# بررسی روش‌های کنترل فرسایش بادی برای حفاظت راه‌آهن[۱]

## مطالعه موردی: منطقه بافق

حسن احمدی[۲] محمدرضا اختصاصی[۳] سادات فیض‌نیا[٤] محمدجواد قانعی بافقی[٥]

**چکیده**

پدیده فرسایش بادی از عمده معضلات در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. در جنوب شهرستان بافق نیز این پدیده فعال بوده و همواره خساراتی به راه‌های ارتباطی و بویژه راه‌آهن سراسری تهران - بندرعباس و تهران - کرمان درمحدوده جنوب بافق و اراضی زراعی و روستاهای مجاور وارد می‌کند. به منظور کنترل فرسایش بادی در خط راه‌آهن در این منطقه ابتدا منشا رسوبات مشخص شد که شامل دشت‌سرآپانداژ جنوب غرب ارگ و مسیل رودشور زرند و رخساره‌های حساس به فرسایش بادی موجود بر روی این دشت‌سر و همچنین جلگه رسی مجاور آن است. به‌منظور کنترل فرسایش بادی و جلوگیری از حرکت ماسه‌ها به ریل‌های راه‌آهن، مطالعات پایه مانند آب و هوا، ژئومرفولوژی خاک، پوشش گیاهی، آب‌های زیرزمینی و... انجام و محدودیت‌های آب و هوایی و ویژگی‌های خاک در این محدوده بررسی شد و مشخص گردید که محدوده منشا دارای محدودیت‌های آب و هوایی و ادافیکی است. از این‌رو استفاده از روش‌های صرفا بیولوژیکی در این منطقه جوابگو نیست. بنابراین برای محافظت از ریل راه‌آهن مخلوطی از روش‌های بیولوژی و مکانیکی استفاده شد. روش‌های پیشنهادشده برای کنترل فرسایش بادی در مجاورت ریل عبارتنداز: بادشکن زنده با استفاده از گیاهان بومی منطقه، حفر خندق و احداث بادشکن غیرزنده و همچنین تقویت پوشش سنگفرشی موجود در رخساره‌ها.

**واژه‌های کلیدی:** مکان‌یابی، جهت‌یابی، ارگ، دشت ریگی، سرعت آستانه فرسایش، بادشکن و روش بیولوژی.

---

۱- تاریخ دریافت: ۷۹/۱۲/۷، تاریخ تصویب نهایی: ۸۱/۲/۱٦

۲- استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران (E-mail:ahmadi@chamran.ut.ac.ir)

۳- عضو هیات علمی دانشگاه یزد

٤- استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

٥- کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

## مقدمه

درمحدوده جنوب بافق و حاشیه جنوبی کویر درانجیر که در جنوب شرقی استان یزد واقع شده، به علت کمبود رطوبت و شرایط سخت محیطی، پوشش گیاهی اندکی مستقر شده است. علاوه بر این، وجود نمک و املاح در خاک که موجب پخشیدگی خاک می‌شود، نیز مزید بر علت شده و ذرات خاک سطحی با وزش باد به‌راحتی حمل می‌شوند. این ذرات هرساله به راه‌های مواصلاتی، بویژه راه‌آهن و اراضی کشاورزی و تاسیسات شهری، همچنین روستاهای مجاور خسارات زیادی وارد می‌کند. در این منطقه دومسیر راه‌آهن وجود دارد که یکی به سمت تهران و دیگری به سمت بندرعباس کشیده شده است. این دو خط در حال حاضر تحت تاثیر فرسایش بادی است. این پدیده سبب تخریب لوازم و قطعات قطارهایی که از این مسیر عبور می‌کنند شده و در هر رفت و آمد نیاز به تعویض بعضی قطعات دارند. چه بسا هزینه تعویض این قطعات درصد زیادی از درآمد قطار را مستهلک کند. در زمینه کنترل فرسایش بادی تحقیقات زیادی در نقاط مختلف دنیا و در کشور انجام شده است که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

خلدبرین (۱۳۶۸) روش‌های گوناگون تثبیت ماسه‌های بادی در ایران را مورد بررسی قرار داد. کاظمی نژاد (۱۳۷۱) در تحقیقی به بررسی وضعیت حرکت تپه‌های ماسه‌ای و مقایسه دو روش مالچ‌های نفتی و بیولوژی در تثبیت ماسه‌های منطقه اشکذر یزد پرداخت(۷). احمدی و اختصاصی (۱۳۷۷) نیز اثر مالچ سنگریزه‌ای در کاهش فرسایش بادی را در اراضی رسی و دقی دشت یزد اردکان مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که پوشش ۵۰ درصد سنگریزه می‌تواند سطح این اراضی را تا حد زیادی از فرسایش حفظ کند. در زمینه مطالعات خارج از کشور نیز می‌توان موارد زیر را نام برد (۳):

زوزوندا و همکاران[۱] (۱۹۸۵)، پس از تعیین منشا رسوب‌های بیابان چین، روش تثبیت آنها را محافظت از اراضی در مقابل تخریب، احداث بادشکن وکشت شطرنجی گراس معرفی کردند (۱۵).

جابور[۲] (۱۹۸۵) در الکسرای سوریه به‌منظور کنترل تکنیکی فرسایش بادی، روش‌هایی مانند احداث بادشکن در منطقه برداشت و حمل و ایجاد پشته‌هایی به ارتفاع ۲-۳ متر در محدوده ارگ و درختکاری در کناره پشته‌ها و همچنین حفر خندق به‌منظور جلوگیری از حرکت جهشی و غلطشی مواد بادرفتی به سمت پشته‌ها را پیشنهاد کرد. چائو[۳] (۱۹۸۵) نیز در شمال غرب چین در مورد خطر حرکت تپه‌های ماسه‌ای تحقیقی صورت داده و به‌منظور تثبیت تپه‌های ماسه‌ای پاشیدن رس و گشت گراس در یک سوم پایینی تپه‌ها به‌صورت شطرنجی و یکسره را پیشنهاد کرد (۱۴).

در تحقیق حاضر با بررسی محدودیت‌های اقلیمی، اکولوژیک و خاک بهترین روش کنترل فرسایش بادی و حرکت ماسه‌های روان در حاشیه ریل‌ها پیشنهاد خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

با توجه به تحقیق انجام‌شده در این منطقه، منشا رسوب‌های بادی و کانون‌های برداشت مشخص شده است. بنابراین فعالیت‌های کنترل بر روی این محدوده متمرکز خواهد شد.

