

# معرفی روسازی نوین "دال خط کوهاندار" برای حل مشکل راه آهن مناطق کویری

جبارعلی ذاکری<sup>1</sup>، مرتضی اسماعیلی<sup>2</sup>، مسعود فتحعلی<sup>3</sup>

- 1- استادیار دانشکده مهندسی راه آهن؛ دانشگاه علم و صنعت ایران
- 2 - استادیار دانشکده مهندسی راه آهن؛ دانشگاه علم و صنعت ایران
- 3- کارشناس ارشد مهندسی خطوط راه آهن؛ دانشگاه علم و صنعت ایران

Zakeri@iust.ac.ir

(دریافت مقاله: آذر 1387، پذیرش مقاله: اردیبهشت 1389)

**چکیده** - حرکت ماسه‌های روان در مناطق کویری از جنبه‌های مختلف به‌ویژه صلب شدن لایه بالاست روسازی و مسدود شدن خط ریلی، باعث کاهش ایمنی حرکت، کاهش سرعت و در نتیجه افزایش تأخیر قطارها و نیز افزایش هزینه نگهداری و بهسازی خط می‌شود. برای مقابله با حرکت ماسه‌های روان از درون خطوط ریلی روشهای مختلفی ارائه شده که هر یک به شکلی به حل مشکلات کمک می‌کند؛ اما هیچ‌یک از روشهای موجود به‌طور کامل به حل مشکل نپرداخته است. در این مقاله، به معرفی روسازی جدیدی با نام "دال خط کوهاندار" می‌پردازیم که ضمن حذف لایه بالاست در روسازی به‌کمک خطوط بدون بالاست، مشکل صلیبیت لایه بالاست بر اثر حرکت ماسه‌های روان از خط را نیز حل می‌کند در این سیستم همچنین با ارتفاع‌دهی مناسب به ریلها توسط زائده‌های بتن آرمه موسوم به کوهان و ایجاد فضای عبور در هندسه روسازی، امکان عبور آزاد ماسه از خط فراهم شده است. برای نشان دادن کارایی سیستم دال خط پیشنهادی در عبور ماسه، شبیه‌سازی حرکت ماسه‌های روان از مقطع خط با بهره‌گیری از تحلیل سیستم‌های دو فازی و به‌کارگیری نرم افزار اجزای محدود انجام شده است.

**واژگان کلیدی:** ماسه روان، دال خط کوهاندار، صلیبیت بالاست، مسدودشدن، تحلیل دوفازی

## ۱ - مقدمه

بالای تعمیر و نگهداری خط و ناوگان و زیانهای ناشی از مسدودشدن و در نتیجه تأخیر در بهره‌برداری از حرکت قطارها به اثر حرکت ماسه‌های روان، خسارات هنگفتی را

برای تکمیل و بهبود شبکه‌های خطوط ریلی، عبور ریل از مناطق بیابانی اجتناب‌ناپذیر است. از سوی دیگر هزینه‌های

لیکن در میان همه روشهای عنوان شده، هیچ روشی به-طور کامل و از دیدگاه روسازی خط ریلی، به حل مشکلات موجود به-ویژه صلبیت لایه بالاست و مسدود شدن خط نپرداخته است. در این تحقیق نخست وضعیت راه آهن ایران در مناطق کویری با توجه به اسناد موجود و بازدیدهای انجام شده مطالعه شده است. همچنین با طبقه‌بندی مشکلات موجود، راهکارهای بکار گرفته شده نیز مطرح شده است. در ادامه با توجه به لزوم حذف بالاست در مناطق بیابانی، سیستم روسازی دال خط کوهاندار پیشنهاد شده است. با توجه به خصوصیات هندسی دال خط مورد نظر در ایجاد امکان عبور برای ماسه روان، با انجام مدل‌سازی عددی بانرم‌افزار فلوئنت، کارایی سیستم پیشنهادی در این زمینه بررسی و تأیید شده است.

## ۲- راه آهن ایران در مناطق کویری

بر پایه اطلاعات موجود، 35/2 درصد (573884 کیلومتر مربع) از مجموع 1629807 کیلومتر مربع پهنه خشکیهای کشور، متأثر از زیست اقلیم فرا خشک است. گسترده‌ترین بادرفتهای ماسه‌ای را می‌توان در دشت شرقی لوت دید که گستره‌ای بیش از 15000 کیلومتر مربع را می‌پوشاند و به آن دریای ریگ گفته می‌شود. مشکل اصلی در این گستره، حرکت ماسه‌ها به صورت روان و در نتیجه فرسایش شدید و تخریب خاک و نیز سازه‌های واقع شده در محل حرکت و عبور ماسه‌ها است [6]. طول خطوط راه آهن ماسه‌گیر کشور در حدود 428/5 کیلومتر (نزدیک به 5 درصد از کل خطوط ریلی ایران) است و حرکت ماسه‌های روان تهدید بزرگی برای بهره‌برداری از آن محسوب می‌شود. عبور خط راه آهن از حوزه‌های برداشت و رسوب‌گذاری ماسه، جزو حائزهای بحرانی محسوب شده و خط ریلی همواره در تهدید تجمع ماسه

ایجاد کرده است. این ضرورت توجه به شناخت مشکلات خطوط آهن در مناطق کویری و ارائه راهکارهای مناسب را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

