بسم الله الرحمن الرحیم

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور

طراحی و ارزیابی بادشکن ترکیبی
با استفاده از گیاه کوشیا در مناطق خشک و نیمه‌خشک

نگارش:

شیلا حجه فروش‌نیا، محمد خسروشاهی و مسعود برهانی

۱۴۰۴

ISBN : 978-964-473-612-4

عنوان طرح منتج به دستورالعمل	شماره مصوب
استفاده از گونه جارو (*Kochia scoparia*) جهت احداث بادشکن‌های کوتاه در اراضی بیابانی واقع در کانون بحران سگزی استان اصفهان	۹۹۰۲۸۱-۰۰۶-۰۹-۰۹-۲

عنوان: طراحی و ارزیابی بادشکن ترکیبی با استفاده از گیاه کوشیا در مناطق خشک و نیمه‌خشک

نگارش:

شیلا حجه فروش‌نیا – استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

محمد خسروشاهی- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

مسعود برهانی- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

مدیر داخلی: فاطمه عباسپور

ویراستار ادبی: اصغر احمدی

صفحه‌آرا: مریم نوبخت

تهیه شده در: مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، اداره ترویج و انتقال یافته‌های تحقیقاتی/ مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان.

نشانی: بزرگراه تهران-کرج، خروجی پیکانشهر، شهرک سرو آزاد، خیابان شهید گودرزی، بلوار باغ گیاه‌شناسی ملی ایران، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور.

صندوق پستی: ۱۱۶-۱۳۱۸۵ **تلفن:** ۵-۴۴۷۸۷۲۸۲-۰۲۱ **وب‌سایت:** www.rifr-ac.ir

شمارگان: الکترونیکی

نوبت و سال انتشار: اول - ۱۴۰۴

این دستورالعمل به شماره ۶۷۶۰۳ در تاریخ ۱۴۰۴/۰۴/۱۸ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

❖ مخاطبان دستورالعمل:

- نهادهای دولتی، دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی، کشاورزان و جوامع محلی، پیمانکاران و مشاوران زیست‌محیطی

❖ شما با مطالعه این دستورالعمل با موارد زیر آشنا می‌شوید:

- نحوه استفاده از گیاه کوشیا (***Kochia scoparia***) به‌عنوان بادشکن زنده و غیر زنده برای کنترل فرسایش بادی و کاهش سرعت باد
- اصول طراحی، مراحل کاشت، آبیاری و نگهداری بادشکن و آزمایشات تونل باد برای ارزیابی عملکرد و تأثیرات محیطی بادشکن.

فهرست

مقدمه ۱
پیشنهاد اجرایی بادشکن ۳
نوآوری در بادشکن و روش اجرا ۴
روش ایجاد بادشکن و بررسی شرایط آن ۵
انتخاب محل و طراحی بادشکن ۶
زمان و نحوه کاشت ۷
توقف آبیاری و تبدیل به بادشکن غیرزنده ۸
تراکم و نفوذپذیری بادشکن ۸
آبیاری و تغذیه گیاهان بادشکن ۸
تأثیرات و مزایای بادشکن ۹
تحلیل اقتصادی بادشکن‌ها ۱۲
بررسی آزمایشگاهی اثر بادشکن‌ها در تونل باد ۱۳
کاهش سرعت باد بعد از عبور از بادشکن گیاه جارو ۱۷
مقایسه کاهش سرعت باد در فصول بهار و پاییز ۱۸
اصول فنی طراحی بادشکن‌ها ۲۰
اثر بادشکن‌ها بر سایر عوامل محیطی ۲۱
آزمایش‌های تونل باد ۲۲
مدیریت پروژه و مراحل اجرایی ۲۲
معیارهای ارزیابی عملکرد بادشکن‌ها ۲۳
پیشنهادها برای بهبود و توسعه بادشکن‌ها ۲۴
تأثیر کاشت گیاه کوشیا در کاهش گرد و غبار ۲۴
پیشنهادهای نهایی ۲۷
منابع ۲۹

مقدمه

پدیده فرسایش بادی و گسترش طوفان‌های گردوغبار از مهمترین تهدیدهای زیست‌محیطی و اقتصادی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شوند. در این میان، ایجاد بادشکن‌ها به‌عنوان یکی از مؤثرترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های کنترل فرسایش بادی و بهبود شرایط اقلیمی محلی معرفی شده است. بادشکن‌ها با کاهش سرعت باد، افزایش رسوب‌گیری، بهبود رطوبت خاک و ایجاد شرایط مناسب برای رشد گیاهان، نقش قابل‌توجهی در حفظ منابع طبیعی و افزایش بهره‌وری اراضی دارند(FAO, 1969; Brandle *et al*, 2004).

بادشکن‌ها به دو نوع کلی تقسیم می‌شوند:

- ✓ بادشکن‌های زنده (گیاهی)، که از درختان، درختچه‌ها یا گیاهان علفی مقاوم به خشکی و شوری تشکیل شده‌اند و به‌تدریج رشد کرده و ساختار حفاظتی طبیعی ایجاد می‌کنند.
- ✓ بادشکن‌های غیرزنده (مصنوعی یا گیاه خشک‌شده)، که از مصالح طبیعی (مانند شاخه‌های گیاهان، سنگ، نی، یا حصیر) یا مصالح مصنوعی (مانند توری، چوب یا بتن) ساخته می‌شوند و نقش فوری در کاهش سرعت باد دارند.

هریک از این دو نوع مزایای خاص خود را دارند؛ بادشکن زنده از نظر اکولوژیک، ماندگار، تجدیدپذیر و به‌تدریج مؤثرتر است، در حالی که بادشکن غیرزنده بلافاصله پس از نصب اثر حفاظتی ایجاد کرده و در مناطقی با شرایط بحرانی قابل اجراست (Cornelis & Gabriels, 2005; Xiao, 1994). احداث بادشکن‌ها می‌تواند میزان رطوبت خاک را تا عمق یک‌متری بین ۲۵ تا ۳۰ درصد افزایش دهد و تغییرات دمای خاک را تا ۸ درجه سانتی‌گراد تعدیل کند (Riasi, 2008). همچنین کاهش تلاطم باد در محدوده‌ای به وسعت ۱۰ تا ۱۲ برابر ارتفاع

بادشکن، منجر به کاهش خسارت‌هایی مانند خوابیدگی ساقه‌ها، شکستگی اندام هوایی، ریزش بذر و کاهش محصول می‌شود(Buckley, 1987).