منشا رسوب‌های بادی عبارتند از: مسیل رودشور زرند که سالانه دو یا سه بار طغیان کرده و مقادیر فراوانی رسوب در کف بستر و اطراف آن برجای می‌ماند که پس از خشک‌شدن توسط باد حمل می‌شود؛ دشت‌سر اپانداژ در مشرق این مسیل که پوشش گیاهی اندکی بر روی آن مستقر شده و شوربودن خاک و پخشیدگی آن، شرایط را برای حمل توسط باد فراهم می‌کند نیز جزء منطقه برداشت است؛ بعلاوه در غرب مسیل مذکور دشت ریگی[۴] مشاهده می‌شود که هیچ‌گونه پوشش گیاهی ندارد و تنها برسطح آن پوشش سنگریزه‌ای، نقش

---

[۱] -Zhu Zhenda et al.

[۲] -Jabbour

[۳] - Chao

[۴] -Hammada

حفاظت از خاک را بر عهده دارد. در نقاط مختلف این دشت درصد پوشش سنگریزه‌ای متفاوت بوده و از ۳۰ تا ۹۰ درصد متغیر است، از این‌رو در طوفان‌های شدید مناطق با پوشش سنگریزه‌ای کمتر از ۵۰درصد، رسوبزا بوده و به عنوان منشا فرعی شناخته شده است. بر روی این اراضی، راه‌آهن بافق - بندرعباس و بافق - کرمان عبور می‌کنند. با توجه به قدمت بیشتر راه‌آهن بافق-کرمان، خصوصا درحاشیه غربی آن، تجمع رسوب‌های بیشتری به چشم می‌خورد که دربرخی نقاط به‌منظور جلوگیری از پوشیده‌شدن ریل از ماسه درحاشیه آن با کمک تراورس‌های فرسوده اقدام به احداث بادشکن‌های غیرزنده شده است. در سمت مشرق راه‌آهن نیز ارگ بزرگ واقع شده که بادهای شمال‌شرقی قادرند رسوب‌های تپه‌های ماسه‌ای را به سمت ریل حرکت دهند. بنابراین، این ریل از دو طرف تحت تاثیر ماسه‌های روان است. اما راه‌آهن بافق - بندرعباس که در غرب راه‌آهن بافق - کرمان واقع شده است، فقط از مغرب و جنوب غربی تهدید می‌شود و از سمت مشرق هیچ‌گونه مشکلی ندارد.

به‌منظور کنترل فرسایش در منطقه برداشت نیاز است که برخی مطالعات پایه انجام گیرد و محدودیت‌ها و استعدادهای آن شناسایی گردد. در این زمینه آب و هوای منطقه، پوشش گیاهی و وضعیت خاک و آب‌های زیرزمینی مورد بررسی قرارگرفت.

## نتایج

### آب و هوا

از آنجا که آب و هوا از عوامل محیطی مهم به‌شمار می‌رود، لازم است با دقت مورد بررسی قرار گیرد. در این زمینه از آمار بارندگی، دما و باد ایستگاه‌های کلیماتولوژی چغارت و سینوپتیک بافق که در محدوده منطقه مورد مطالعه قرار دارد، استفاده شد. شایان ذکر است که ایستگاه چغارت تا سال ۱۳۶۲ دایر بوده و از آن به بعد منحل شده است، ازاین‌رو برای بررسی از آمار سال‌های قبل از این سال استفاده شده است. ایستگاه سینوپتیک بافق نیز در سال ۱۳۷۱ تاسیس شده و آمار آن تا سال ۱۳۷۶ در دسترس است. از این آمار برای تجزیه و تحلیل بادهای منطقه استفاده شده است. در جدول ۱ ویژگی‌های بارندگی ایستگاه چغارت نشان داده شده است.

در این منطقه رژیم بارندگی، مدیترانه‌ای است و بارندگی در ماه‌های سرد سال اتفاق می‌افتد و حداکثر آن مربوط به دی‌ماه است که ۲۲ درصد بارندگی سال را شامل می‌شود و ماه‌های گرم سال، عمدتا خشک می‌باشند.

از جمله خصوصیات اکوسیستم‌های بیابانی ایران مرکزی، نوسانات شدید دما در طی شبانه‌روز و در طول سال است. ازاین‌رو دما یکی از عوامل محدودکننده اکولوژی در این مناطق محسوب می‌شود. از نظر رطوبتی نیز، نم نسبی از ۲۳/۴ درصد در تیرماه تا ۵۴/۱ درصد در دی‌ماه متغیر است و متوسط سالانه آن ۳۷/۱۳ درصد می‌باشد.

به‌منظور مطالعه بادهای منطقه از آمار ایستگاه سینوپتیک بافق استفاده شد که دارای پنج دیده‌بانی در روز است. جدول ۲ رژیم بادناکی هوا در طول سال را نشان می‌دهد. براساس این جدول بادهای غالب در ماه‌های گرم سال (اردیبهشت، خرداد و مرداد تا مهر) از شمال غرب و در ماه‌های سرد سال (آبان تا فروردین) از جنوب می‌وزد. متوسط سرعت بادهای غالب ۲/۴ متر بر ثانیه در دی‌ماه تا ۴/۸ متر بر ثانیه در تیرماه متغیر است و بادهای شدید معمولا !

**جدول ۱- برخی ویژگی‌های بارندگی در دو ایستگاه چغارت و قطرم (خلیلی، ۱۳۷۰)**

| نام ایستگاه | ارتفاع (متر) | کمینه بارندگی (mm) | بیشینه بارندگی (mm) | میانگین بارندگی (mm) | ضریب تغییرا (CV%) |
|---|---|---|---|---|---|
| چغارت | ۱۰۵۰ | ۲۳/۷ | ۹۵/٤ | ٥٦ | ۲۷/۱ |

سمت شمال غربی تا جنوب می‌وزد. در جدول ۳ شاخص‌های ترکیبی و عوامل مختلف اقلیمی برای ایستگاه چغارت نشان داده شده است.

براساس این جدول در اکثر موارد، اقلیم بیابانی و خشک تشخیص داده شده است.