کشورهایی مانند چین، آمریکا و هندوستان نیز درگیر مشکلات ماسه‌های روان در مناطق بیابانی هستند. در این کشورها تجربیات گسترده‌ای به لحاظ شناخت شرایط حاکم بر مناطق کویری و رفتار ماسه‌های روان و نیز راه-کارهای رویارویی با تأثیرات منفی مناطق بیابانی بر خط آهن به دست آمده است. تعدادی از تحقیقات در این زمینه عبارتند از: بررسی تأثیر بادشکن‌های طبیعی در کنترل بیابان در ایالت دآشین<sup>1</sup> [1]، فرسایش بادی و تثبیت ماسه-های روان در نین شیآ<sup>2</sup> [2] و بررسی تأثیر پوشش گیاهی و روشهای زیست‌محیطی بر فرسایش ناشی از ماسه و باد در تونل باد آزمایشگاه انجمن علمی و تحقیقات مهندسی دانشگاه چین در مناطق ماسه‌ای شاپوتو<sup>3</sup> در قسمت جنوبی بیابان تنگر<sup>4</sup> واقع در شمال چین [3]. از میان سایر راهکارهای انجام شده می‌توان به تجربیات گسترده کانال ایندیرا گاندی، روشهای تثبیت تپه‌های ماسه‌ای متحرک و نیز تحقیقات بخش جنگلداری ایالت راجستان با احداث کمربند حفاظتی جاده‌ها و راه آهن در هند اشاره کرد [4]. سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا (NRPA) نیز برای حفاظت از تپه‌های ماسه‌ای و ایجاد و نگهداری پوشش گیاهی، روشها و معیارهای مختلفی را ارائه کرده است [5]. روشهایی که تاکنون در ایران و در سطح بین‌المللی به‌کار گرفته شده، در دو طبقه اصلی سنتی و نوین تقسیم می‌شوند که از میان روشهای سنتی می‌توان به مالچ‌پاشی، نهال‌کاری و حفر خندق و از میان روشهای نوین به تثبیت بیولوژیک و استفاده از تراورسهای کوهاندار اشاره کرد.

1. Daxing
2. Ningxia
3. Shapotou
4. Tengger Desert

نواحی ماسه‌خیز با مشکل جدی روبرو است، به طوری که پیش از مرحله نهایی امکان بهره‌برداری از آن به زیر سوال رفته و به علت پوشش یافتن خط توسط ماسه‌های روان، مشکلاتی اساسی برای آن به وجود آمده است [8]. یکی از ایستگاه‌های واقع شده در این محور، ایستگاه شوره‌گز است که در کیلومتر 311+700 قرار دارد. این ایستگاه سه خط در محوطه دارد که به طور کامل توسط شنهای روان پوشیده شده است. تصویر (1) شرایط بسیار بحرانی حاکم بر این ایستگاه را نشان می‌دهد.



شکل (1) شرایط بحرانی و مسدود شدن خطوط در ایستگاه شوره‌گز در محور بم - زاهدان

### ۳- مشکلات خط آهن در مناطق کویری

خواص آب و هوایی و توپوگرافی بیابانهای ماسه‌ای، اساساً ساخت و استفاده از راه آهن را با مشکل روبه‌رو می‌سازد. در واقع خود توپوگرافی، متأثر از حرکت پیوسته ماسه‌ها بر اثر باد است و لذا در مرحله ساخت و نیز در دوران بهره‌برداری، مشکلات مختلف گریبان‌گیر بخش نگهداری و تعمیر خطوط و واگنها و لوکوموتیوهایی است که از مسیرهای ماسه‌های بیابانی می‌گذرند. ترکیبی از باد و ماسه، همراه با اندکی رطوبت هوا عامل ایجاد چنین مشکلاتی هستند. در ادامه مهمترین مشکلات سازه خط آهن (زیرسازی و روسازی) مرور شده است؛ این در

قرار دارند. از این رو توصیه می‌شود تا حد ممکن از ساخت راه آهن در این مناطق اجتناب شود. همچنین عبور خط آهن از دالان حرکتی ماسه‌های روان بین حوزه‌های برداشت و رسوب‌گذاری، دشوار است. جدول (1) مناطق ماسه‌گیر خطوط ریلی ایران را نشان می‌دهد [7].

جدول (1) مناطق ماسه‌گیر خطوط ریلی ایران

ردیف	نام ناحیه	طول منطقه ماسه‌گیر (کیلومتر)
1	جنوب شرق	223/5
2	خراسان	38
3	جنوب	11
4	هرمزگان	29
5	شمال شرق	17
6	شرق	85
7	تهران	5
8	اصفهان	20
		مجموع 428/5 کیلومتر

محور راه آهن بافق - مشهد که نقش به‌سزایی در جذب بارهای ترانزیت و توسعه اقتصادی ایفا می‌کند، در بخشی از کویر مرکزی ایران واقع شده است. این مسیر بحرانی‌ترین وضعیت را در میان خطوط راه آهن از نظر ماسه‌های روان داشته و حرکت قطارها را با مشکل روبرو کرده است. در این محور، فاصله ایستگاههای تل حمید (کیلومتر 573+504) و منتظر قائم (کیلومتر 558+294) به طول حدود 15 کیلومتر بسیار بحرانی است، به گونه‌ای که امکان تعویض سوزن از میان رفته و قطارها به ناچار چند بار توقف کرده و پس از پاک شدن دستی مسیر، به راه خود ادامه می‌دهند [8].

یکی دیگر از محورهای در حال ساخت، راه آهن بم - زاهدان است. این محور در محدوده شوره گز، به‌ویژه در فاصله کیلومتر 311+700 تا 323+200 به علت عبور از

محسوب می‌شود. مهمترین این خرابیها عبارتند از: به هم خوردن مرزبندی زیرسازی با محیط و خرابی تدریجی آن، مسدود شدن دهانه پل و آب‌روها و آبستگي آنها، انتقال ضربه به ابنیه فنی خط و تخریب آنها بر اثر صلبیت روسازی و فرسایش بستر خط. نمونه‌هایی از این خرابی‌ها در شکل‌های (3) و (4) نشان داده شده است.