از منظر اقتصادی، بادشکن‌ها با افزایش میانگین عملکرد محصولات بین ۱/۲ تا ۱/۵ برابر، نقش چشمگیری در کاهش هزینه‌های تولید دارند. مطالعات میدانی در مناطق نیمه‌خشک کشور نشان داده‌اند که استفاده از بادشکن‌های مناسب می‌تواند مصرف آب آبیاری را کاهش داده و بهره‌وری مصرف آب را بهبود ببخشد (اختصاصی، ۱۳۹۹). همچنین اثرهای جانبی مانند ایجاد پناهگاه برای حیات وحش، کاهش آلودگی صوتی و ذخیره‌سازی سالانه میلیون‌ها تن گاز دی‌اکسیدکربن در بافت گیاهی، این اقدام را از منظر اقلیمی نیز ارزشمند می‌کند. با توجه به شرایط اقلیمی مناطق بیابانی، محدودیت منابع آب، افزایش توفان‌های گرد و غبار و ضرورت پایداری تولید کشاورزی، اجرای دستورالعمل احداث بادشکن کاملاً ضروری، دارای اولویت و برخوردار از توجیه فنی و اقتصادی کافی است.

در سال‌های اخیر، تلاش‌هایی برای ترکیب مزایای هر دو نوع بادشکن در قالب الگوهای تلفیقی (زنده/غیرزنده) انجام شده است. روش پیشنهادی در این دستورالعمل نیز در همین راستا قرار دارد، استفاده از گیاه کوشیا به‌عنوان بادشکن زنده در مراحل ابتدایی و بهره‌گیری از ساختار خشک‌شده آن در ادامه به‌عنوان بادشکن غیرزنده، نوآوری مؤثری در این زمینه محسوب می‌شود.

پیشنهاد اجرایی بادشکن

با توجه به ویژگی‌های زیست‌محیطی خاص مناطق خشک و بیابانی ازجمله شوری بالا، کمبود منابع آبی و نیاز به کاهش خسارت‌های ناشی از باد، استفاده از گیاهان سریع‌الرشد و مقاوم برای احداث بادشکن اهمیت فراوان دارد.

گیاه کوشیا (*Kochia scoparia*) به‌عنوان گونه‌ای علفی، یکساله و چهارکربنه، با مقاومت بالا نسبت به گرما و شوری، گزینه‌ای بسیار مناسب برای این هدف شناخته می‌شود. این گیاه قابلیت رشد در خاک‌های بسیار شور را دارد، به‌طوری‌که در آزمایش‌های انجام‌شده تا شوری ۳۵ تا ۴۰ دسی‌زیمنس نیز توانسته عملکرد قابل‌قبولی در تولید زیست‌توده داشته باشد. سیستم ریشه‌ای عمیق و گسترده آن، امکان تثبیت خاک و مقابله با فرسایش بادی را فراهم می‌کند و می‌تواند در اراضی شور و فقیر نقش مؤثری در حفاظت از محصولات کشاورزی ایفا کند.

از سوی دیگر، کوشیا به‌دلیل سرعت رشد بالا، قابلیت تولید علوفه دامی و عملکرد مناسب در شرایط سخت اقلیمی، می‌تواند در قالب بادشکن زنده نه تنها از سرعت باد بکاهد بلکه باعث تعدیل دمای خاک و هوا، افزایش رطوبت نسبی، کاهش تبخیر و در نهایت افزایش بازدهی محصول شود. اگرچه تاکنون از این گیاه در منابع جهانی به‌طور مستقیم به‌عنوان بادشکن استفاده نشده است، اما نتایج مطالعات داخلی و تجارب منطقه‌ای ازجمله کشت‌های آزمایشی در خراسان، گلستان، خور و بیابانک نشان داده‌اند که این گیاه ظرفیت بالقوه‌ای برای ایفای این نقش دارد. در جدول ۱ به بررسی و مقایسه بادشکن‌های مختلف پرداخته شده است.

جدول ۱- مقایسه بادشکن‌ها، ویژگی‌ها و کاربرد آنها

نام گیاه	ویژگی‌ها	کاربرد به‌عنوان بادشکن
جارو (*Artemisia scoparia*)	رشد سریع، مقاوم به شوری و خشکی، بومی ایران	استفاده در مناطق بیابانی و کشاورزی به‌عنوان بادشکن زنده و غیرزنده
تاغ (*Haloxylon* spp)	مقاومت بالا به بیابان‌زایی، رشد کند اما ماندگاری طولانی	گزینه‌ای پایدار برای بادشکن‌های دائمی
کهور ایرانی (*Prosopis cineraria*)	تحمل بالا به خشکی، عمق ریشه زیاد، توانایی احیای خاک	استفاده در مناطق خشک برای کاهش فرسایش بادی
گز (*Tamarix* spp)	مقاومت به شوری و خشکی، رشد متوسط، نیاز آبی کم	مناسب برای حفاظت از اراضی بیابانی
آکاسیا (*Acacia* spp)	رشد نسبتاً سریع، مقاومت به شرایط بیابانی، بهبود کیفیت خاک	گزینه‌ای مناسب برای حفاظت از مزارع و مراتع
کرت (*Atriplex* spp)	مقاوم به شوری، استفاده برای تثبیت شن‌های روان	کاشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان بادشکن و تثبیت خاک

نوآوری در بادشکن و روش اجرا

اگرچه تاکنون انواع مختلفی از بادشکن‌ها اعم از زنده، غیرزنده، متراکم، نیمه‌متراکم و تلفیقی در ایران و جهان اجرا شده‌اند، اما الگوی پیشنهادی در این دستورالعمل دارای ویژگی منحصربه‌فردی است که آن را از سایر روش‌ها متمایز می‌کند. در این دستورالعمل، گیاه کوشیا ابتدا به‌عنوان بادشکن زنده کاشته می‌شود و پس از رسیدن به ارتفاع مؤثر و قطع آبیاری، ساختار خشک‌شده گیاه در محل باقی می‌ماند و به‌صورت طبیعی به بادشکن غیرزنده تبدیل می‌گردد.