**جدول ۲- رژیم بادناکی هوا در طول سال**

| ماه | درصد حالات | بادغالب | | | سرعت متوسط | سرعت‌وجهت شدیدترین باد |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | آرام | جهت | درصد | سرعت | ماهانه (m/s) | (m/s) |
| دی | ٦١/٧ | SE | ٢٠/٥ | ٢/٤ | ٣/٢ | ١٢SE |
| بهمن | ٥٠/٢ | SE | ١٩/٩ | ٤ | ٤ | ١٠SW |
| اسفند | ٥٠/٧ | SE | ١٦/٤ | ٣/٧ | ١/٤ | ١٦S |
| فروردین | ٤٧/٢ | SE | ١٤/٣ | ٣/٦ | ٣/٩ | ١٦W |
| اردیبهشت | ٥٥/٤ | NW | ١٦/١ | ٤ | ٣/٧ | ١٠WS,NW |
| خرداد | ٥١/٨ | NW | ١٧/٤ | ٤/٢ | ٤ | ٩N,NW |
| تیر | ٤٧/٥ | N | ١٧/٥ | ٤/٨ | ٤/٤ | ١٢NW |
| مرداد | ٥٢/٣ | NW | ١٥/٦ | ٤/٦ | ٤/٤ | ١٢N |
| شهریور | ٥٢/٧ | NW | ١٥/١ | ٤/٥ | ٣/٩ | ١٠N,NW |
| مهر | ٦٤/٦ | NW | ١١/٥ | ٤ | -٣/٩ | ١٠N |
| آبان | ٦٣/٣ | SE | ١٦/٣ | ٣/٤ | ٣/٦ | ١١S |
| آذر | ٧٠/٤ | SE | ١٧ | ١/٤ | ٤ | ٨S,SE,NW |
| سالانه | ٥٥/٧ | SE | ١١/٩ | ٣/٨ | - | ١٦W |

**جدول ۳- شاخص‌ها و پارامترهای اقلیمی**

| عامل اقلیمی | مقدار | ملاحظات |
|---|---|---|
| بارندگی سالانه (mm) | ٦٠ | - |
| میانگین حداکثر دما در گرمترین ماه سال (°C) | ٤٠/٤٤ | - |
| میانگین حداقل دما در سردترین ماه سال (°C) | ١/٩ | - |
| ضریب گزروترمیک کوپن | ٣٣١ | اقلیم بیابانی مدیترانه‌ای |
| شاخص خشکی دومارتن | ١/٩٢ | فراخشک معتدل |
| ضریب رطوبتی ترانسو | ٠/١٩ | اقلیم صحرایی (رطوبت بسیارکم) |
| ضریب آمبرژه | ٣/٦٨ | اقلیم بیابانی معتدل |

## وضعیت پوشش گیاهی

به‌منظور بررسی وضعیت پوشش گیاهی در منطقه، نقشه درصد تاج‌پوشش تهیه شد که مشخص گردید که پوشش گیاهی در اکثر موارد زیر ۱۰ درصد است و فقط در آبراهه‌های دشت‌سر لخت، درصد پوشش به بیش از ۱۵درصد می‌رسد. علاوه بر این برای مشخص‌شدن گونه‌های درختی و درختچه‌ای که به صورت بومی در منطقه وجود دارد و قادرند شرایط سخت محیطی را تحمل کنند، فهرست گیاهان بوته‌ای و درختچه‌ای منطقه تهیه شد.

گونه‌های منطقه عمدتا دارای فرم بوته‌ای و چندساله بوده و اغلب گونه‌های مقاوم به شوری و خشکی می‌باشند. گونه شاخص بوته‌ای در این منطقه رمس (تاغ ترات، *Hammada salicaornica*) بوده که گونه‌ای مقاوم به شوری و خشکی و گچ‌پسند است. علاوه بر گونه رمس گونه‌های دیگری نظیر اشنان (*Sidlitzia rosmarinus*) و طارون (*Cornulaca monocanta*) و شور (*Salsola tomentosa*) از جمله گونه‌های بومی و مهم منطقه محسوب می‌شوند.

**آب‌های زیرزمینی**

در منطقه منشا رسوب‌های بادی، براساس پستی و بلندی زمین، عمق آب متفاوت است، به‌طوری‌که هرچه از تپه‌های ماسه‌ای به طرف جنوب غربی پیش رویم، به‌علت شیب طبیعی منطقه، سطح سفره آب، عمق کمتری دارد. با توجه به عمق آب در مادر چاه قنوات موجود در منطقه و چاه‌های پیزومتری موجود، توسط عمق آب در منطقه منشا، حدود ۲۰-۲۵ متر است، ولی به‌علت خشکسالی‌های اخیر و کمبود بارش و همچنین برداشت بی‌رویه، سطح آب زیرزمینی درحال افت است.

**خاک**

به‌منظور بررسی محدودیت‌های موجود در خاک از سه منشا (منشا اصلی، منشا فرعی و بستر مسیل)، پروفیل‌هایی حفر و از هر افق یک نمونه برداشت شد که نتیجه آن در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه‌که مشاهده می‌شود، بافت خاک در بستر مسیل عمدتا سبک و در دو پروفیل دیگر متوسط و سنگین است. از نظر EC هرچه از مسیل فاصله می‌گیریم، بر میزان آن افزوده می‌شود، این افزایش در پروفیل ۳ که در تیپ دشت ریگی حفر شده و فاصله نسبتا زیادی از مسیل دارد، کاملا مشهود است، به نحوی‌که در این پروفیل مقدار EC به ۷۰ میلی‌موس برسانتی‌متر می‌رسد.

از نظر اسیدیته، خاک‌های این منطقه همگی دارای pH بالای ۷ بوده و قلیایی هستند. از نظر درصد کربنات کلسیم نیز همان‌گونه‌که پیداست، خاک‌های منطقه‌ای دارای درصد کربنات کلسیم بالایی می‌باشند و کمترین مقدار آن در پروفیل منشا اصلی به چشم می‌خورد که ۱۵/۲ است. علت بالابودن میزان آهک در خاک، وجود سنگ‌های آهکی فراوان در این منطقه است که پس از فرسوده شدن توسط آب حمل شده و در این منطقه رسوبگذاری می‌کنند. وضعیت فراوانی سدیم و مجموع کلسیم و منیزیم و همچنین SAR نیز شبیه EC است. به این ترتیب که با فاصله گرفتن از مسیل بر میزان این عوامل افزوده می‌شود و همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در پروفیل ۳ میزان این سه عامل از دو پروفیل دیگر بمراتب بیشتر است. در مورد گچ نیز افق سطحی پروفیل ۲ دارای بیشترین درصد است و در دو پروفیل ۲ و ۳ هرچه به عمق خاک اضافه می‌شود، بر میزان گچ نیز افزوده می‌گردد که علت آن حرکت گچ همراه با آب در اثر نیروی شعریه به سطح زمین است.

**طراحی بادشکن**

برای کنترل فرسایش، لازم است سرعت باد را تا حد سرعت آستانه فرسایش در منطقه کاهش داد، به این منظور بهترین راه ایجاد مانعی در مقابل باد است که به آن بادشکن گفته می‌شود. به‌طور کلی بادشکن‌ها به دو گروه زنده و غیرزنده تقسیم می‌شوند. انتخاب جنس بادشکن غیرزنده بستگی به موقعیت منطقه و مواد اولیه موجود در آن دارد. بادشکن‌های زنده معمولا شامل چند ردیف درخت، درختچه و بوته می‌باشند که در جهت عمود به باد کاشته می‌شوند. در این نوع بادشکن نوع گیاه براساس شرایط منطقه و ارتفاع موردنیاز انتخاب می‌شود.

