

کاربرد نانوماسه آبگریز به عنوان راهبردی در راستای کاهش هدررفت منابع آبی در مناطق کویری و بیابانی ایران

داود پیروهدایتی^۱ و جابر رحیمی^۲

چکیده

با توجه به قرارگیری ایران در کمربند خشک جهانی و مواجه بودن آن با بحران بیابان‌زایی، طی سالیان اخیر راهبردهایی در حوزه‌های مختلف به منظور مواجهه با این پدیده به کار گرفته شده است. در پژوهش حاضر ضمن معرفی دانش فن فناوری "ماسه آبگریز" به عنوان یک فرآورده مهم نانوفناوری در عرصه بیابان‌زدایی، تجربیات جهانی در این زمینه و همچنین قابلیت بهره‌برداری از آن در مناطق کویری و بیابانی کشور مورد بررسی قرار می‌گیرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که کاربست یک پانل از این نوع ماسه در زیر لایه ای از ماسه کویر، می‌تواند آب حاصل از باران یا آبیاری را در خود نگه داشته و بدین ترتیب آب مورد نیاز ریشه گیاهان و محصولات را به طوری 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 نانوماسه بر روی پارامترهای رشد پرداخته شد. در گام اول بررسی‌ها نشان داد که در شرایط استفاده از نانوماسه آبگریز، طول ریشه نسبت به حالت معیار، ۴۰٪ افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، به کارگیری این نوع نانوماسه 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 توصیه شده قرار

^۱ - کارشناس ارشد مهندسی مواد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

^۲ دانش آموخته دکترای هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی

دانشگاه تهران - کرج

داشتند. همچنین بررسی مطالعات مزرعه‌ای صورت گرفته نشان می‌دهد، از آنجایی که

مناطق جنوبی ایران مستعد کاشت نخل است، استفاده از این نوع ماسه، می‌تواند اثرات شگرفی در توسعه پایدار منطقه از جمله صرفه‌جویی در مصرف منابع آبی، حفظ محیط زیست، کاهش روند بیابان‌زایی در منطقه، رونق کشاورزی و ایجاد اشتغال ایجاد کند.

واژگان کلیدی: ماسه آبگریز، نانوفناوری، بیابان‌زدایی

سرزمین پهناور ایران به رغم تنوع قابل توجه 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 مورد پژوهش 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، نیمه خشک تا خشک نیمه مرطوب بر اثر 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 به منظور احیای مناطق بیابانی از اهمیت بالایی برخوردار است (عبدی نژاد و ناظمی، ۱۳۹۳). از جمله راهکارهای نوین در این زمینه، به‌کارگیری علم نسبتاً نوپای نانوفناوری است. بر اساس تعریف سازمان ملی نانو فناوری آمریکا، نانوفناوری درک و کنترل ماده در ابعادی بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است؛ ابعادی که پدیده‌های منحصربه‌فردی منجر به کاربردهای بدیع می‌گردد (Poole & Owens, 2003). در ابعاد نانو، مواد ممکن است رفتار متفاوت و حتی غیر منتظره 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 نانوفناوری در بهبود کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک از طریق کاهش تعداد دفعات آبیاری است. در این زمینه، نانوماسه‌های 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 به ویژه در خصوص محصول خرما پردازد.

پایه‌های علمی تکنولوژی ماسه آبگریز

یک کاربرد اساسی نانوفناوری که می‌تواند تغییری انقلابی در صنایع بوجود آورد، پوشش‌دهی سطحی بر روی مواد با خواص معمولی در جهت بهبود خواص است. برخلاف حجم ماده، که تعیین کننده 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 مهمترین 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 آب تر نمی‌شوند و هیچ‌گونه اتصالی با سطح آب برقرار نمی‌کنند. برگ گیاه نیلوفر آبی به طور طبیعی از این خاصیت برخوردار است و از همین رو به این اثر، اثر Lotus نیز گفته می‌شود (Aegerter et al., 2008: 203-236). 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. یک لایه از ماسه آبگریز در زیر خاک باعث می‌شود آب از این ماسه عبور نکند و در عین حال، اجازه ورود هوا وجود داشته باشد (Salem et al., 2010: 2237-2246; Mura et al., 2013: 127-140).