این رویکرد نوآورانه ضمن کاهش شدید هزینه‌ها و مصرف منابع، چند مزیت کلیدی دارد:

- ✓ نیاز آبی بسیار کم (تنها ۵ نوبت آبیاری)
- ✓ حذف کامل هزینه‌های نگهداری و مراقبت در سال‌های بعد
- ✓ عدم نیاز به نیروی کارگری در مراحل پس از رشد اولیه
- ✓ و سادگی اجرا از طریق پاشیدن بذر با رعایت اصول مشخص کاشت.

این الگو، با توجه به شرایط اقلیمی خشک، کمبود منابع آبی و محدودیت‌های اجرایی در مناطق بیابانی، می‌تواند الگویی موفق، تکرارپذیر و قابل گسترش در سایر مناطق کشور نیز باشد.

روش ایجاد بادشکن و بررسی شرایط آن

مشخصات گیاه کوشیا

نام علمی: *Kochia scoparia* L (Schrad.)

ویژگی‌ها

- ✓ یکساله، علفی، چهارکربنه، با سیستم ریشه‌ای عمیق و گسترده
- ✓ مقاوم به شوری بالا تا (۳۵ تا ۴۰ دسی زیمنس بر متر)
- ✓ جوانه‌زنی در دمای ۵ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد
- ✓ نیاز نوری بالا و رشد سریع در شرایط مناسب

شکل ۱- گیاه کوشیا و مزارع آن در منطقه شرق اصفهان

انتخاب محل و طراحی بادشکن

- ✓ جهت احداث: در جهت عمود بر باد غالب منطقه
- ✓ طول بادشکن: حداقل ۱۰ برابر ارتفاع نهایی گیاه (برای کوشیا با ارتفاع ۰/۷ متر، طول حدود ۷ متر)
- ✓ در شرایط ایده‌آل، می‌توان این عدد را تا ۱۲ یا حتی ۲۰ برابر نیز افزایش داد.
- ✓ عرض بادشکن: ۵ ردیف (حداقل ۳ ردیف پیشنهاد می‌شود)
- ✓ فاصله بین ردیف‌ها: ۳ متر
- ✓ فاصله بین بوته‌ها در هر ردیف: ۲۰ سانتی‌متر
- ✓ شکل کاشت: ردیفی، با شیارهایی به عمق ۵ سانتی‌متر و فاصله ۳۰ سانتی‌متری بین شیارهای جفتی

زمان و نحوه کاشت

کاشت بهاره

- ✓ زمان کاشت: نیمه اردیبهشت
- ✓ دوره نگهداری: ۴ ماه
- ✓ برنامه آبیاری: ماه اول: هفتگی، ماه دوم: هر ۱۰ روز یکبار، ماه سوم و چهارم: هر ۱۵ روز یکبار

کاشت پاییزه

- ✓ زمان کاشت: اواخر آبان
- ✓ شروع آبیاری: از نیمه فروردین تا پایان خرداد
- ✓ برنامه آبیاری: ۲ هفته اول: هفتگی، ماه دوم: هر ۱۰ روز، ماه سوم: هر ۱۵ روز

شکل ۲- تفاوت اندازه و تاج پوشش گیاه کوشیا در دو زمان کاشت پاییز (الف) و بهار (ب)

توقف آبیاری و تبدیل به بادشکن غیرزنده

پس از رسیدن گیاه به حداکثر ارتفاع در پایان دوره رشد (معمولاً ۳ تا ۴ ماه)، آبیاری متوقف شده و گیاه خشک‌شده به‌صورت طبیعی در مزرعه باقی می‌ماند و به‌عنوان بادشکن غیرزنده عمل می‌کند. این وضعیت تا ۳ سال می‌تواند حفظ شود.

تراکم و نفوذپذیری بادشکن

- ✓ تراکم کوشیا در حالت طبیعی حدود ۵۹ درصد برآورد شده (۴۱ درصد فضای خالی) و در دسته بادشکن‌های نیمه‌متراکم قرار می‌گیرد.
- ✓ بادشکن نیمه‌متراکم با این مشخصات باعث کاهش مؤثر سرعت باد و افزایش رسوب‌گیری می‌شود.

آبیاری و تغذیه گیاهان بادشکن

- ✓ آبیاری اولیه: تا ۴ دوره در سال اول انجام شود.
- ✓ نیاز آبی: در مقایسه با تاغ، گیاه جارو ۵ برابر کمتر نیاز آبی دارد.
- ✓ در مناطق خشک، آبیاری قطره‌ای و تأمین رطوبت تا عمق ۱ متری توصیه می‌شود.

تأثیرات و مزایای بادشکن

کاهش سرعت باد و گرد و غبار

- ✓ کاهش سرعت باد تا ۵۰ درصد در مناطق تحت حفاظت
- ✓ تأثیر مستقیم در کاهش فرسایش خاک و طوفان‌های گرد و غبار

افزایش بهره‌وری کشاورزی

- ✓ افزایش ۴۴ درصدی عملکرد محصول در اراضی محافظت‌شده
- ✓ کاهش ۸۰ درصد از دست رفتن خاک با پوشش گیاهی مناسب
- ✓ بهبود کیفیت محصولات زراعی و کاهش استرس گیاهان ناشی از باد

کاهش نیاز به آبیاری

- ✓ گیاه جارو با ۵ نوبت آبیاری در هکتار قابل استقرار است، در حالی که تاغ به ۲۰ نوبت آبیاری نیاز دارد
- ✓ میزان مصرف آب برای جارو ۳۰ مترمکعب در هکتار در برابر ۱۲۰ مترمکعب برای تاغ

افزایش پایداری محیطی

- ✓ ایجاد شرایط خرد اقلیم مناسب و افزایش رطوبت نسبی خاک و هوا
- ✓ جلوگیری از کاهش دمای شدید خاک و تبخیر بیش‌ازحد آب

شکل ۳- نحوهٔ اجرای بادشکن در جلوی مزارع

شکل ۳- نحوهٔ اجرای بادشکن در جلوی مزارع

تحلیل اقتصادی بادشکن‌ها

هزینه‌های احداث و نگهداری

- ✓ هزینه آبیاری برای جارو ۷ برابر کمتر از تاغ است.
- ✓ در شرایط بیابانی، گیاه جارو گزینه اقتصادی‌تر برای کنترل فرسایش بادی محسوب می‌شود.