شکل (3) تخریب پل و مسدود شدن دهانه (صلبیت روسازی)



شکل 4 کاهش مقاومت بستر و نفوذ پا در شانه زیرسازی

#### ۴- راهکارهای اساسی کاهش مشکلات راه

##### آهن در مناطق کویری

به‌طور کلی راه کارهای مقابله با مشکلات راه آهن در مناطق کویری به دسته‌های زیر تقسیم می‌شوند [10]:

##### 1-4- روش تثبیت بوم‌زیستی (بیولوژیکی)

یکی از روشهای کنترل فرسایش بادی، ایجاد پوشش گیاهی در سطح خاک است. شرط اصلی موفقیت این روش، انتخاب

حالیست که مشکلات ویژه‌ای نیز در سایر بخشها به‌ویژه در ناوگان و بهره‌برداری بر اثر حرکت ماسه‌های روان ایجاد می‌شود. [9].

##### 3-1- اثرهای مخرب ماسه بر روسازی

وجود ماسه و ریگ، بیش از هر چیز، تهدید بزرگی برای روسازی خط محسوب می‌شود. نمونه‌هایی از این خرابیها عبارتند از شکسته شدن و تخریب تراورسهای بتنی، فرسودگی زودرس تراورسهای فلزی و پوسیدگی سریع تراورسهای چوبی، فرسودگی زودرس ادوات اتصال، فرسودگی زودرس ریلها (خوردگی و زنگ‌زدگی)، لهیدگی و موج شدن سطح فوقانی ریل (پریدگی لبه‌های ایجاد شده ناشی از لهیدگی کلاهک ریل)، کاهش عرض خط ناشی از لهیده شدن کلاهک ریل و از بین رفتن شیب 1/20 نشیمنگاه ریل، از بین رفتن خاصیت فنری روسازی خط و ایجاد صلبیت ناشی از اشباع شدن فضای خالی بین دانه‌های بالاست با ماسه، مدفون شدن روسازی خط در ماسه، اختلال در عملکرد سوزن بر اثر تجمع ماسه، کماتش ریل و جابه‌جایی خط. در این میان مسدودی خط (شکل 1) و صلبیت مصالح بالاست (شکل 2)، مهمترین معضلات روسازی محسوب می‌شوند.



شکل 2 صلبیت لایه بالاست در محور اهواز - بندر امام

##### 3-2- اثرهای مخرب ماسه بر زیرسازی

وجود ماسه و ریگ تهدید بزرگی برای زیرسازی خط

نمی‌دهند؛ بلکه تنها باعث کاهش یا حذف مشکلات خطمی شوند. از مهمترین این راهکارها اجرای دال خط و نیز بهره‌گیری از تراورس‌های کوهان‌دار است.

همان‌طور که گفته شد ماسه‌روان با پر کردن خلل و فرج بالاست، باعث کاهش عملکرد ارتجاعی خط شده و صلیبیت آن را افزایش می‌دهد در نتیجه ضربه‌های ناشی از عبور قطار، علاوه بر مستهلک کردن زیرسازی و روسازی راه‌آهن، به بخشهای مشکل‌کننده ممکن شده و سبب کوتاه شدن عمر و در نتیجه افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری آنها می‌شوند. از این رو یکی از گزینه‌های پیشنهادی برای حل مشکل ماسه‌های روان، تبدیل خطوط بالاستی به دال خط است. مشکل اصلی دیگر، تجمع ماسه در داخل خط و بین تراورسها است. دلیل اصلی جمع شدن ماسه، نبود فضای مناسب برای عبور ماسه و محبوس شدن آن در بین تراورسها است. تراورس کوهان‌دار دارای دو نشیمنگاه ریل با ارتفاعی بالاتر بوده و باعث قرارگیری ریل در ارتفاع 15 تا 20 سانتیمتر بالاتر از سطح تراورس و ایجاد فضای خالی بین تراورس و ریل میشود؛ به بیان دیگر با توجه به اختلاف تراز ریل و تراورس کوهان‌دار، ریل در سطح بالاتری قرار گرفته و عبور ماسه‌های روان از فضای زیر آن مانند سیال امکان‌پذیر می‌شود [11] (شکل 5).



شکل (5) تراورس کوهان‌دار

گیاهی مقاوم به محیط است تا به سرعت با محیط سازگار شوند. کاشت گونه‌هایی که در شرایط اقلیمی سخت مقاوم بوده و در محیطهای شور به خوبی رشد کند، علاوه بر اینکه از شوری خاک می‌کاهد، باعث ایجاد محیطی مناسب برای رشد سایر گیاهان می‌شود. روشهای مؤثر برای این منظور عبارتند از: ایجاد حصار بوم‌زیستی و پوشش گیاهی دو طرف خط، بذر پاشی، نهال‌کاری (نهال و قلمه)، قرق کردن و اجرای پوسته‌زیستی<sup>1</sup>.

#### 4-2- روش تثبیت فیزیکی و مکانیکی

یکی دیگر از راهکارهای مقابله با ماسه‌های روان، تثبیت فیزیکی و مکانیکی به روشهای مختلف است. از میان مهمترین این روشها می‌توان به ساخت خندق و خاکریز، ساخت خندق - خاکریز - خندق، ایجاد پوششهای قلوه‌سنگی، شن رسی یا نخاله‌ای برای پایداری، تثبیت و فشرده‌سازی ماسه اشاره کرد.

#### 4-3- روش تثبیت شیمیایی

راهکار دیگر تثبیت ماسه، استفاده از روشهای شیمیایی است که با مالچ پاشی انجام می‌شود. مالچ‌پاشی یکی از روشهای موقتی برای کنترل فرسایش خاک و تثبیت ماسه‌های روان است. مالچ به‌عنوان نوعی پوشش نقش حفاظت خاکهای سطحی را بر عهده دارد و ممکن است از جنس علف خشک، تراشه‌های چوب، حصیر و کنف، پلاستیک (مانند لایه‌های ژئوسینتتیک)، کاغذ، کتان، قلوه سنگ، مواد آلی، مواد نفتی و خاکهای چسبنده انتخاب شود.