ماده اولیه تولید ماسه آبگریز، ماسه بادی معمولی است که با ماده‌های ارگانیک، پوشش داده می‌شود. زمانی که این افزودنی به ماسه افزوده شود، سطح ماسه آبگریز می‌گردد. این عمل سبب ایجاد یک عمل موینگی می‌شود و باعث می‌گردد که علاوه بر مقاومت نسبت به عبور آب، ماسه نسبت به نمک، به ویژه 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 نمی‌-

رود و بالای لایه ماسه آبگریز حبس می‌گردد و سبب می‌شود که ریشه‌ها به لایه آب جمع شده دسترسی پیدا کنند. (Urbanek *et al.*, 2007: 147-155). همانطور که گفته شد، قابلیت بسیار ارزشمند دیگر این ماسه‌ها این است که مانع صعود نمک به بالا، جایی که ریشه حضور دارد، می‌شوند. مکانیزم 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 کویررا شن‌های شوره‌زار تشکیل می‌دهند که از ۸۵٪ ماسه تشکیل شده‌اند. این ماسه از نظر وجود مواد آلی فقیر است و میزان این دسته از مواد بین ۰٫۱ تا ۰٫۲٪ است. همچنین خاک کویری از نظر عناصر اصلی مانند نیتروژن (با بازه ۵-۱۰ ppm)، فسفر (با بازه ۱-۵ ppm) و پتاسیم (با بازه ppm ۱۴-۱۰۰) بسیار فقیر است. ترکیبات فرعی مانند کلسیم کربنات نیز غلظت بسیار پایینی در حدود ۲۰-۴۰٪ 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 ۵۰۰ ppm 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 پیدا کرده و همچنین میزان شوری آنها نیز به ویژه 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. به طور مشخص‌تر، این ماسه در معرض بخار یک ترکیب سیلیسیم دار به نام "تری‌متیل هیدروکسیلان" قرار می‌گیرد. زمانی که دانه‌های ماسه ساحلی با بخار تری‌متیل هیدروکسیلان تماس پیدا می‌-

¹Trimethylsilanol (TMS) ((CH₃)₃SiOH)

کنند، 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 گزارش شده‌اند و خاصیت آب‌گریزی این ماسه‌ها تا ۳۰ سال تضمین می‌گردد. نانو سیلیس مورد استفاده شامل مجموعه‌ای از ذرات کوچک SiO_2 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 مورد استفاده بر هم کنش 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

نکته مهم در طراحی سطوح آب‌گریز این است که نباید به قطرات آب اجازه داده شود تا با سطح تماس سرتاسری برقرار کند چرا که در این صورت به دلیل وجود نیروهای وان در والس، به سطح چسبیده و اصطلاحاً سطح را تر می‌کند. رسیدن به این مهم، در گرو طراحی سطحی ماده در مقیاس نانو است (Al-Azawi, 2015). به طور 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 به اندازه کافی کوچک باشند، تنش سطحی

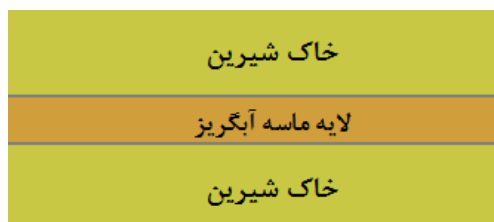
آن قدر بالا خواهد بود که قطرات آب نمی‌توانند وارد این منافذ شوند و به سمت قله‌های رانده می‌شوند. بدین ترتیب، در واقع قطرات آب با سطح برخوردی ندارند و روی بالشی از هوا حرکت می‌کنند و تماس آب با سطح به میزان چشمگیری کاهش پیدا می‌کند. اساساً میزان آبگریز بودن یا ترشوندگی، به پیکربندی سطحی و همچنین خواص 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 داده شده و تحت عملیات شیمیایی خاصی در معرض بخار ترکیبی از سیلیس به نام $(\text{CH}_3)\text{SiOH}$ تری‌متیل هیدروکسیلان 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. پس از این 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 شناخته شده است و اثر آبگریزی آن تا ۳۰ سال ضمانت خواهد داشت (Andrén-Sandberg, 2011).