جدول ۴- برخی از ویژگی‌های پروفیل‌های حفرشده

| شماره پروفیل | مسیل (۱) | | | | | منشا اصلی (۲) | | | منشا فرعی (۳) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۱-۱ | ۱-۲ | ۱-۳ | ۱-۴ | ۱-۵ | ۲-۱ | ۲-۲ | ۲-۳ | ۳-۱ | ۳-۲ | ۳-۳ |
| کدافق | ۷ | ۱۹/۸ | ۱۲ | ۳۷ | ۰ | ۱۱ | ۱۰ | ۵ | ۲ | ۰ | ۰ |
| درصد سنگریزه | Sandy | Sandy | Sandy | Sandy | Loam | Loamy sand | Sandy loam | Sandy clayloam | Sandy clayloam | Loam | Clay |
| بافت | ۰-۲۵ | ۰-۲۰ | ۰-۲۰ | ۰-۱۰ | ۰ | ۰-۲۰ | ۰-۵۰ | ۰ | ۰-۷۵ | ۰-۲۰ | ۰ |
| ضخامت افق (cm) | ۰/٤٥٦ | ۱/۲۲٦ | ۲/۲۲۸ | ۳/۰٤ | ۱٤/٤ | ۲۰/۱۲ | ۲۹/۳۵ | ۲۰/۱۱ | ۵۰/۰ | ۷۰/٦۵ | ٤۸/۸۲ |
| EC (ds/m) | ۸/۳ | ۷/۷ | ۸/۲ | ۸/۲ | ۷/۷ | ۷/۹ | ۸/۰ | ۸/۰ | ۷/۹ | ۷/۸ | ۷/۹ |
| pH | ۲۰ | ۲۲/۷۵ | ۳٦/۵۸ | ۲۹/۱٦ | ۱۹/۱٦ | ۲۱/۸۷ | ۲۰/۸۳ | ۱۷/۵ | ۱۷/۷ | ۱۵/۲ | ۱٦/۸۷ |
| درصد کربنات کلسیم | ۳/۲ | ۲/۵ | ۱٤/٦ | ۲۰/۷ | ۹۹/۱ | ۱۷۱/٤ | ۲۵۲/۷ | ۱۷۸/٦ | ٦۱٤/۳ | ۱۱۹۲/۸۵ | ۵۰۷/٤ |
| Na (meq/lit) | ۳ | ۱۱/۸ | ۵ | ٦/۲ | ٤/٤ | ٤۸/۸ | ٤٦/۲ | ۳٦/٦ | ٦۷/۸ | ۸٤/٤ | ۵۳/٦ |
| Mg+Ca (meq/lit) | ۲/٦۱ | ۱/۰۳ | ۹/۲۳ | ۱۱/۷۵ | ٦٦/۸ | ۲٤/۷ | ۵۲/۵۷ | ٤۱/۷۵ | ۱۰۵/۵ | ۳۰٦/۷۷ | ۹۸/۰۱ |
| SAR | ۰/۷۱ | ۰/٦۱ | ۰/۵۱ | ۰/۷۱ | ٤/۹۸ | ۱۰/۹۸ | ۵/٤ | ٤/۲۹ | ۵/۷٦ | ٤/٤۷ | ۲/۱۵ |
| درصدگچ | | | | | | | | | | | |

برای تعیین ردیف بادشکن‌ها نیاز به محاسبه سرعت آستانه فرسایش است، از این‌رو با فرمول زیر سرعت آستانه فرسایش محاسبه گردید:

$$U_t = A\sqrt{\frac{\sigma-\rho}{\rho}.d.g} \qquad (۱)$$

A = ضریبی ثابت است که برای ذرات بزرگتر از ۰/۱ میلی‌متر ۰/۱ درنظرگرفته می‌شود.

σ=وزن مخصوص حقیقی ذرات، ۲۰۰۰ کیلوگرم برمترمکعب اندازه‌گیری شد.

ρ= وزن مخصوص هوا، ۱/۳ کیلوگرم برمترمکعب اندازه‌گیری شد.

D= قطر ذرات به‌طور متوسط ۱۹۰ میکرون ($1/9\times10^{-4}$ m) به‌دست آمد.

پس می‌توان نوشت:

$$U_t = 0.1\sqrt{\frac{2000-1.3}{1.3}\times1.9\times10^{-4}\times9.8}$$

$$U_t = 0.17 m/s$$

این عدد سرعت آستانه فرسایش در سطح زمین است. از آنجا که نسبت سرعت آستانه فرسایش به سرعت ماکزیمم در منطقه باید در یک ارتفاع اندازه‌گیری شود و سرعت ماکزیمم باد در منطقه را ایستگاه سینوپتیک در ارتفاع ۱۰ متری ثبت می‌کند، از این‌رو باید سرعت آستانه فرسایش را در این ارتفاع به دست آورد. به این منظور می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$U_t = 5.75\times A\sqrt{\frac{\sigma-\rho}{\rho}.d.g}\ \ Log\frac{Z}{Z_0} \qquad (۲)$$

که در آن Z ارتفاع موردنظر (برحسب متر) و $Z_0$ زبری آیرودینامیک برحسب متر است. زبری آیرودینامیک را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$Z_0 = \frac{1}{30}d$ d قطر ذرات است.

$$Z_0 = \frac{1}{30}\times1.9\times10^{-4} \qquad Z_0 = 6.3\times10^{-6} \qquad (۳)$$

به این ترتیب سرعت آستانه فرسایش را می‌توان به‌صورت زیرمحاسبه کرد:

$$U_t = 5.75\times A\times\sqrt{\frac{\sigma-\rho}{\rho}.g.d}\ Log\frac{Z}{Z_0}$$

$$A = 0.1, g = 9.8\frac{m}{S^2}, d = 1.9\times10^{-4}, Z = 10,$$

$$Z_0 = 6.3\times10^{-6}, \sigma = 2000$$

$$U_t = 5.75\times0.1\sqrt{\frac{2000-1.3}{1.3}\times9.8\times1.9\times10^{-4}}\times$$

$$Log\frac{10}{6.3\times10^{-6}}$$

$$U_t = 5.75 \times 0.1 \sqrt{\frac{2000-1.3}{1.3} \times 9.8 \times 1.9 \times 10^{-4}} \times \text{Log}\frac{10}{6.3 \times 10^{-6}}$$

$U_t = 6.0$ m/s

این سرعت در مقایسه با سرعت اندازه‌گیری شده در الباجی اهواز توسط تله‌های رسوبگیر(۱۰) (۶/۴ متر برثانیه) و دشت یزد اردکان (۵) (۷ متربرثانیه) که به‌صورت عملی سرعت آستانه فرسایش اندازه‌گیری‌شده است، اختلاف چندانی ندارد.