#### 4-4- روشهای نوین

روشهای نوین اساساً کاری برای تثبیت ماسه انجام

1. Biological Soil Crust

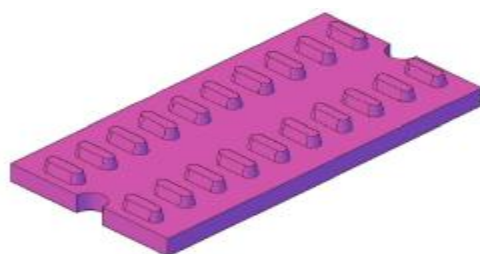
## 5- پیشنهاد روسازی دال کوهاندار برای

### حل مشکل مناطق کویری

پس از بررسی روشهای به کار رفته برای کاهش مشکلات مناطق کویری - به ویژه دو مشکل اساسی صلبیت بالاست و مسدود شدن خط - در اینجا برای اولین بار سیستم ترکیبی از خطوط بدون بالاست و تراورسهای کوهاندار با نام دال خط کوهاندار معرفی می شود [12]. در ادامه ضمن معرفی بیشتر این روش روسازی، روند ارزیابی رفتار آن در عبور ماسه روان، به کمک روشی عددی با بکارگیری نرم افزار فلوئنت، تشریح می شود.

### 5-1- معرفی روسازی دال کوهاندار

دال کوهاندار سیستم روسازی ویژه ای است که از ترکیب ویژگیهای روسازی های بدون بالاست و نیز تراورسهای کوهاندار به عنوان روشی برای عبور ماسه های روان از درون مقطع خط، برای حل مشکل اساسی ریل در مناطق کویری ارائه شده است. در این روش با ارتفاع دهی لازم به ریل و ایجاد فضای خالی در زیر آن، کانالهایی برای حرکت ماسه از روی دال و زیر ریل فراهم می شود. شکل (6) طرح سه بعدی این روسازی را نمایش می دهد. برای جبران الاستیسیته در این روسازی از روشهای رایج موجود در سیستمهای بدون بالاست معمولی نظیر بهره گیری از لایه های مختلف ارتجاعی در زیر دال (فرش لاستیکی) بهره گرفته می شود. همچنین مشخصات سایر مصالح روسازی نظیر پابند و ریل با توجه به شرایط بهره برداری و پارامترهای طراحی خطوط بین شهری کشور تفاوتی نخواهند داشت.



شکل (6) نمای شماتیک سه بعدی دال کوهاندار

لازم به ذکر است که سطح مقطع بالای کوهان با توجه به طرح ارائه شده و کنترل های سازه ای مربوطه بیشتر از سطح پایینی پاشنه ریل می باشد. همچنین در این سیستم مشابه تراورسهای بتنی، نشیمنگاه مناسب ریل در سطح کوهان قابل دستیابی بوده که به قرارگیری صحیح ریل و اعمال شیب مناسب 1:40 می انجامد. استفاده از زینچه نیز در شرایط خاص نظیر بهره گیری از پابندهای ارتجاعی ویژه در این سیستم امکان پذیر است. ابعاد کوهان نیز به صورت مخروط ناقص بوده که بصورت بهینه بتواند جریان ماسه رسیده به مقطع روسازی را از خود عبور دهد. در مورد بلندی کوهان، با توجه به ارتفاع اجرایی ممکن بر مبنای طرح سازه ای، مقطع مربوطه نتیجه شده که بر مبنای آن شدت بحرانی دبی های قابل عبور از مقطع قابل بررسی خواهد بود.

### 5-2- معادلات حاکم بر جریانهای دوفاز

بسیاری از جریانهای موجود در طبیعت و در صنایع، ترکیبی از فازهای مختلف است. در جریانهای چند فازی، فاز دسته ای خاص از مواد گفته می شود که نوعی برهم کنش غیر فعال یا فعال با میدانهای جریان پیرامون دارد. به عنوان مثال هر کدام از ذرات متفاوت جامد با ابعاد متفاوت ممکن است مشابه یک فاز متفاوت عمل کنند؛ زیرا پاسخ یکسان ذراتی با اندازه یکسان به هر میدان جریان، مشخص است.

اولین مرحله در حل مسائل جریانهای چند فازی تعیین

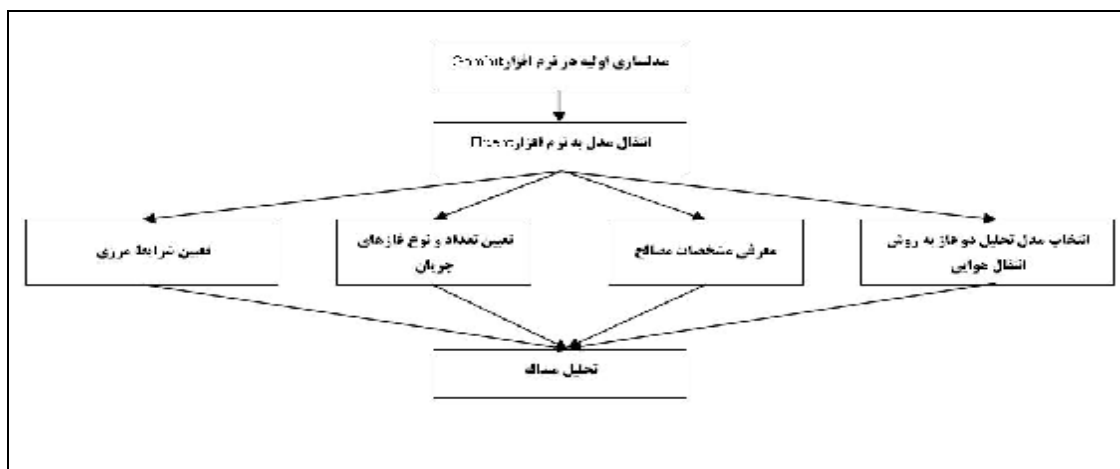
بوده و مجموع آنها برابر واحد می باشد. معادلات بقا برای هر یک از فازها استخراج می شود تا در نهایت مجموعه ای از معادلات برای مدل سازی جریان به دست آید که برای فازهای مختلف جریان مشابه است.