ماسه‌های آبگریز را می‌توان در کشاورزی استفاده کرد. یک لایه 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 مورد نیاز برای تنفس ریشه‌ها را فراهم می‌کند. به محض اضافه شدن افزودنی به ماسه، پدیده موئینگی بوجود می‌آید و سبب ایجاد پوشش آبگریز اطراف ماسه می‌شود و آن را نسبت به نمک، به طور مشخص، سدیم کلرید، مقاوم می‌سازد.

به منظور به حداقل رساندن هدر رفت آب، مزارع کشاورزی می‌توانند از ماسه آبگریز، به عنوان لایه‌ای زیر خاک شیرین استفاده کنند. به این طریق، جریان آب به سمت منابع زیرزمینی گرفته می‌شود و به جای 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، به ویژه در آفریقا و خاومیانه چالشی بزرگ است. بر اساس گزارش سازمان ملل متحد، سالانه بیش از ۱,۶ میلیون نفر بر اثر نبود دسترسی به آب پاک جان خود را از دست می دهند. بر اساس گزارش سازمان منابع جهانی WRI، منتشر شده در سال ۲۰۱۳ ایران از نظر کمبود آب در منطقه هشدار قرار داشته است. در کمتر از یک دهه قبل، مفهوم نوین "ماسه آبگریز" در یک آزمایشگاه نانوفناوری تحت سرپرستی پژوهشگر آلمانی Schulze توسعه یافت و به تدریج کشورهای زیادی از جمله 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 تکنولوژی از کشور آلمان احداث شده است (-Salem et al., 2013: 591). این ماسه در این کارخانه با ظرفیت ۳۰۰۰ تن در روز، به صورت لایه‌های ساندویچی با پوشش نازک پلی اتیلن زیست تجزیه‌پذیر و در طول‌هایی به اندازه ۵۰ متر تولید می شوند. محصولات تولید شده به صورت بسته بندی ماسه های آبگریز زیر ماسه های صحرا خوابانده می شوند. جنس بسته بندی‌ها از پلاستیک تجزیه‌پذیر تهیه می‌شوند (Rola-Rubzenet al., 2009). به‌منظور تبیین

¹ Hydrophobic Sand

اهمیت این محصول می‌توان به عنوان مقایسه، شرایط طبیعی با ماسه معمولی را در نظر گرفت که در آن، آب ناشی از باران و یا آبیاری به سرعت 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 به یک بار در روز کاهش داد. بنابراین، این تحقیق می‌تواند به عنوان مقدمه‌ای برای طرح ساخت کارخانه جهت تولید پنل‌های ماسه آبریز مطرح باشد. در صورت عملیاتی شدن، این اولین تأثیر نانوفناوری در حوزه توسعه پایدار در کویر خواهد بود چرا که استفاده از ماسه آبریز می‌تواند به میزان ۷۵٪ در مصرف آب برای آبیاری محصولات کشاورزی صرفه جویی 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 آبریز دارای سطوح با ویژگی‌های منحصربه‌فردی هستند. این ماسه‌ها کاربردهای گوناگونی دارند که برخی از آنها به صورت بالقوه و در مرحله تحقیقاتی هستند و برخی دیگر به طور موفقیت آمیز، صنعتی شده اند. *Klein et al.* (2003: 377-380) در دانشگاه کالیفرنیا در تحقیقی بر روی تولید سطوح فوق آبریز 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 ترشوندگی سطح پرداخته اند. نوآوری ویژه در این پژوهش، اضافه کردن محلول فلئوروسیلین در پوشش بود که زاویه ترشوندگی را به حداقل میزان رساند و در نتیجه خواص فوق آبریز بر بستر آلومینا مشاهده گردید. در پژوهشی دیگر (xia&Brueck, 2008: ۲۸۱۹-۲۸۲۴). مطالعه نانوساختاری بیشتری بر روی خواص سطحی و مکانیزم‌های مؤثر در ایجاد سطح آبریز انجام داده اند که نتایج کاربردی حائز اهمیتی را در بر دارد. (*Urbanek et al, 2007: 147-155*). نیز به بررسی امکان آبریز کردن سیستم‌های خاک مختلف با استفاده از افزودن گروه‌های ترکیبی آبدوست و آبریز پرداختند. این تحقیق از آن نظر حائز اهمیت است که می‌تواند مفهوم استفاده از ماسه‌های آبریز را به مناطق نیمه خشک 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 به صورت طبیعی یافت می‌شوند. بنابراین، این پوشش‌ها اغلب پایه آلی دارند. تحقیق (Franco et al, 2000) (58-47) به بررسی خواص فیزیکی-شیمیایی این پوشش‌های طبیعی می‌پردازد. نتایج این گونه تحقیق‌ها، می‌تواند جنبه اقتصادی مهمی در صنعتی شدن طرح مبارزه با بیابان‌زایی باشد چرا که 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 از نظر مواد آلی بسیار فقیر و در حدود ۰/۱ تا ۰/۲٪ می‌باشد. همچنین میزان عناصر اصلی نیز در خاک این منطقه بسیار پایین است. نیتروژن بین ۵-۱۰ ppm، فسفر در بازه ۱-۵ ppm و پتاسیم در بازه ۱۴-۱۰۰ ppm 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 به طوری که تنها منابعی با شوری بین ۲۰۰-۵۰۰ ppm برای آبیاری کشاورزی استفاده می‌شود. نیاز به آب زیرزمینی برای مقاصد آبیاری اخیراً بسیار افزایش یافته 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، به کارگیری 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 به منظور به حداقل رساندن نیاز آب در راستای سیاست‌های حفظ

