

مدلسازی جریان دوبعدی و رسوب وارده به بندسارها بر روی مخروط افکنه توسط نرم افزار MIKE۲۱

یوسف طاهری^۱، محمدرضا جعفرزاده^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب و سازه های هیدرولیکی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه مهندسی عمران، پژوهشکده آب و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

yusef.taheri@mail.um.ac.ir

خلاصه

روش های استحصال آب در مناطق مختلف به شرایط اقلیمی، میزان بارش، توپوگرافی و غیره بستگی دارد. در بعضی مناطق خشک و نیمه خشک با احداث بندسار سیلاب جاری بر پهنه مخروط افکنه جمع آوری میشود. بندسار سازه ای است که می تواند بخشی از سیلاب و یا تمام آن را در خود نگهداری کند. در این تحقیق مدل دوبعدی هیدرودینامیک و انتقال رسوب نرم افزار مایک ۲۱ بر روی مخروط افکنه ای شامل بندسار و خشک رود اصلی در منطقه خضری واقع در خراسان جنوبی ارائه شده است. در این مدل، شرایط غالب جریان و بار رسوبی از خروجی حوضه آبریز به جهت تعیین نواحی سیلگیری مطالعه میشود و نقش بندسار در پخش سیلاب و رسوبگذاری بررسی می گردد و نقاط مستعد شکست تعیین میشود.

کلمات کلیدی: مایک ۲۱، مخروط افکنه، بندسار، هیدرودینامیک، انتقال رسوب

۱. مقدمه

از ویژگی های سرزمین های دارای اقلیم خشک و نیمه خشک می توان به بارندگی کم و نامطمئن با شدت زیاد، تبخیر فراوان و عدم توزیع زمانی مناسب بارش اشاره کرد. در این مناطق عمده بارش به رواناب تبدیل شده و در صورت عدم کنترل موجب خسارت به ساکنان می شود یا به دلیل تبخیر فراوان از دسترس خارج می گردد. بنابراین مسئله کمبود آب تبدیل به یک بحران جدی و مداوم این مناطق شده است. تامین آب حادثترین مشکل مناطق شدیداً خشک شرق و جنوب شرقی ایران است که سالانه فقط ۱۰۰ میلی متر بارندگی دارند [1]. از جمله مهم ترین روش های ذخیره آب می توان به نفوذ آب در خاک و یا ذخیره رواناب در پشت بندسارها اشاره کرد [2]. بندسارخاکریز کوتاهی است که در راستای منحنی های میزان ارتفاعی منطقه توسط کشاورزان بنا می شود. تکنولوژی بندسار و قنات از جمله روش های کاربردی و قدیمی است که برای مدیریت و بهره برداری آب از گذشتگان برجا مانده است. در حال حاضر این دانش بومی به دست فراموشی سپرده شده و هیچ گونه بهسازی برای کارآمدی بیشتر آن صورت نگرفته است. جاری شدن سیلاب و رسوبگذاری بر مخروط افکنه ها فرآیند های پیچیده ای هستند که شبیه سازی عددی آنها دشوار است زیرا مخروط افکنه ها معمولاً دارای توپوگرافی نامنظم، نواحی تر و خشک متغیر و رژیم ترکیبی جریان (زیر بحرانی، بحرانی، فوق بحرانی) می باشند. از طرفی مدلسازی یک بعدی برای روندیابی جریان و رسوب در جریان های محدود به یک کانال با هندسه ساده برای مسائل مخروط افکنه ها ناکافی هستند [3]. لذا در این مقاله یک مدل کامپیوتری دوبعدی بر یک مخروط افکنه حاوی بندسار در منطقه ای با اقلیم گرم و خشک شبیه سازی شده است و در این کار از نرم افزار مایک ۲۱ که توسط موسسه هیدرولیک دانمارک (DHI) تهیه شده استفاده شده است. عمق آب بر پهنه ناحیه مطالعاتی و مناطق آبرگیری شده بررسی میشود. الگوی غالب انتقال بار کل رسوبی تعیین می گردد و به لحاظ ریخت شناسی نیز تغییرات سطح بستر مشخص میشود. هدف بررسی جریان های پیچیده بر سطح خشک مخروط افکنه و بندسار و ارزیابی ویژگی های انتقال رسوب است تا سرآغاز راهی برای مطالعات بیشتر طراحی علمی بندسارها باشد.