### 5-3- کاربرد نرم افزار اجزای محدود فلوننت

#### در تحلیل حرکت ماسه های روان

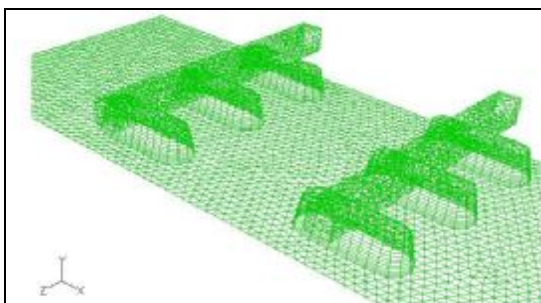
مدل سازی عبور ماسه های روان، شامل شبیه سازی بسیار پیچیده ای است که در آن ذرات ماسه به صورت دانه ای و به عنوان فاز جامد با وزش باد به عنوان فاز گازی در قالب محیطی دو فازه مدل سازی می شود. بررسی های انجام شده در تحقیق حاضر به منظور جمع آوری اطلاعات مرتبط با مدل سازی های مشابه نشان دهنده آن است که بیشتر کارهای ارائه شده در این زمینه با شرایط حاکم بر مسأله دال خط کوهان دار متفاوت بوده است.

رژیم جریان، نحوه برهم کنش فازهای مختلف یکدیگر و درجه بهم پیوستگی فازهای میانی و در نهایت انتخاب مدل مناسب در برگزیده بهترین شرایط مورد بررسی است. برای حل جریان انتقال ماسه های روان توسط هوا به عنوان جریانی که در آن انتقال یک فاز از طریق فاز دیگر صورت می گیرد، استفاده از روش انتقال هوایی<sup>1</sup> مناسب است. که برای دستیابی به این هدف در صورت یکنواخت بودن جریان سیال در حال انتقال از روش اولر- اولر و مدل مخلوط استفاده می شود و در مورد جریان هایی که فاز دوم غیر یکنواخت و به صورت دانه بندی شده است (مانند دانه های ماسه) از روش اولر-اولر و حالت اولری استفاده می شود. روش یاد شده در تحقیق حاضر استفاده شده است. از آنجا که در این نوع مدل سازی حجم یک فاز توسط فاز دیگر اشغال نمی شود، مفهوم کسر حجم فازی<sup>2</sup> در این مدل سازی تعریف می شود. در عمل فرض می شود که این کسر حجمی، تابعی از زمان و مکان



شکل 7 الگوریتم تحلیل حرکت ماسه های روان از مقطع روسازی دال خط کوهاندار

- 1 . Pneumatic Transport
- 2 . Phasic Volume Fraction



شکل 8 مدل سه بعدی دال کوهاندار در گمبیت

پس از ساخت مدل در محیط گمبیت، این مدل به نرم افزار فلونت انتقال داده شده و با استفاده از ابزار بررسی شده از درستی انتقال هندسه ساخته شده اطمینان پیدا می-کنیم. سپس شرایط حل مسئله تعریف می شود. مسئله مورد بررسی در این شبیه سازی شرایطی به صورت جدول (2) دارد. همان طور که در جدول مذکور مشخص شده، روش گسسته سازی معادلات از مرتبه یک بوده و حل کلی نیز به صورت ضمنی انجام می شود.

جدول 2 شرایط حل مسئله در نرم افزار فلونت

<b>Solver</b>	Segregated
<b>Space</b>	3D
<b>Time</b>	Unsteady
<b>Velocity Formulation</b>	Absolute
<b>Unsteady Formulation</b>	1 <sup>st</sup> -Order Implicit

### 5-3-2- مشخصات مصالح

گام بعدی تعیین مصالح استفاده شده در حل جریان دو فازی است که در اینجا با توجه به نوع مسئله، فقط شامل دو فاز مختلف هوا و ذرات ماسه است. در این مساله برای تعیین

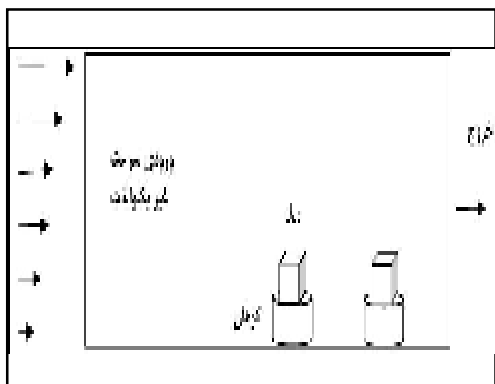
با توجه به توانایی های نرم افزار اجزای محدود فلونت در تحلیل دینامیکی حرکت سیال ها و با توجه به ماهیت دینامیکی حرکت ذرات ماسه بر اثر وزش باد در مناطق بیابانی در این تحقیق با در نظر گرفتن شرایط مرزی حاکم بر مسئله از دیدگاه میزان ماسه قابل حمل توسط باد و سرعت وزش و از طرف دیگر شرایط مرزی حاکم بر سیستم دال خط کوهاندار، تحلیل دینامیکی مربوطه انجام شده است. برای دستیابی به مدل نهایی مورد تأیید و بهینه، بیش از 20 مدل سازی با شرایط مختلف اجرا شد و در نهایت مدل سه بعدی بهینه با داشتن شرایط بحرانی حاکم بر مناطق کویری کشور به دلیل سرعت باد و ویژگی های ماسه های روان و سرعت غیریکنواخت باد شبیه سازی شد. الگوریتم حل مسئله حرکت ماسه های روان از مقطع دال خط کوهاندار مطابق شکل (7) بوده که در ادامه تشریح شده است.