منابع آبی در مناطق خشک ایران استفاده شده است. همچنین امکان به کارگیری این ماسه بر روی کاشت درختان خرما بررسی شده است.

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

شرح آزمایش

در این بخش، تأثیر به کارگیری این ماسه در رشد درخت خرما، تعیین جذب مواد مغذی و میزان عناصر سنگین جذبشده توسط محصول مورد بررسی قرار گیرد. همچنین بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک نیز ارزیابی می گردد. آزمایش درخت خرما بر روی دانه‌های دوساله انجام می شود. ماسه آبگریز (جدول ۱) از شرکت نوآوران نمک‌زدایی خاور میانه در دبی امارات متحده عربی جمع آوری شد.

جدول ۱: خواص اولیه ماسه آبگریز HS قبل از کاشت

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

¹Phoenix dactylifera L.

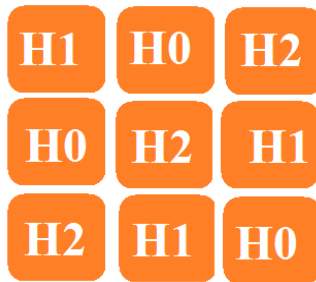
²Desalt Innovation Middle East LLC (DIME)

از دیدگاه جغرافیایی، درختان خرما در کشورهای مختلفی از جمله آمریکا، صحرای بزرگ آفریقا، شبه جزیره عربی، ایران و پاکستان، توزیع شده است. این درختان قادر به تحمل بازه دمایی گسترده‌ای بوده و در تقریباً هر نوع خاکی رشد می‌کنند. این گونه، درختی همیشه سبز با برگ‌هایی است که نمونه برداری از آنها آسان است و برگ‌هایی سفت، چرمی، با حالت تیغه شمشیری دارد که در طول آن با رگه‌های برجسته موازی تا می‌شود. همین حالت به آن توانایی جمع آوری گرد و غبار انباشته شده در مقادیر زیاد را می‌دهد. درخت خرما، مهم‌ترین و پر طرفدارترین 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 عملیات ترمیم غیر منظم. تحت این شرایط، ماسه آبریز می‌تواند عامل موثری در بهبود رشد محصولات داشته باشد. (Salem *et al.*, 2013: 591-595).