سرعت ماکزیمم باد نیز در منطقه در ارتفاع ۱۰ متری، ۱۶ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شده است. به این ترتیب نسبت سرعت آستانه فرسایش به سرعت ماکزیمم باد $Vu = \frac{U_t}{V_M} = \frac{21.6}{57.6} = 0.37$ خواهد شد؛ به این معنی که اگر سرعت باد در این منطقه ۳۷ درصد کاهش یابد، سرعت باد به کمتر از ۶ متر بر ثانیه (سرعت آستانه فرسایش) می‌رسد.

## بحث و نتیجه‌گیری

به‌منظور کنترل فرسایش بادی لازم و ضروری است که سه مرحله برداشت، حمل و رسوبگذاری مورد بررسی قرارگیرد و بسته به شرایط هر بخش، راه‌حل مناسب ارائه شود. آنچه مسلم است در مرحله اول باید منطقه برداشت مورد توجه باشد تا کانون برداشت مهار گردد. در بین انواع روش‌ها، راه‌های کنترل بیولوژی بهترین روش و مطمئن‌ترین و کم‌هزینه‌ترین آنهاست و اگر در منطقه‌ای بتوان از روش‌های بیولوژی به‌منظور کنترل فرسایش بادی استفاده کرد، نباید به سراغ روش دیگری رفت. ولی اجرای روش بیولوژی مستلزم مناسب‌بودن شرایط اکولوژی منطقه است. با توجه به شرایط سخت اکولوژی منطقه مورد مطالعه، اجرای روش‌های صرفا بیولوژی غیرممکن است. از نظر هواشناسی بارندگی در این منطقه بسیار کم (متوسط بارندگی ۵۶ میلی‌متر در سال) و پراکنش آن بسیار نامنظم است. علاوه بر این با توجه به دمای بالای منطقه، تبخیر و تعرق بسیار زیاد است.

آب‌های زیرزمینی نیز در این منطقه دارای عمق متوسط ۲۰ متر بوده (۱۱) و مانند اکثر نقاط مرکزی ایران این منطقه نیز با کاهش سطح آب‌های زیرزمینی روبرو است که خود محدودیت بزرگی در اجرای طرح‌های وسیع بیابان‌زدایی به حساب می‌آید.

با توجه به جدول ۴، خاک منطقه شور و دارای املاح فراوان گچ و نمک است، به‌طوری‌که در غرب ریل راه‌آهن بافق - بندرعباس بر روی دشت ریگی هدایت الکتریکی در عمق حدود ۸۰ سانتی‌متر خاک، به ۷۰ میلی‌موس بر سانتی‌متر می‌رسد. بنابراین گونه‌های بسیار محدودی قابلیت رشد در این شرایط را دارند. با عنایت به موارد مذکور سعی شده تا با درنظرگرفتن شرایط اکولوژی و ادافیکی و با محوریت قراردادن حفاظت از ریل‌های راه‌آهن، تلفیقی از روش‌های مکانیکی و بیولوژی ارائه شود.

**طراحی بادشکن جهت حفاظت راه‌آهن**

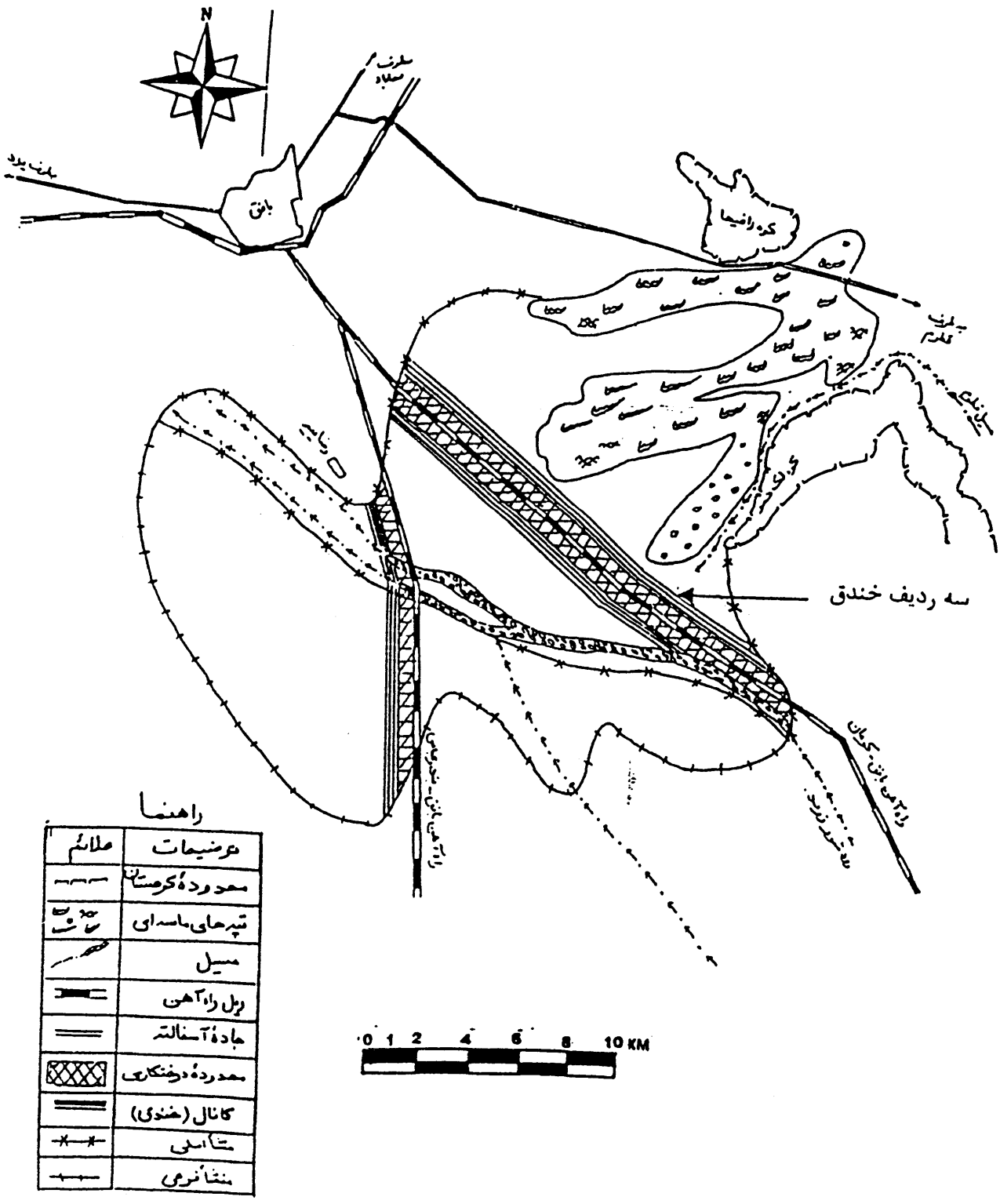
به‌منظور کنترل فرسایش بادی بر روی ریل‌ها، باید در حاشیه‌آنها اقدام به احداث بادشکن زنده‌کرد(شکل ۱). برای این منظور از گونه سفید تاغ[۱] و گونه بوته‌ای رمس (تاغ ترات)[۲] استفاده خواهد شد. علت انتخاب این دو گونه این است که گونه بوته‌ای رمس، بومی منطقه بوده و بخوبی با شرایط سخت اکولوژی آن سازگاری دارد و خاص اراضی گچی، سنگریزه‌ای است و می‌تواند در کنترل فرسایش بادی موثر باشد. تاغ نیز گونه‌ای است که در سال‌های گذشته در اراضی منطقه به همراه گونه گز کاشته شده و عملکرد خوبی داشته است.