عامل	مدت رشد تا ارتفاع ۷۰ سانتی متر	تعداد نوبت‌های آبیاری	هزینه آبیاری در هکتار در سال ۱۴۰۰
تاغ	۲ سال	۲۰ نوبت	۱۴ میلیون تومان
جارو	۳ ماه	۵ نوبت	۲ میلیون تومان

ملاحظات اقتصادی و زیست‌محیطی

- ✓ گیاه تاغ دوام و ماندگاری بالایی دارد و یکی از سازگارترین گونه‌ها با شرایط بیابانی محسوب می‌شود.
- ✓ گیاه جارو به دلیل رشد سریع و هزینه کم، گزینه‌ای مناسب برای کاهش فوری خسارت‌های کشاورزی است.

پیشنهاد

- ✓ برای پایداری بلندمدت، ترکیب تاغ و جارو در مناطق مستعد بیابان‌زایی توصیه می‌شود.
- ✓ این دستورالعمل براساس نتایج میدانی، بررسی‌های علمی و تجربه اجرایی در استان اصفهان، طی سه سال تدوین شده است.

شکل ۴- دوام و ماندگی بادشکن کوشیا بعد از ۳ سال

بررسی آزمایشگاهی اثر بادشکن‌ها در تونل باد

یکی از روش‌های مؤثر برای ارزیابی عملکرد بادشکن‌ها، انجام آزمایش در تونل باد است. در این آزمایش‌ها، اثرهای بادشکن‌ها در کاهش سرعت باد و افزایش رسوب‌گیری اندازه‌گیری می‌شود. نتایج این آزمایش‌ها نشان داده‌اند که استفاده از گیاهان به‌ویژه کوشیا می‌تواند سرعت باد را به‌طور چشمگیری کاهش دهد و فرسایش بادی و پراکندگی ذرات خاک را مهار کند. همچنین، طراحی بادشکن‌ها، ازجمله ارتفاع، تراکم و فاصله بین ردیف‌ها، تأثیر زیادی در عملکرد آنها دارد. طبق تحقیقات Cornelis & Gabriels (2005) و Xiao (1994)، بادشکن‌ها می‌توانند سرعت باد را تا ۷۰ درصد کاهش دهند و موجب افزایش رسوب‌گیری در نواحی عقب‌افتاده از بادشکن شوند. در آزمایش‌های Siddoway *et al* (1965) و Fryrear (1985)، تأثیر بادشکن‌ها در کاهش فرسایش بادی در دشت‌های خشک بررسی شد و نتایج نشان داد که

با افزایش تعداد ردیف‌های بادشکن، میزان فرسایش بادی به شدت کاهش یافت. در آزمایش‌های Muzik & Gillette (1990) و Hong *et al* (2020) نیز ثابت شد که بادشکن‌های چند ردیفه بسیار مؤثرتر از بادشکن‌های یک ردیفه در کنترل فرسایش بادی و کاهش سرعت باد هستند. در این آزمایش‌ها، انواع مختلفی از بادشکن‌ها، ازجمله بادشکن‌های گیاهی (زنده و خشک‌شده)، با استفاده از تونل باد شبیه‌سازی شده‌اند و تأثیر آنها در کاهش میزان گرد و غبار اندازه‌گیری شده است. برای مطالعات دقیق‌تر، این روش پیشنهادی در تونل باد نیز آزمایش شد.

شکل ۵- آزمایش تأثیر گیاه جارو (بادشکن غیر زنده)
برای کاهش سرعت آستانه فرسایش بادی و بادبردگی خاک در تونل باد

روش

- ✓ ارسال خاک منطقه همراه با دسته‌های جارو به مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و شبیه‌سازی شرایط طبیعی در تونل باد
- ✓ اندازه‌گیری میزان بادبردگی در شرایط بدون بادشکن و با بادشکن
- ✓ محاسبه سرعت آستانه فرسایش بادی در حضور بادشکن.

نتایج

اندازه‌گیری سرعت آستانه فرسایش بادی

- ✓ در شرایط بدون بادشکن: سرعت آستانه فرسایش بادی ۴/۲۸۹ متر بر ثانیه محاسبه شد.
- ✓ پس از نصب بادشکن، سرعت آستانه افزایش یافت که نشان می‌دهد بادشکن در کاهش فرسایش مؤثر بوده است.

ویژگی‌های بادشکن

- ✓ ارتفاع بادشکن در طبیعت بین ۷۵ تا ۱۰۳ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد، اما در تونل باد به دلیل محدودیت فضا، ارتفاع ۴۰ تا ۴۵ سانتی‌متر تنظیم گردید.
- ✓ بادشکن‌های متراکم‌تر (با ۵۹ درصد تراکم و ۴۱ درصد فضای خالی) بهترین عملکرد را در کاهش فرسایش نشان دادند.

کاهش سرعت باد

- ✓ در سرعت ۱۷/۸ متر بر ثانیه، سرعت باد بعد از بادشکن تا ۳/۵ متر بر ثانیه کاهش یافت.
- ✓ در سرعت‌های بالاتر، تأثیر بادشکن کاهش یافته اما همچنان مؤثر بود.

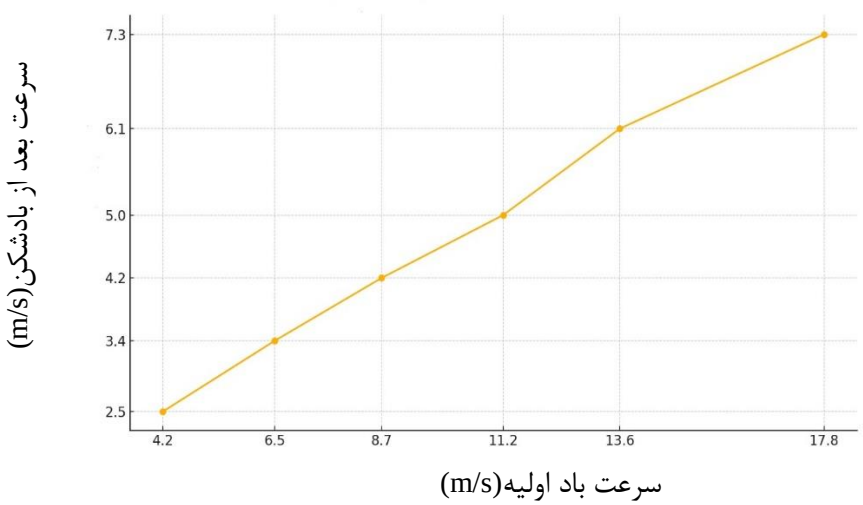
بادشکن‌های نیمه‌متراکم (۴۰ تا ۵۰ درصد تخلخل) تأثیر زیادی بر کاهش سرعت باد و افزایش سرعت آستانه فرسایش دارند. توصیه می‌شود در مناطق بیابانی و اراضی کشاورزی از بادشکن‌های چندردیفه استفاده شود.