طراحی آزمایش

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

¹Hydrophobic Sand



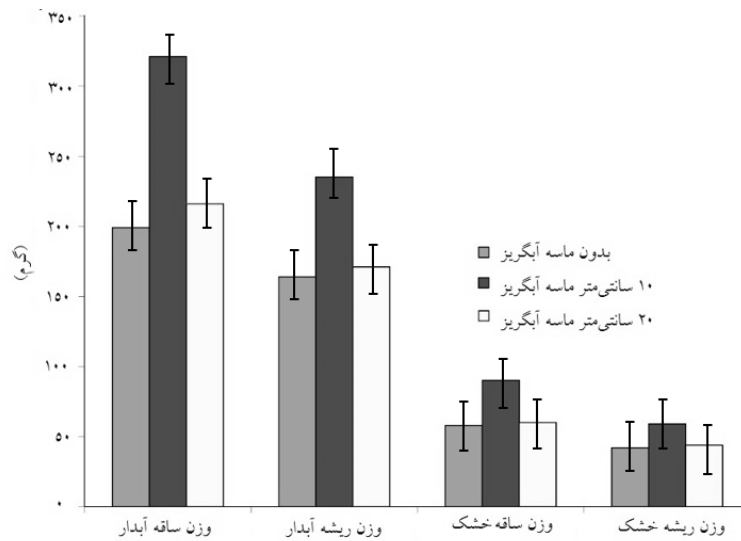
شکل ۳: طراحی آزمایش درخت خرما

پارامترهای رشد و آنالیز مواد معدنی

در طی فصل رشد، پارامترهای اندازه گیری شده عبارت بودند از: ارتفاع گیاه، وزن گیاه در حالت تازه و خشک شده، طول و وزن ریشه‌ها. مقادیر فلزات سنگین مانند Cd، Mo، Pb و Se نیز در فصل رویش در گیاه و خاک مورد بررسی قرار گرفتند. مواد معدنی اندازه گیری شده نیز شامل مقدار کلی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، گوگرد، ماکرونوترینت ها و فلزات سنگین می‌شود.

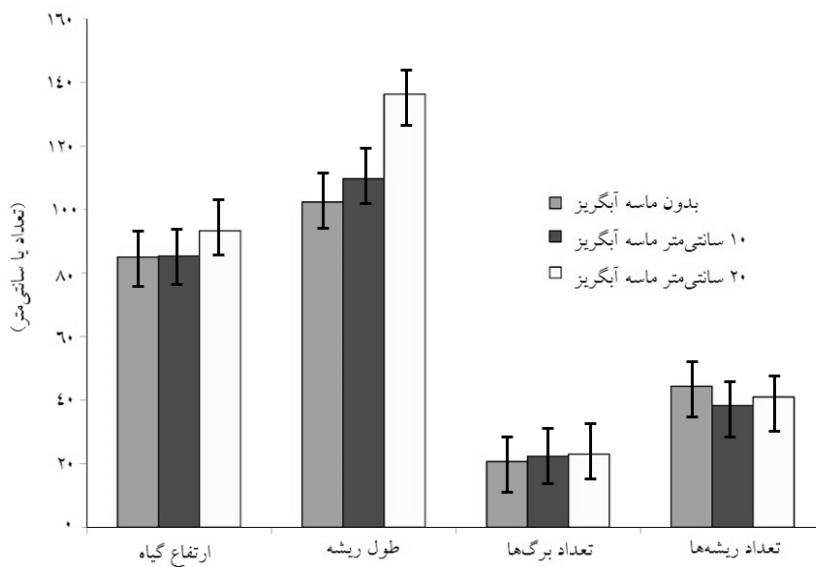
بحث و نتایج

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 نگه داری آب در خاک تأثیر مثبتی دارد. مکانیزم این بهبود نیز کاهش هدر رفت آب از طریق کاهش تبخیر آب است، بنابراین، این ترکیب اثر مثبتی روی رشد و بازدهی محصول داشته است. شکل ۴ تأثیر استفاده از ماسه آبگریز را بر وزن ساقه و ریشه‌ی آبدار و خشک نخل‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۴: تأثیر استفاده از ماسه آب‌گریز بر وزن ساقه و ریشه‌ی 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