به‌دلیل اینکه بادهای طوفان‌زا از جنوب غرب می‌وزند، ازاین‌رو جهت ردیف‌های بادشکن باید در جهت عمود با آن باشد. به این ترتیب راستای ردیف‌های بادشکن، شمال‌غربی - جنوب شرقی خواهد بود. ریل‌های راه‌آهن نیز دارای همین جهت است، بنابراین ردیف‌های کشت شده می‌تواند موازی با ریل‌ها باشد.

---

۱ - *Haloxilon persicum*

۲ - *Hammada salicornica*




شکل ۱- نمایی شماتیک از نحوه کنترل فرسایش بادی در حاشیه ریل

ارتفاع درخت‌های تاغ در منطقه پس از ۵ سال به حدود ۲ تا ۲/۵ متر می‌رسد، اما برای اینکه بادشکن تاثیر بیشتری داشته باشد و با اطمینان بیشتری فرسایش کنترل شود، این ارتفاع ۱/۷ متر در نظرگرفته شده و با استناد به همین، ارتفاع ردیف‌های بادشکن محاسبه شد.

همان‌گونه‌که قبلا ذکر شد، نسبت سرعت آستانه فرسایش به سرعت ماکزیمم منطقه معادل ۰۳۷ است. به این ترتیب درصد کاهش سرعت باد ۳۷ درصد است. حال با مراجعه به جدول ۵ که برای محاسبه فاصله ردیف‌های بادشکن غیرمتراکم تهیه شده، نتیجه می‌شود فاصله ردیف‌های بادشکن از یکدیگر باید ۱۲ برابر ارتفاع آنها باشد (۲).

**جدول ۵- تقلیل سرعت باد نسبت به ارتفاع بادشکن در جلو و پشت بادشکن (احمدی، ۱۳۷۷)**

| فاصله بر حسب ارتفاع بادشکن | ۱۶ | ۱۴ | ۱۲ | ۱۰ | ۸ | ۶ | ۴ | ۲ | ۱ | ۴ | ۶ | ۸ | ۱۰ | ۱۲ | ۱۴ | ۱۶ | ۲۰ | ۲۲ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| درصد کاهش سرعت باد | ۱۰۰ | ۸۸ | ۷۵ | ۶۵ | ۵۵ | ۴۷ | ۴۰ | ۱۶ | ۱۸ | ۲۰ | ۲۲ | ۲۴ | ۲۸ | ۳۶ | ۴۵ | ۷۸ | ۱۰۰ | |

با درنظرگرفتن اینکه گیاه تاغ پس از حدود ۵ سال به ۱/۷ متر می‌رسد، پس ردیف‌های بادشکن ۱/۷×۱۲=۲۰/۴ متر می‌باشد. به‌منظور افزایش اطمینان و کاهش درصد خطر این فاصله۱۵ متر درنظر گرفته می‌شود(شکل۱).

## نحوه کاشت

نحوه کاشت، به ترتیب زیر است:

۱-ردیف‌های کاشت که به فاصله ۱۵ متر و پنج ردیف می‌باشند، به عمق یک متری ریپر زده می‌شود.

۲-جمع‌آوری سخت لایه‌های بیرون‌آمده از داخل زمین پس از عملیات ریپر.

۳-کشت نهال‌های گلدانی رمس (تاغ ترات) و تاغ به صورت یک درمیان و به فاصله ۲/۵ متری.

۴-آبیاری نهال‌ها به فاصله ۱۵ روز یک بار در ماه‌های گرم سال و یک ماه در ماه‌های سرد سال.

به هنگام کاشت باید نکات زیرمدنظر قرارگیرد:

۱-ردیف‌های کاشت نباید با آبراهه‌ها تلاقی داشته باشد تا به هنگام وقوع سیلاب تخریب نشود.

۲-در سال‌های اول رشد از ورود شتر به منطقه کشت جلوگیری به‌عمل آید.

۳-عملیات احداث بادشکن برای ریل راه‌آهن بافق - کرمان (ریل شرقی) باید در دو طرف آن صورت گیرد، زیرا این ریل در نزدیکی ارگ قرار دارد و بادهای شمال‌شرقی قادرند ماسه‌ها را از ارگ به سمت ریل حرکت دهند، اما راه‌آهن بافق - بندرعباس تنها از مغرب و جنوب غربی تهدید می‌شود. بنابراین باید در مغرب آن بادشکن احداث شود.

در مجموع مساحت منطقه درختکاری‌شده، در حاشیه ریل بافق - کرمان ۳۳۰ هکتار و درحاشیه ریل بافق - بندرعباس ۱۴۰ هکتار خواهد بود.

## تله‌های رسوبگیر

مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که شرایط آب و هوایی و ادافیکی برای استفاده از پوشش گیاهی چندان مناسب نیست، بنابراین از خندق‌های طولی که به موازات ردیف‌های بادشکن زنده ایجاد می‌گردد، استفاده خواهد شد. بدین منظور در فاصله ۱۵ متری نوارهای بادشکن ۳ ردیف خندق به عمق دو متر و عرض یک متر ایجاد می‌شود (شکل ۲). پس از ایجاد تله‌های رسوبگیر برای حفاظت بهتر خطوط راه‌آهن و دوام بیشتر آن، باید نکات زیر مورد توجه قرار گیرد:

۱- از خاک برداشت‌شده از خندق پشته‌ای به ارتفاع ۱/۵ متر ایجاد خواهد شد.