### 5-3-1- انتخاب مدل برای حل مساله

اولین مرحله در حل مساله، ساختن مدل مناسب در نرم-افزار گمبیت است. در این نرم افزار مانند سایر نرم افزارهای مدل سازی با استفاده از ابزار موجود مدل مورد بررسی ساخته شده و سپس بر اساس نوع مسئله مورد نظر با استفاده از مش مناسب عملیات مش بندی انجام می شود. در پایان با استفاده از ابزار موجود نرم افزار، نوع مرزهای مختلف (برای مثال از نظر تعیین ورودی یا خروجی بودن، سرعت ثابت یا دبی ثابت بودن و مانند آن) تعیین می شود. مدل ساخته شده در شکل (8) ارائه شده است. عرض مدل سازی اتمام شده با توجه به شرایط مسئله و بامدل سازی سه کوهان، برابر  $1/8$  متر در نظر گرفته شده است.



به تعریف تابعی برای تعیین پروفیل وزش باد نیاز است (شکل 9). پروفیل وزش باد در اینجا به گونه‌ای است که بر روی سطح سرعت آن برابر صفر است و با افزایش ارتفاع سرعت افزایش می‌یابد تا به مقدار واقعی آن در منطقه مورد شبیه‌سازی برسد که تقریباً برابر 15 متر بر ثانیه است. برای تعریف تابع سرعت در این شبیه‌سازی از برنامه‌نویسی به زبان C استفاده شده است. پس از نوشتن برنامه مورد نیاز باید در نرم‌افزار فلونت کامپایل شود.



شکل 9 تعیین شرایط مرزی مدل

#### 5-4- تحلیل عملکرد دال خط کوهان‌دار در برابر حملات ماسه‌های روان

استراتژی حاکم بر حل مسأله در این مرحله، پس از مدل‌سازی شرایط مختلف حرکت ماسه (شامل در نظر گرفتن تپه ماسه یا حرکت ماسه‌ها به صورت پیوسته با دبی‌های مختلف)، حالت عبور پایدار ماسه انتخاب شده و در طی آن، دبی بحرانی برای مقطع سه‌بعدی مدل مورد نظر با توجه به شرایط حاکم بر مسأله - به‌ویژه شرایط مرزی ورود ماسه و نیز مقطع عبوری خط - تعیین شد. مطابق رابطه اندرکنش باد و خاک می‌توان میزان یا سرعت پیشروی توده-ای ماسه‌ای را که بر اثر وزش باد با دبی مشخصی در حال

خواص فاز ماسه، مجبور به تعریف ماده‌ای به عنوان ماسه می‌پردازیم. برای تعریف فاز مذکور در بخش تعریف ماده، نام فاز مذکور به همراه چگالی و ویسکوزیته تعریف می‌شود. مقدار هر یک از این ویژگیها بر اساس مراجع موجود انتخاب شده است. چگالی فاز ماسه برابر 2500 کیلوگرم بر متر مکعب و مقدار ویسکوزیته برابر 0,001003 کیلوگرم بر متر-ثانیه در نظر گرفته شده است.

#### 5-3-3- تعیین تعداد و نوع فازهای جریان

در مرحله بعدی، فازهای مختلف موجود در مسأله تعریف می‌شود. این فازها عبارتند از فازهای هوا و ماسه به‌عنوان فازهای اولیه و ثانویه. در عمل تعریف فاز ثانویه ماسه شامل تعریف معادلات حاکم و تعدادی از خواص فاز مورد بررسی از جمله دانه بندی و قطر ذرات، ضریب فشردگی فاز جامد است. اولین مورد در تعیین خواص فاز دوم، مشخص کردن نوع دانه‌بندی فاز است که در این مسأله به‌علت مدل‌سازی ماسه‌های روان از فاز دانه دانه استفاده شده است. با توجه به اطلاعات موجود از نواحی بحرانی ایران که با مشکلات ناشی از انسداد خط بر اثر حرکت ماسه‌های روان روبرو هستند، قطر متوسط ذرات ماسه برابر 0,0005 متر در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به نحوه حرکت جریان توده ماسه، میزان ضریب فشردگی برابر 1 در نظر گرفته شده است. پس از تعریف فازهای مختلف، نحوه برهم کنش دو فاز بر یکدیگر به‌صورت کامل با تعیین معادلات حاکم بر نحوه برهم کنش دو فاز تعیین می‌شود.