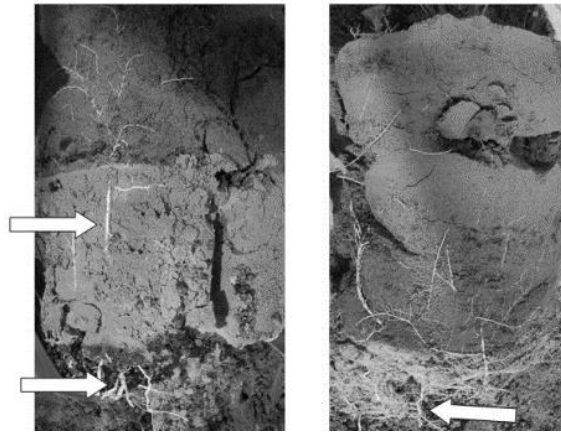
به کارگیری HS (ماسه آب‌گریز) به طور محسوسی تعداد برگ‌های هر درخت را افزایش داده است. در هر دو آزمایش تعداد برگ‌ها نسبت به حالت معیار بیشتر بود در حالی که تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی ارتفاع جوانه و تعداد ریشه‌ها مشاهده نشد.

با استفاده از HS، طول ریشه به شدت افزایش یافت که در آن طول ریشه نسبت به حالت معیار ۴۰٪ بیشتر بود. به طور کلی، 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، مکانیزم‌های 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 به طور بالقوه می‌تواند به اختلال سوخت و ساز ساختار سلول و در نهایت به توقف واکنش آنزیمی در حضور کاتالیزر منجر شود. با توجه به بررسی‌های انجام شده، 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 می کند

جدول ۲: اثر ماسه آبگریز (HS) بر روی غلظت عناصر مغذی و فلزات

سنگین در برگ های درخت خرما

Se	P b	C r	Mo	Cd	Z n	Mn	C u	Fe	K	P	تیما ر
Ppm											

بدون	۲۴	۱۸۰	۵۴	۴	۱۵	۸	۰۹۹	۱۸	۲۳	۲۶	۰۲
ماسه	۳۴	۹۴	۶۳	۳۱	۱۱۹	۸	۰/۷	۱	۴/	۰	<۰
آبگریز											
۱۰ سانتی	۱۸	۲۰۱	۲۳	۲	۶	۴۷	۰/۳۱	۲۲	۲۲	۱۸	۰۲
متر	۸۹	۱۲	۴	۳۱	۱۰۱	۸/	۰	۱۱	۸/	۰/	<۰
ماسه											
آبگریز											
۲۰ سانتی	۲۶	۱۹۰	۲۲	۹	۵۸/۳	۳۲	۰/۷۰	۹۲	۸۸	۱۲	۰۲
متر	۳۳	۲۳	۳	۹	۸/	۸/	۰	۰	۲/	۰/	<۰
ماسه											
آبگریز											

جدول ۳ اثر ماسه آبگریز (HS) روی مواد مغذی و غلظت فلزات سنگین در ریشه نخل خرما را نشان می دهد. 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، می توان فهمید که میزان فلزات سنگین (کادمیم، مولیبدن، سرب و سلنیم) در محدوده توصیه شده قرار داشتند.

جدول ۳: اثر ماسه آبگریز (HS) بر روی غلظت عناصر مغذی و فلزات

سنگین در ریشه های نخل خرما

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

جداول ۴ میزان مواد مغذی و فلزات سنگین در خاک نخل خرما در فصل رشد را توضیح می دهد. ماسه آبگریز هیچ تأثیر قابل توجهی در غلظت مواد معدنی در خاک نخل خرما نداشته است. با توجه به نتایج بدست آمده فلزات سنگین در خاک (کادمیم، مولیبدن، سرب و سلنیم) در سطوح توصیه شده بودند.

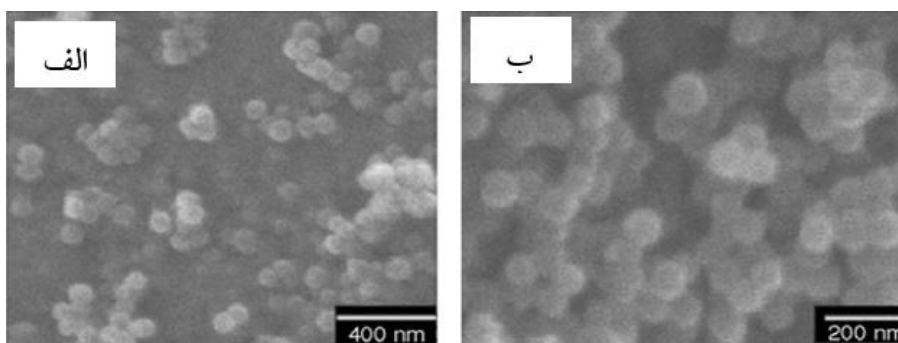
جدول ۴: اثر ماسه آبگریز (HS) بر روی غلظت عناصر مغذی و فلزات سنگین در خاک نخل خرما