براساس آزمایش‌های تونل باد، مشخص شد که بادشکن‌های نیمه‌متراکم (۵۹ درصد تراکم) تأثیر بسزایی در کاهش بادبردگی و افزایش آستانه فرسایش دارند. در طراحی بادشکن‌های میدانی، پیشنهاد می‌شود که فاصله بین ردیف‌های بادشکن براساس میزان کاهش سرعت باد تنظیم گردد. طبق آزمایش‌ها، فاصله بین ردیف‌های بادشکن برای حداکثر عملکرد در حدود دو برابر ارتفاع بادشکن توصیه می‌شود. نتایج تونل باد نشان داد که استفاده از بادشکن‌های نیمه‌متراکم باعث افزایش سرعت آستانه فرسایش و کاهش قابل توجه میزان بادبردگی می‌شود. در نتیجه، استفاده از بادشکن‌های ترکیبی می‌تواند نیاز به سایر اقدامات پرهزینه مانند مالچ‌پاشی را کاهش دهد و هزینه‌های کنترل فرسایش را تا ۴۰ درصد کمتر کند. طبق آزمایش‌های تونل باد، تعیین محل ردیف دوم بادشکن‌ها به گونه‌ای انجام شد که سرعت باد در فاصله حدود ۸۰ سانتی‌متری از بادشکن اول (دو برابر ارتفاع آن) به حداقل رسید. بنابراین، توصیه می‌شود که در شرایط میدانی نیز فاصله بین بادشکن‌ها حدود ۲ برابر ارتفاع آنها در نظر گرفته شود تا تأثیر حداکثری در کاهش بادبردگی و فرسایش داشته باشد.

کاهش سرعت باد بعد از عبور از بادشکن گیاه جارو

شکل ۶ سرعت اولیه باد را با سرعت همان باد پس از عبور از بادشکن گیاهی جارو در تونل باد مقایسه می‌کند. مشاهده می‌شود که بادشکن گیاه جارو به شکل چشمگیری سرعت باد را کاهش می‌دهد. به عنوان نمونه، باد اولیه با سرعت حدود ۱۰ متر بر ثانیه پس از عبور از بادشکن به حدود ۵/۲ متر بر ثانیه کاهش یافته است. این کاهش قابل توجه سرعت باد، نقش بادشکن در کاهش انرژی باد و محدود کردن فرسایش بادی را نشان می‌دهد. به‌طور متوسط سرعت باد پس از بادشکن حدود ۴۰ تا ۵۵ درصد کمتر از سرعت اولیه است که با گزارش‌های علمی در مورد کارایی بادشکن‌ها هم‌خوانی دارد (مثلاً کاهش حدود ۶۰ درصد سرعت باد در پشت یک بادشکن گزارش شده است) (Brandle *et al.*, 2004; Cornelis & Gabriels, 2005).

- ✓ سرعت‌های اولیه آزموده‌شده در تونل باد از حدود ۴ تا ۱۲ متر بر ثانیه متغیر بوده‌اند. این دامنه سرعت، شرایط باد ملایم تا نسبتاً قوی را دربر می‌گیرد.
- ✓ پس از عبور از بادشکن جارو، سرعت باد به‌طور محسوسی کاهش یافت و تقریباً به نیمی از سرعت اولیه رسید. برای نمونه، باد با سرعت ۸ متر بر ثانیه به حدود ۴ متر بر ثانیه کاهش پیدا کرد که تقریباً معادل ۵۰ درصد کاهش سرعت است.
- ✓ عملکرد بادشکن جارو در کاهش سرعت باد، پایدار و مؤثر بوده است. میانگین کاهش سرعت در تمامی آزمایش‌ها حدود ۵۰ درصد ثبت شد که مطابق با انتظار از یک بادشکن متخلخل خوب طراحی‌شده می‌باشد.
- ✓ چنین کاهش سرعتی در پشت بادشکن نقش مهمی در کنترل فرسایش باد و حفاظت از خاک و پوشش گیاهی ایفا می‌کند (Brandle *et al.*, 2004; Cornelis & Gabriels, 2005).



شکل ۶- کاهش سرعت باد بعد از عبور از بادشکن گیاه جارو

مقایسه کاهش سرعت باد در فصول بهار و پاییز

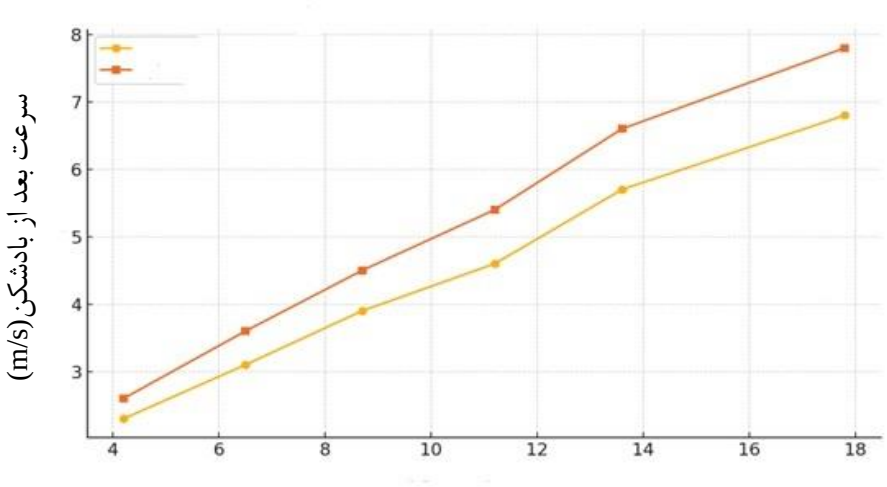
شکل ۷ تأثیر فصل را بر کارایی بادشکن جارو نشان می‌دهد. داده‌ها شامل مقایسه سرعت باد بعد از بادشکن در دو حالت مختلف هستند: بهار (زمانی که گیاه جارو سبز و دارای برگ است) و پاییز (زمانی که گیاه خشک شده یا تراکم برگ‌ها کاهش یافته است). نتایج حکایت از آن دارد که بادشکن در فصل بهار مؤثرتر عمل می‌کند و میزان کاهش سرعت باد در بهار بیشتر از پاییز است. برای یک سرعت باد اولیه مشخص، سرعت باد بعد از بادشکن در پاییز اندکی بالاتر از بهار بوده که نشان‌دهنده کاهش اثربخشی بادشکن به دلیل کاهش شاخ و برگ یا تراکم گیاه در پاییز است. با این حال، حتی در پاییز نیز بادشکن جارو بخش اعظم اثر کاهشی خود را حفظ کرده و بخش زیادی از انرژی باد را می‌گیرد، به‌طوری‌که کارایی بادشکن در حالت خشک