۲- به‌منظور جلوگیری از تاثیر باد بر پشته خاکریز و محافظت آن در برابر بادبردگی و همچنین افزایش ارتفاع و کارایی آن در روی پشته خاکریز، بادشکن غیرزنده که از سرشاخه درختان گز (موجود در حومه بافق) یا از شاخه‌های درخت خرما و به ارتفاع ۱/۵ متر به‌طوری‌که ۰/۵ متر آن در داخل خاکریز محکم شده و یک متر آن به‌صورت بادشکن

عمل می‌کند، تراکم سرشاخه‌ها، باید حداقل ۵۰ درصد باشد.

۳-با احداث این بادشکن ارتفاع کل مانع ۲/۵ متر خواهد بود. این مانع از حرکت ماسه که در باد در ارتفاع ۲ متری می‌وزد، جلوگیری می‌کند. این ذرات قبل از برخورد به بادشکن داخل خندق (تله رسوبگیر) می‌ریزد. در صورت پرشدن هر خندق، خندق دیگری در فاصله ۱۵ متری (با توجه به سرعت آستانه فرسایش محاسبه شده است) احداث خواهد شد.

۴- خندق‌ها نباید آبراهه‌های اصلی را قطع کنند، چرا که آب باران وارد این خندق‌ها شده و آن را تخریب می‌کند.

همان‌گونه‌که گفته شد، در دو سوی راه‌آهن بافق - کرمان بادشکن احداث می‌شود، ازاین‌رو در دو طرف این بادشکن‌ها، یعنی در مشرق و مغرب ریل، خندق حفر خواهد شد. اما در مورد راه‌آهن بافق بندرعباس فقط در مغرب آن خندق ایجاد خواهد شد، زیرا این راه‌آهن از مشرق هیچ‌گونه مشکلی ندارد.

طول هر خندق حفرشده برای راه‌آهن بافق - کرمان ۱۶/۵ کیلومتر و طول هر خندق برای راه‌آهن بافق - بندرعباس ۷ کیلومتر است. شکل ۲ محدوده درختکاری و حفر خندق را نشان می‌دهد و نمای شماتیک از یک مقطع از درختکاری و خندق است.

**نهال‌کاری در حاشیه مسیل**

از آنجاکه مسیل رودخانه شور و آبراهه‌های فرعی آن مهمترین کانون تامین‌کننده ماسه‌اند، باید به نحوی کنترل شوند تا رسوبات کمتری به سمت بادشکن‌ها و ریل‌ها حرکت کند.

در حاشیه مسیل اصلی باید با سفیدتاغ درختکاری شود. به این منظور در دو ردیف طرفین مسیل هر طرف یک ردیف درخت کاشته می‌شود و فاصله درختان از هم ۲/۵ متر در نظر گرفته می‌شود. نحوه کاشت به همان طریقی است که در بخش‌های قبل شرح داده شد. نهال‌ها را باید در سال اول آبیاری و پس از آن از آب جاری‌شده بعد از هر باران در مسیل استفاده کرد.

**حفاظت از پوشش سنگفرشی موجود**

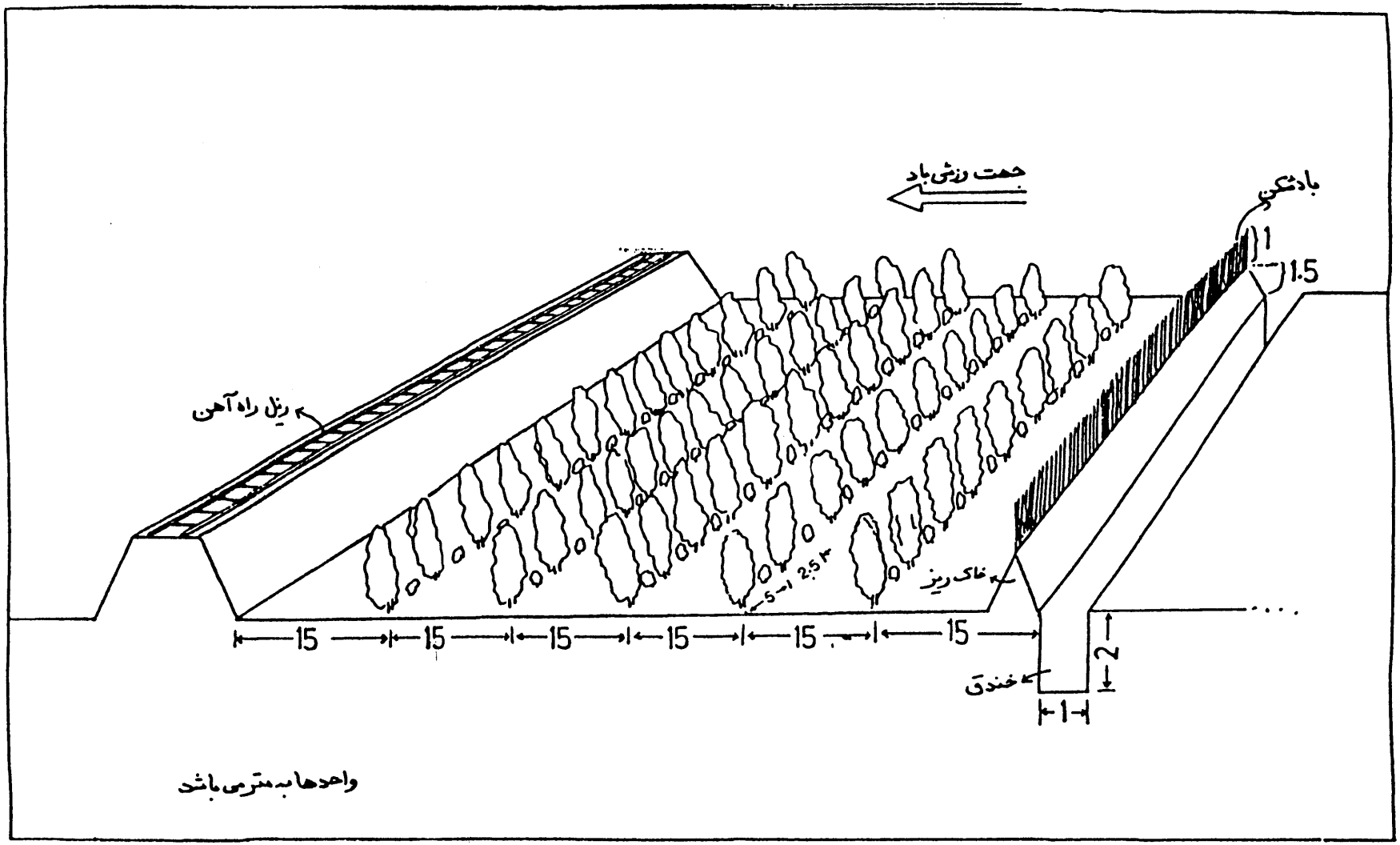
با توجه به آنچه گفته شد، مقدار زیادی از رسوب‌ها تثبیت شده و فقط سطوح بین آبراهه‌ها که پوشش گیاهی آن ناچیز است و از پوشش سنگریزه‌ای پوشیده شده است، باقی می‌ماند. این پوشش سنگریزه‌ای تا حدی از فرسایش بادی جلوگیری می‌کند، ولی کافی نیست. با توجه به تحقیق انجام‌شده در دشت یزد - اردکان (۲)، با پاشیدن مالچ سنگریزه‌ای با پوشش ۵۰ درصد می‌توان به میزان قابل توجهی از فرسایش بادی کاست، ازاین‌رو باید از پوشش سنگفرشی موجود محافظت کرد و از برهم زدن آن خودداری نمود و در مکان‌هایی از نقاط برداشت که پوشش سنگفرشی کمتر از ۴۵ درصد و فرسایش بادی نسبتا فعال است، اقدام به پاشیدن مالچ سنگریزه‌ای کرد، به نحوی که درصد پوشش بیش از ۵۰ درصد گردد.