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

ریزساختار نانوماسه آبگریز

به منظور بررسی ساختاری در نمونه تهیه شده جهت انجام آزمایش ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی در دو حالت سیلیس اصلاح نشده و اصلاح شده

توسط پوشش آبگریز تری متیل سیلانیاستفاده شد. شکل ۱۰ ساختار در دو حالت مذکور را نشان می دهد.



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

TMS

نتیجه گیری و پیشنهادها

مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک که منابع آبیاری کمیاب هستند، به عنوان یک اولویت مطرح است. در این مقاله یک رویکرد تعاملی با استفاده ماسه آبگریز و خاک شیرین ارائه داده شد و در شرایط آب و هوای خشک مورد آزمایش قرار گرفت. امروزه بهبود در طراحی سیستم‌های آبیاری و محاسبه نیاز آبی گیاه منجر به کاهش قابل توجهی در ضرر و زیان‌های مربوط به هدر رفت آب در زهکشی و رواناب‌ها شده است. از این روی، استفاده از ماسه آبگریز امیدوارکننده به نظر می رسد؛ چرا که به ریشه گیاه اجازه می‌دهد به منابع آب ذخیره شده 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 قابل قبول مشابهی منجر شود. مناطق جنوبی ایران مستعد کاشت محصول نخل است و استفاده از این نوع ماسه، می‌تواند اثرات شگرفی در توسعه پایدار منطقه از جمله صرفه جویی در مصرف منابع آبی، حفظ محیط زیست، کاهش روند بیابان زایی در منطقه، رونق کشاورزی و ایجاد اشتغال شود.

منابع فارسی

۱. عبدی نژاد، غلام؛ داود ناظمی، عباس، (۱۳۹۳)، بیابان و مقابله با بیابان زایی در ایران، نشر پونه.
۲. مختاری، داریوش، (۱۳۹۳)، مدیریت مشارکتی منابع آب کشاورزی در ایران، درس آموزه هایی از تجربه ها، 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*.
4. 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.
5. Hirasaki, G. J. (1991). Wettability: fundamentals and surface forces. *SPE Formation Evaluation*, 6(02), 217-226.
6. Kassas, M. (1995). Desertification: a general review. *Journal of Arid Environments*, 30(2), 115-128.
7. 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. *Zeitschrift für Metallkunde*, 94(4), 377-380.
8. Moser, S. 2013. Conditions and visions for change and sense-making in a rapidly changing world. *World Social Science Report*, 281.
 9. 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.
 10. Poole Jr, C. P., & Owens, F. J. (2003). *Introduction to nanotechnology*. John Wiley & Sons.
 11. Rola-Rubzen, M. F., Altangerel, D., & Gabunada, F. M. (2009). Profile of businesses in desert Australia. *Desert Knowledge Cooperative Research Centre: Alice Springs*.
 12. 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.
 13. Salem, M. A., Al-Zayadneh, W., Schulze, H. F., & Cheruth, A. J. (2013). Effect of nano-hydrophobic sand layer in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivation in aridlands. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 11(2), 591-595.
 14. 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.
 15. Xia, D., & Brueck, S. R. J. (2008). Strongly anisotropic wetting on one-dimensional nanopatterned surfaces. *Nano letters*, 8(9), 2819-2824.

16. Zettlemoyer, A. C., & Fowkes, F. M. (1969). *Hydrophobic Surfaces: Kendall Award Symposium Honoring Albert C. Zettlemoyer, at the 155th Meeting of the American Chemical Society, San Francisco, Calif., April 1 and 2, 1968*. Academic Press.