(پاییز) حدود ۸۰ درصد کارایی آن در حالت سبز (بهار) برآورد می‌شود (Xiao, 1994; Cornelis & Gabriels, 2005).

در تمامی سرعت‌های آزموده‌شده، سرعت باد پشت بادشکن در بهار کمتر از پاییز بود. این بدان معنی است که بادشکن با شاخ و برگ کامل (بهار) باد را بیشتر کند می‌کند، در حالی که در پاییز به دلیل ریزش برگ‌ها یا خشک شدن گیاه، مقدار باد بیشتری عبور می‌کند.

- ✓ به عنوان نمونه، برای باد اولیه با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه، سرعت بعد از بادشکن در بهار حدود ۵/۲ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد، در حالی که همین سرعت در پاییز به حدود ۶/۲ متر بر ثانیه رسید. این تفاوت نشان می‌دهد که در پاییز بادشکن حدود یک متر بر ثانیه باد کمتری را مهار کرده است (کاهش سرعت ۴۸ درصد در بهار در برابر ۳۸ درصد در پاییز برای این نمونه). این یافته با مطالعاتی که کاهش تراکم شاخ و برگ را عامل افت نسبی کارایی بادشکن می‌دانند، مطابقت دارد (Brandle *et al.*, 2004; Xiao, 1994).

با وجود کاهش نسبی کارایی در پاییز، اثر بادشکن همچنان قابل توجه است، حتی در حالت پاییز، مثلاً باد ۸ متر بر ثانیه پس از بادشکن به ۴/۸ متر بر ثانیه کاهش یافت که حدود ۴۰ درصد افت سرعت را نشان می‌دهد. تحقیقات نشان می‌دهند که بادشکن‌های برگ ریز حتی در حالت بدون برگ نیز بخش عمده‌ای از توان خود در کاهش سرعت باد را حفظ می‌کنند (حدود ≤۸۰ درصد کارایی فصل رشد) (Cornelis & Gabriels, 2005; Xiao, 1994). بنابراین بادشکن جارو در پاییز نیز همچنان نقش حفاظتی قابل ملاحظه‌ای دارد.



شکل ۷- مقایسه کاهش سرعت باد در فصول بهار و پاییز

اصول فنی طراحی بادشکن‌ها

ارتفاع و فاصله ردیف‌ها

یکی از اصول طراحی بادشکن‌ها، انتخاب ارتفاع مناسب برای گیاهان است. برای بادشکن‌های زنده، گیاهانی که ارتفاع آنها از ۵۰ سانتی‌متر تا ۱۵۰ سانتی‌متر باشد، معمولاً مناسب هستند (FAO, 1969). فاصله ردیف‌ها به عواملی مانند شرایط خاک، سرعت باد و نوع گیاه بستگی دارد. برای گیاه کوشیا پیشنهاد می‌شود که فاصله بین ردیف‌ها حدود ۳ متر باشد تا اثر بادشکن به حداکثر برسد.

نوع گیاه و سازگاری با شرایط محیطی

گیاهان بادشکن باید مقاوم به شرایط خشکی، شوری و دمای بالا باشند. کوشیا به دلیل سازگاری‌اش با خاک‌های شور و خشک، برای این شرایط ایده‌آل است (Kumar & Singh, 2009).

تعداد ردیف‌ها

بادشکن‌های چند ردیفه نسبت به بادشکن‌های یک ردیفه از کارایی بیشتری برخوردارند و می‌توانند باد را به‌طور مؤثرتری کاهش دهند (Brandle *et al*, 2004).

اثر بادشکن‌ها بر سایر عوامل محیطی

درجه حرارت خاک و رطوبت

بادشکن‌ها می‌توانند باعث تعدیل دما و رطوبت خاک شوند. در مناطقی که بادشکن نصب شده است، دما نسبت به مناطق بدون بادشکن به‌طور میانگین ۰/۶ تا ۳/۶ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد(Brandle *et al*, 2004). همچنین، رطوبت خاک در نواحی تحت تأثیر بادشکن افزایش می‌یابد که به بهبود شرایط کشاورزی کمک می‌کند.

میزان رسوب‌گذاری و فرسایش بادی

بادشکن‌ها با کاهش سرعت باد و افزایش رسوب‌گذاری در خاک‌های سبک و حساس به فرسایش، می‌توانند نقش مهمی در حفظ خاک ایفا کنند. این موضوع به‌ویژه در مناطقی که در معرض طوفان‌های گرد و غبار قرار دارند، بسیار حیاتی است (Fryrear, 1985).

آزمایش‌های تونل باد

روش‌های اندازه‌گیری سرعت باد

در آزمایش‌های تونل باد، سرعت باد در دو حالت مختلف قبل و بعد از عبور از بادشکن اندازه‌گیری می‌شود. سرعت باد معمولاً با استفاده از بادسنج‌های دقیق اندازه‌گیری می‌شود تا کاهش سرعت باد پس از عبور از بادشکن ارزیابی شود.

