. Kassas, M. (1995). Desertification: a general review. *Journal of Arid Environments*, *30*(2), 115-128.

٧. Klein, R. J., Biesheuvel, P. M., Yu, B. C., Meinhart, C. D., & Lange, F. F. (2003). Producing Super-Hydrophobic Surfaces with Nano-Silica Spheres: Dedicated to Professor Dr. Dr. hc Manfred Rühle on the Occasion of His 65th Birthday. *ZeitschriftfürMetallkunde*, *94*(4), 377-380.

٨. Moser, S. 2013. Conditions and visions for change and sense-making in a rapidly changing world. *World Social Science Report*, 281.

٩. Mura, S., Seddaiu, G., Bacchini, F., Roggero, P. P., &Greppi, G. F. (2013). Advances of nanotechnology in agro-environmental studies. *Italian Journal of Agronomy*, *8*(3), 127-140.

١٠. Poole Jr, C. P., & Owens, F. J. (2003). *Introduction to nanotechnology*. John Wiley & Sons.

١١. Rola-Rubzen, M. F., Altangerel, D., &Gabunada, F. M. (2009). Profile of businesses in desert Australia. *Desert Knowledge Cooperative Research Centre: Alice Springs*.

١٢. Salem, M. A., Al-Zayadneh, W., &Cheruth, A. J. (2010). Water conservation and management with hydrophobic encapsulation of sand. *Water resources management*, *24*(10), 2237-2246.

١٣. Salem, M. A., Al-Zayadneh, W., Schulze, H. F., &Cheruth, A. J. (2013). Effect of nano-hydrophobic sand layer in datepalm (Phoenix dactylifera L.) cultivation in aridlands. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, *11*(2), 591-595.

١٤. Urbanek, E., Hallett, P., Feeney, D., & Horn, R. (2007). Water repellency and distribution of hydrophilic and hydrophobic compounds in soil aggregates from different tillage systems. *Geoderma*, *140*(1), 147-155.

١٥. Xia, D., &Brueck, S. R. J. (2008). Strongly anisotropic wetting on one-dimensional nanopatterned surfaces. *Nano letters*, *8*(9), 2819-2824.

Zettlemoyer, A. C., &Fowkes, F. M. (1969). *Hydrophobic Surfaces:*

١٦. *Kendall Award Symposium Honoring Albert C. Zettlemoyer, at the 155th Meeting of the American Chemical Society, San Francisco,*