#### 5-3-4- شرایط مرزی

گام بعد در حل مسأله تعیین شرایط مرزی است. این مسأله با توجه به در بر گرفتن جریان هوا به‌صورت باد و وزش آن بر روی سطح - که موجب حرکت شن‌های روان می‌شود -

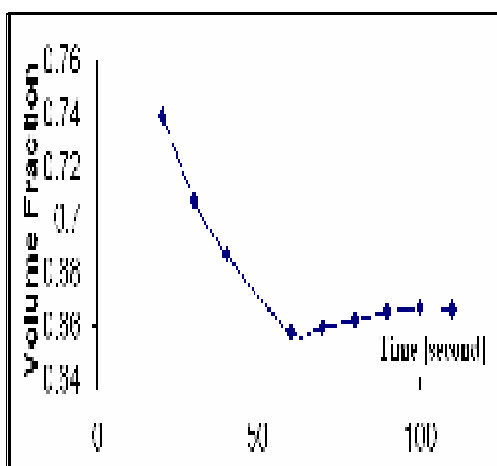
حرکت است، از رابطه زیر بدست آورد:

$$V = \frac{Q}{Hg} \quad (1)$$

که در آن  $V$  سرعت پیشروی بر حسب متر بر ثانیه،  $Q$  دبی در واحد عرض بر حسب کیلوگرم بر ثانیه،  $H$  ارتفاع بر حسب متر و  $g$  وزن مخصوص توده ماسه بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب است. این رابطه به عنوان رابطه حاکم بر اندرکنش باد و خاک در تحلیل‌ها به کار گرفته شده است.

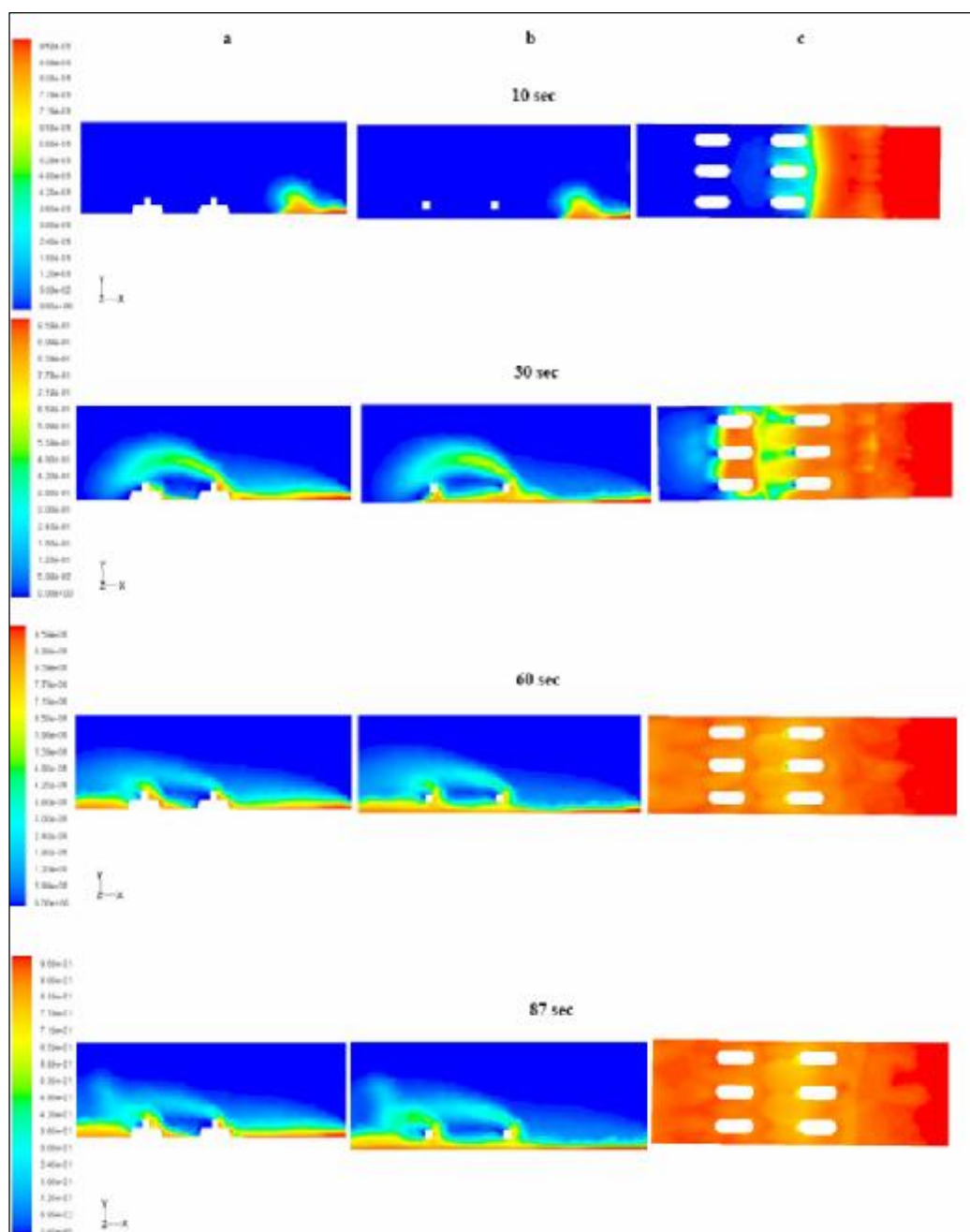
برای نشان دادن مسدود شدن خط بر اثر عبور ماسه، به تعریف معیار مسدود شدن نیاز است. با رسیدن به این معیار، شرایط مسدود شدن برای خط رخ می‌دهد. معیار انتخاب شده در اینجا، نسبت حجمی حدود 0/75 برای نقطه روی ریل در نظر گرفته شد. بسته به دقت مورد نیاز گام‌های زمانی در محدوده 0/05 تا 0/5 ثانیه تغییر داده شد. بر مبنای نتایج تحلیل مشخص شد که دبی بحرانی تحلیل دارای ضخامت 8 سانتیمتر (مساحت ورود ماسه برابر 180\*8 سانتیمتر) است. نسبت حجمی بیشینه به دست آمده در این حالت، به حدود 0/65 می‌رسد. رفتار این نسبت در برابر زمان در شکل (10) نشان داده شده است. نتایج تحلیل مطابق شکل (11) نشان می‌دهد که هیچ‌گونه مسدودشدنی وجود نداشته و خط تا سطوح بالایی قابلیت عبور ماسه را از مقطع خود دارد. همچنین رفتار حرکتی ماسه از نگاه بالا (پلان خط) نیز در این شکل نشان داده شده است. لازم است ذکر شود که به-

علت تحلیل پیچیده حاکم بر مدل و جلوگیری از افزایش زمان بسیار زیاد تحلیل، دبی‌های عبوری بسیار بالا در نظر گرفته شده که نتیجه آن مسدود شدن خط در زمان‌های کم است. به بیان دیگر به جای افزایش زمان تحلیل با دبی‌های کوچک، بابه کاربردن دبی‌های بالا نظیر ضخامت 8 سانتیمتری ماسه، زمان تحلیل کاهش یافته است.