پایدار بودن عملکرد بادشکن‌ها

برای ارزیابی عملکرد بادشکن‌ها، باید کاهش سرعت باد در فصول مختلف (بهار و پاییز) بررسی شود. مطالعات نشان داده‌اند که بادشکن‌ها به‌ویژه در فصل رشد (بهار) کارایی بیشتری دارند، زیرا در این زمان گیاهان شاخ و برگ دارند و می‌توانند انرژی باد را بهتر جذب کنند (Cornelis & Gabriels, 2005).

مدیریت پروژه و مراحل اجرایی

مراحل کاشت و نصب بادشکن‌ها

کاشت گیاهان بادشکن باید در زمان مناسب (بهار برای کاشت و پاییز برای تثبیت گیاهان) انجام شود. همچنین، توجه به فاصله کاشت و نحوه آبیاری گیاهان برای رشد مطلوب ضروریست.

نگهداری و مراقبت

پس از کاشت گیاهان، باید به مراقبت از گیاهان در برابر آفات و بیماری‌ها پرداخت و در صورت نیاز به آبیاری مناسب، عملیات لازم را انجام داد. گیاه کوشیا به دلیل ریشه‌های عمیق و مقاومتی که دارد، نیاز به نگهداری کمتری دارد(Kumar & Singh, 2009).

معیارهای ارزیابی عملکرد بادشکن‌ها

کاهش سرعت باد

یکی از معیارهای اصلی برای ارزیابی عملکرد بادشکن‌ها، میزان کاهش سرعت باد پس از عبور از بادشکن است. طبق آزمایش‌ها، این کاهش باید حداقل ۴۰ تا ۵۰ درصد باشد تا اثر بادشکن به‌طور معناداری در کاهش فرسایش بادی مشاهده شود (Brandle *et al*, 2004; Fryrear, 1985).

تأثیر بر رسوب‌گذاری و حفاظت از خاک

میزان رسوب‌گذاری و حفاظت از خاک پس از نصب بادشکن یکی دیگر از معیارهای ارزیابی است. عملکرد خوب بادشکن‌ها باید منجر به کاهش فرسایش و حفظ منابع خاک شود.

تأثیر بر رطوبت خاک

بادشکن‌ها معمولاً باعث افزایش رطوبت خاک در نواحی محافظت‌شده می‌شوند که این موضوع می‌تواند به بهبود کشاورزی و توسعه پوشش گیاهی کمک کند.

پیشنهادها برای بهبود و توسعه بادشکن‌ها

بهینه‌سازی طرح‌های بادشکن

با توجه به نتایج آزمایش‌ها، پیشنهاد می‌شود که طرح‌های بادشکن به‌ویژه در مناطق با سرعت باد بالا، به صورت چند ردیفه طراحی شوند تا کارایی آنها در کاهش سرعت باد افزایش یابد.

گسترش استفاده از بادشکن‌های گیاهی

استفاده از گیاهان مقاوم به خشکی و شوری مانند کوشیا می‌تواند به افزایش پایداری و کاهش هزینه‌های نگهداری کمک کند.

تأثیر کاشت گیاه کوشیا در کاهش گرد و غبار

کاشت گیاه کوشیا در مناطق مستعد فرسایش بادی، به‌ویژه در اراضی بیابانی و شور، می‌تواند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم نقش مؤثری در کاهش گرد و غبار ایفا کند. این تأثیر به دلایل زیر علمی و قابل اندازه‌گیری است.

کاهش سرعت باد در نزدیکی سطح زمین

کوشیا با داشتن ساختار بوته‌ای متراکم و ارتفاع قابل‌توجه (۱/۵ تا ۲/۵ متر در شرایط مناسب)، باعث افزایش زبری سطح و کاهش انرژی باد در لایه‌های نزدیک به زمین می‌شود. طبق داده‌های تونل باد این کاهش می‌تواند تا ۶۰ درصد سرعت باد را در فاصله چند برابر ارتفاع بادشکن کم کند.

کاهش جزئی در سرعت باد (مثلاً از ۱۲ متر بر ثانیه به ۷ متر بر ثانیه) می‌تواند تا ۹۰ تا ۷۰ درصد از میزان فرسایش بادی و گرد و غبار را کاهش دهد (زیرا شدت فرسایش بادی با توان سوم سرعت باد متناسب است).

افزایش پایداری سطح خاک و جلوگیری از بلند شدن ذرات

کوشیا با سیستم ریشه‌ای گسترده و عمیق (تا ۵ متر)، ذرات خاک را به هم می‌چسباند و مانع از جدا شدن آنها توسط باد می‌شود. همچنین ساقه خشک‌شده آن پس از قطع آبیاری، به‌عنوان مانع فیزیکی در برابر باد عمل می‌کند.

رسوب‌گیری گرد و غبار در پشت بادشکن

در بادشکن‌های ردیفی چندگانه (۳ تا ۵ ردیف)، مانند الگوی پیشنهادشده در دستورالعمل ، بخشی از گرد و غبار و ماسه‌های معلق پشت هر ردیف رسوب می‌کند. این موضوع هم در آزمایش‌های مزرعه‌ای اثبات شده (با کاهش وزنی رسوبات از ۱۴۶۴ گرم به ۸۰۸ گرم) و هم در تحقیقات خارجی (Ruesch, 1995; park,2002).

زادآوری طبیعی

کوشیا به‌دلیل بذرریز بودن و سازگاری با اقلیم خشک، در صورت تخریب در اثر باد شدید یا باران، به‌راحتی در سال بعد دوباره سبز می‌شود و پوشش حفاظتی خود را احیا می‌کند، این ویژگی در کاهش بلندمدت گرد و غبار حیاتی است.

شکل ۸- زادآوری طبیعی گیاه در سال بعد

با توجه به نتایج میدانی و آزمایشگاهی:

- ✓ استفاده از بادشکن کوشیا به‌صورت ۵ ردیف، می‌تواند ۴۰ تا ۷۰ درصد از رسوب و غبار معلق در واحد سطح را کاهش دهد.
- ✓ تأثیر آن در فصل بهار بیشتر بوده است، به دلیل رشد بهتر گیاه و ارتفاع بالاتر تاج پوشش.
- ✓ در مقایسه با زمین بدون بادشکن، میزان گرد و غبار در پایین‌دست بادشکن حدود ۲ برابر کاهش یافته است.