**برآورد هزینه‌ها**

هزینه‌های اجرای طرح به‌صورت هزینه تیپ در واحد برای اجرای عملیات در جدول ۶ خلاصه شده است.

**جدول ۶- هزینه تیپ در واحد عملیات اجرایی**

| نوع عملیات | واحد | هزینه (ریال) |
|---|---|---|
| نهال‌کاری | هر هکتار | ۲۶۷ |
| ریپر | هر کیلومتر | ۳۰۰ |
| آبیاری و نگهداری | هر هکتار درسال | ۶۶۷۵۰ |
| حفر خندق | هرکیلومتر | ۱۵۰۰ |
| چپرکاری | هرکیلومتر | ۱۰۰۰ |
| مالچ سنگریزه‌ای | هرهکتار | ۳۰۰۰ |
| جمع کل هزینه در واحد عملیات | | ۶۱۳۳۷۵۰ |




شکل ۲- نمایی شماتیک از فواصل ردیف‌های درختکاری و ابعاد خندق و خاکریز

## منابع

۱-احمدی، حسن و فیروز نخجوانی، ۱۳۴۹. فرسایش بادی در خوزستان، مجله جنگلداری، انتشارات دانشکده جنگلداری، شماره ۲۳.

۲-احمدی، حسن، ۱۳۷۸. ژئومورفولوژی کاربردی (جلد دوم) بیابان - فرسایش بادی، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۳۹۶، ۵۷۰ صفحه.

۳- احمدی، حسن و محمدرضا اختصاصی، ۱۳۷۷. بررسی اثر مالچ سنگریزه‌ای در کاهش فرسایش بادی اراضی رسی (دقی) و غیرقابل کنترل بیولوژیک دشت یزد- اردکان، گزارش طرح پژوهشی مرکز تحقیقات مناطق کویری و بیابانی، منتشر نشده.

۴-احمد، حسن و همکاران، ۱۳۷۹. منشایابی تپه‌های ماسه‌ای جنوب بافق، مجله بیابان، شماره ۴.

۵- اختصاصی، محمدرضا، ۱۳۷۲. تهیه نقشه حساسیت به فرسایش بادی اراضی حوزه دشت یزد اردکان با کاربرد دستگاه سنجش فرسایش بادی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۶- اختصاصی، محمدرضا و همکاران، ۱۳۷۵. منشایابی تپه‌های ماسه‌ای دشت یزد اردکان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع. شماره ۴۵، ۲۶۰ صفحه.

۷- خلدبرین، علی، ۱۳۶۹. بررسی روش‌های گوناگون تثبیت ماسه‌های بادی در ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۸- خلیلی، علی، ۱۳۷۰. طرح جامع آب کشور، انتشارات وزارت نیرو.

۹- صادقی‌نژاد، ابراهیم، ۱۳۷۸. منشایابی تپه‌های ماسه‌ای در حوزه نرماشیر بم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۱۰-فیض‌نیا، سادات، ۱۳۷۰. رسوب‌شناسی کاربردی، جزوه درسی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۱۱-کاظمی‌نژاد، احمدعلی، ۱۳۷۱. بررسی وضعیت حرکت تپه‌های ماسه‌ای و مقایسه دو روش مالچ‌های نفتی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

12-Bagnold, R.A., F. R.S., 1973. The physics of blown sand and desert dunes. John Wiley & Sons Inc., NewYork.

13-Chao, S. C., 1985. Drifiting sand hazard and its controling northwest arid China. Sand transport & desertification in arid land. World Scientific, 438-449pp.

14-Jabbour, 1985. Technical study the fixation of sand dunes in Alkasra. Direlzor Syria, Sand transport & desertification in arid land. World Scientific.

15-Zhu Zhenda et al., 1985. The characterisitation of sand dune and its stabilization in China, Sand transport & desertification in arid land. World scientific.

# Control Methods of Wind Erosion for Railroads Protection (Case study: Bafgh Region)

H. Ahmadi [1] M.R. Ekhtessasi[2] S. Feiznia[3] M.J. Ghanei Bafghi[4]

**Abstract**

Southern areas of Bafgh are located in central arid areas of Iran, with little amounts of precipitation and vegetation cover. Blowing of strong wind over these bare areas causes wind erosion and destroyes soils texture, which result in rail roads damage specially Tehran-Bandar Abbas in southern Bafgh and also in damage to farmlands and neighboring villages. By accumulation of moving sands in southwest Bafgh, an erg of 37 $km^2$ areas was made. In order to control wind erosion in these areas, source of aeolian deposits were determined using stepwise determination method. Investigations showed that erosive wind blew from southwest and transported aeolian sands, depositing them on sand dune areas. Geomorphological studies and mineralogy showed that source of sand dunes were local and near them, including some part of pediment in southwest of erg, Zarand Shoor dry river, and wind erosion facies in these areas. Generally, the main source of aeolian deposits extended from sand dune areas to Zarand Shoor dry river, and secondary source sandy desert nearby.

**Keywords:** Erg, Wind break, Biological method

[1] - *Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran*
[2] - *Faculty member, Faculty of Natural Resources., University of Yazd*
[3] - *Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran*
[4] -*Senior Expert of Combating Desertification, Faculty of Natural Resources, University of Tehran*