شکل 10 نسبت حجمی به زمان برای دبی با ارتفاع 8 سانتی‌متر

با توجه به آنکه بیشینه دبی در ایران - با توجه به اطلاعات کسب شده - بسیار کمتر از دبی مدل‌سازی و تحلیل ما است، دال خط کوهاندار قابلیت عبور ماسه را دارد.



شکل 11 تحلیل عبور ماسه‌های روان از مقطع دال خط کوهاندار  
(الف: مقطع کوهان، ب "مقطع ریل، ج، پلان خط)

## 6- جمع بندی و نتیجه گیری

Forestry University. Beijing. P.R.China.

- [2] Zhu Zhenda, Liu Shu. 1988. "Desertification processes and their control in northern China". Chinese Journal of Arid Land Research 1(1), 27-36.
- [3] Xiao-Yan Li, Jia-Hua Wang. 2001. "Wind tunnel simulation experiment on the erodibility of the fixed aeolian sandy soil by wind". Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute. Chinese Academy of Sciences, Lanzhou.
- [4] Anurag sharma, "Problems in Maintenance of Railway Tracks in Deserts and Possible solutions", UIC Seminar about Desert Railways, Tehran, Iran, 2008.
- [5] Belly, P. Y.. 1964. "Sand movement by wind. United States Army Corps of Engineers", Coastal Engineering Research Center, Technical Memorandum I: 38p.

[6] خلیلی، علی: اقالیم خشک و فراخشک ایران، مجموعه مقالات سمینار بررسی مسائل مناطق بیابانی و کویری ایران، یزد، 1371.

[7] اطلاعات اداره کل خط و ابنیه فنی راه آهن، آمار مناطق کویری، 1385.

[8] فتحعلی مسعود، گزارش بازدید از مناطق کویری، محور بافق - مشهد، محور اهواز-بندر امام، محور بم - زاهدان، شرکت مهندسی مشاور مترا، 1385.

[9] علی محمدیان، اسماعیل دوستزاده، علیرضا سرکرده‌ای، نگهداری خطوط راه‌آهن در مقابل هجوم شنهای روان، گروه نظارت از اداره کل راه‌آهن شمالشرق منطقه شاهرود، 1384.

[10] فرقانی مریم، بررسی مشکلات راه آهن در مناطق کویری، پایاننامه کارشناسی، مهندسی خطوط راه آهن،

در این تحقیق پس از طبقه‌بندی مشکلات و شناخت وضعیت خطوط راه آهن ایران در مناطق کویری و نیز بررسی راهکارهای اساسی برای کاهش مشکلات در این مناطق، به معرفی سیستم نوین دال خط کوهاندار و ارائه بررسی فنی آن از طریق شبیه‌سازی حرکت ماسه‌های روان - به‌منظور اثبات کارایی فنی سیستم - پرداخته شد. در این سیستم روسازی، روش اصلاحی ارائه شد که در آن به‌کمک حذف لایه بالاست با بهره‌گیری از خطوط بدون بالاست، مشکل صلیبیت لایه بالاست با نفوذ ماسه‌های روان به داخل لایه حل شد و در عین حال با ارتفاع‌دهی مناسب به ریل‌ها و ایجاد فضایی برای عبور ماسه در هندسه روسازی، حرکت ماسه‌های روان نظیر نوعی سیال از زیرخط آهن ممکن شد. کارایی هندسه اولیه پیشنهادی با تحلیل حرکت ماسه‌های روان از مقطع خط با بهره‌گیری از تحلیل سیستم‌های دوفازی در نرم‌افزار فلونتت تأیید شد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی عبور ماسه در شرایط پایدار، حداکثر دبی قابل عبور از مقطع روسازی دال کوهاندار با ضخامت 8 سانتیمتر تعیین شد که بسیار کمتر از بیشینه دبی موجود در ایران است. از این رو، استفاده از این روسازی، حل مشکل را به‌طور کامل امکان پذیر کرده است. لازم به ذکر است که در گام بعد انجام مطالعات، نیاز به اجرایی کردن مدل ارائه شده به صورت نمونه در یکی از مناطق کویری کشور و کالیبراسیون مدل تئوری توسط ارزیابی‌های میدانی می باشد که این موضوع در دستور کار تیم تحقیق قرار داشته و نتایج آن در آینده ارائه خواهد شد.

## 6- منابع

- [1] Sun Baoping. 1995. "Effects of Desert Control Project Based on Windbreak Systems in Daxing County, Beijing, China", College of Soil & Water Conservation, Beijing

- [12] فتحعلی مسعود، ارائه و تحلیل سیستم دال خط کوهاندار جهت رفع معضل راه آهن در مناطق کویری، پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی خطوط راه آهن، دانشگاه علم و صنعت، 1387
- [11] ذاکری جبارعلی، فتحعلی مسعود، پیشنهاد سیستمهای اصلاحی تراورسهای کوهاندار جهت رفع معضل مناطق کویری، شرکت مهندسین مشاور مترا، 1386.