پیشنهادهای نهایی

همچنین یکی از تجربیات حاصل از اجرای سه‌ساله دستورالعمل، همکاری با اداره کل منابع طبیعی و اجرای کاشت کوشیا از طریق نهال بود که به دلیل ضعف در استقرار و هزینه‌های بالا، با شکست مواجه شد. این تجربه نشان داد که کاشت کوشیا از طریق بذر، علاوه بر سادگی و هزینه کمتر، از دوام و پایداری بسیار بیشتری برخوردار بوده و توصیه می‌گردد به‌عنوان روش اصلی در احداث بادشکن استفاده شود.

خطرها، چالش‌ها و ملاحظات اجرایی

- ✓ خطر مدفون شدن بوته‌ها در سال‌های اول به‌ویژه در مناطق ماسه‌ای فعال وجود دارد. توصیه می‌شود در سال اول، پایش و ترمیم نقاط بحرانی به‌صورت میدانی انجام شود.
- ✓ کاهش ارتفاع گیاه در صورت تراکم بالا یا رقابت درون‌گونه‌ای ممکن است کارایی بادشکن را کاهش دهد. بنابراین تنک‌سازی در سال اول در تراکم‌های بالا توصیه می‌شود.
- ✓ استقرار ضعیف در مناطق فاقد بارندگی یا بدون آبیاری اضطراری اولیه می‌تواند موجب از دست رفتن تراکم گیاه شود.

پایش، نگهداری و ارزیابی عملکرد

- ✓ بازدیدهای میدانی در ماه اول به‌صورت هفتگی و بعد به‌صورت ماهانه تا پایان فصل رشد الزامیست.
- ✓ استفاده از بادسنج و سینی رسوب‌گیر برای پایش اثربخشی بادشکن در کاهش سرعت باد و رسوب‌گیری توصیه می‌شود.
- ✓ در سال دوم، بررسی میزان جوانه‌زنی دوباره از بذرهای ریخته‌شده و تعیین تراکم خودبخودی برای تصمیم‌گیری درباره کاشت دوباره انجام شود.

مشارکت مردمی و ملاحظات اجتماعی

- ✓ با توجه به پراکنش کوشیا در برخی مزارع به‌صورت خودرو، می‌توان از ظرفیت مشارکت کشاورزان بومی در تکثیر بذر و نگهداری استفاده کرد.
- ✓ دستورالعمل‌هایی با مشارکت دهیاری‌ها، شوراهای روستا و گروه‌های بهره‌بردار محلی در افزایش ضریب موفقیت و کاهش هزینه‌های اجرایی بسیار مؤثر خواهد بود.
- ✓ آموزش و آگاه‌سازی جوامع محلی نسبت به مزایای بادشکن‌ها می‌تواند مقاومت احتمالی در برابر تغییرات در الگوی کشت را کاهش دهد.

منابع

اختصاصی، م. ۱۳۸۴. بررسی خسارت باد به محصولات زراعی استان یزد. گزارش مرکز تحقیقات منابع طبیعی یزد.

صالحی، م. ۱۳۹۲. تأثیر تنش شوری و رژیم‌های آبیاری بر تولید زیست توده و روند شوری خاک. گزارش نهایی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. (*Kochia scoparia*) کوشیا کشاورزی، شماره ثبت ۴۳۴۵۸.

صالحی، م. ۱۳۹۳. تأثیر تنش شوری و رژیم آبیاری بر تولید کوشیا در کشت تابستانه. گزارش نهایی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شماره ثبت ۴۴۷۲۸.

صالحی، م. ۱۳۹۴. راهنمای کاشت، داشت و برداشت کوشیا با منابع آب بسیار شور. وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، چاپ اول.

کارگروه کوشیا. ۱۴۰۰. گزارش ملی عملکرد کوشیا. اداره کل منابع طبیعی استان خراسان.

معاونت راهبردی ریاست جمهوری. ۱۳۹۳. ضوابط و معیارهای فنی بادشکن‌ها. سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور.

رفاهی، م. ۱۳۷۸. اصول و مبانی بیابان‌زدایی. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول.

Brandle, J. R., Hodges, L., Tyndall, J., & Sudmeyer, R. A. (2004). *Windbreak practices*. USDA National Agroforestry Center.

Buckley, R., 1987. The effect of sparse vegetation on the transport of dune sand by wind. Nature 325 (6103):426–428.

Cornelis, W. M., & Gabriels, D. (2005). Optimal windbreak design for wind-erosion control. *Journal of Arid Environments*, 61(2), 315–332.

FAO. (1969). *Windbreaks and shelterbelts*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Fryrear, D. W. (1985). Soil cover and wind erosion. *Transactions of the ASAE*, 28(3), 781–784.

Giliis, J. A., & Greeley, R. (2002). Wind erosion and dust from the American Southwest. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D24), AAC 6-1–AAC 6-10.

Hong, M., Qian, Y., & Wang, Y. (2020). Effect of vegetation on wind erosion: A review. *Catena*, 189, 104482.

Muzik, I., & Gillette, D. A. (1990). A wind tunnel simulation of the sheltering effect of vegetation on erodible surfaces. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15(6), 513–526.

Park, J. Y., Lee, S. H., & Kim, J. H. (2002). Effectiveness of windbreaks in reducing fugitive dust emissions from an open storage coal yard. *Atmospheric Environment*, 36(22), 3599–3609.

Riasi, A., Danesh Mesgaran, M., Stern, M.D., Ruiz Moreno, M.J., 2008. Chemical composition, in situruminal degradability and post-ruminal disappearance of dry matter and crude protein from the halophytic plants *Kochia scoparia, Atriplex dimorphostegia, Suaeda arcuata and Gamanthus gamacarpus*. Anim. Feed Sci. Technol. 141, 209-219.

Ruesch, A. (1955). Wind protection by shelterbelts. *Agricultural Meteorology*, 2(2), 73–78.

Siddoway, F. H., Armbrust, D. V., & Chepil, W. S. (1965). Effect of kind, amount, and placement of residue on wind erosion control. *Transactions of the ASAE*, 8(3), 327–331.

Xiao, J. (1994). Wind sheltering effect of windbreaks with different structures. *Chinese Journal of Agricultural Engineering*, 10(4), 22–26.

Zhaomin, L., & Ling, C. (1998). Relationship between windbreaks and crop yield. *Journal of Agricultural Science*, 131(2), 225–231.