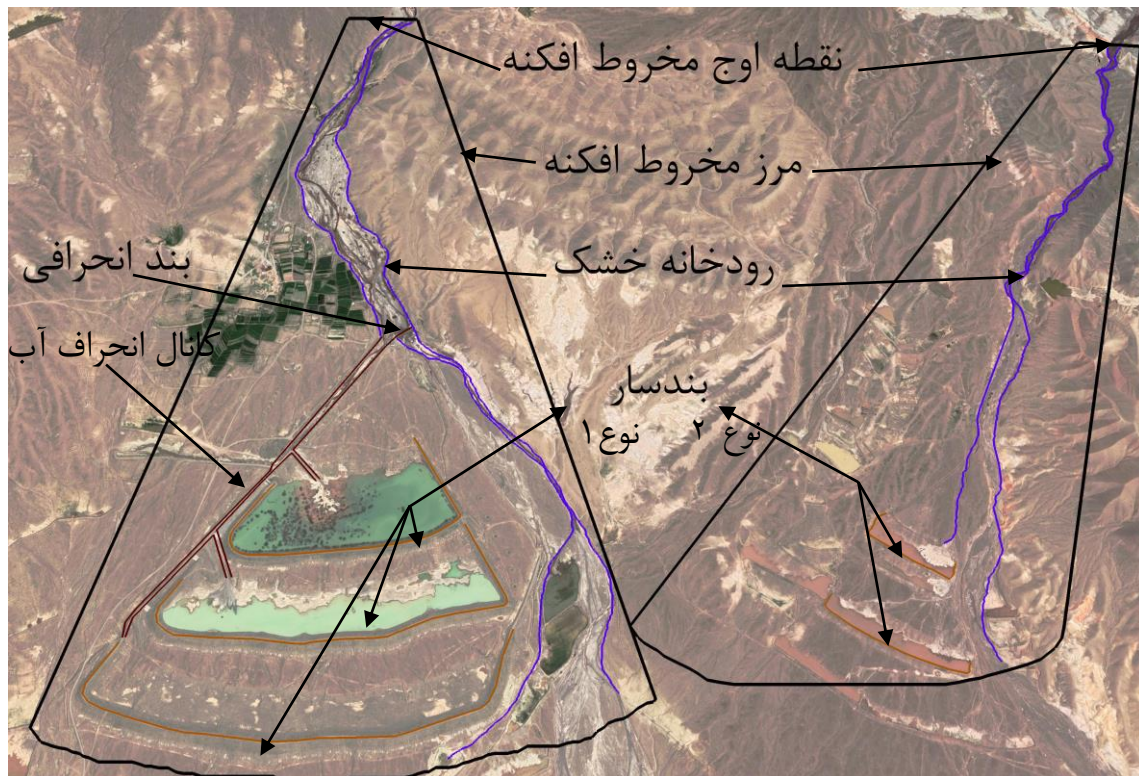
۲. بندسار

بندسار را می توان خاکریزی با مساحت حوزه بین ۱۵۰ متر مربع تا ۲۵۰ هکتار دانست. ارتفاع این خاکریز در محدوده ۵۰ تا ۳۵۰ cm و بر روی خطوط توپوگرافی ساخته می شود [4]. اغلب مناطقی که بندسارها در آن قرار گرفته اند متشکل از رودخانه های خشک یا فصلی می باشد که از خروجی حوزه

آبریز منطقه سرچشمه گرفته اند. در خروجی حوضه، دره هایی با کانال های فرسایشی و شدت جریان زیاد توسعه پیدا میکند، این کانال ها در فاصله کمی در پایین دست به شبکه کانال های رسوبگذار کوچکی تقسیم می شوند و مخروط افکنه را تشکیل می دهند. معمولا ذرات درشت دانه در نزدیک راس مخروط و ذرات ریز دانه در پایین دست ته نشین میشوند [5].

عموما بندسارها بر ناحیه آبرفتی مخروط های افکنه ها به منظور کشت دیم بنا می شوند. بندسارهای مختلف ممکن است در چگونگی آبرگیری باهم متفاوت باشند [4]. بندسارهای نوع یک از جریان های انحرافی از خشکه رود ها یا رودخانه های فصلی تغذیه می شوند در واقع کشاورزان به دلیل شدت بالای سیلاب فقط بخشی از آن را توسط یک بند انحرافی وارد بندسار می کنند. در نوع دوم به دلیل شیب کم ناحیه آبرفتی مخروط افکنه به بند انحرافی نیازی نیست و بندسارها مستقیما از رواناب خشکه رود آبرگیری می شوند در حالت اخیر به دلیل شیب کم، میزان رسوبات وارده به بندسار کم است. بندسارهای نوع سوم از جریان های متمرکز سرشاخه های کوچک آبرگیری می کنند، در این حالت امکان حفظ تمام رواناب نیز وجود دارد. معمولا در دو طرف هر بندسار یک سرریز نیز احداث میشود که آب مازاد بر ظرفیت را به بندسار پایین دست منتقل میکند.

وجود بندسارها در مناطق گرم و خشک کمک زیادی به افزایش رطوبت محیط و تغذیه آب زیرزمینی و همچنین استفاده بهینه از رواناب و جلوگیری از هدررفتن آن می کند. بندسارها غالبا در نواحی مرکزی و جنوبی خراسان توسعه پیدا کرده اند [6]. در تصاویر ماهواره ای به آسانی میتوان انواع بندسارها را تشخیص و از هم تمیز داد، شکل (۱).

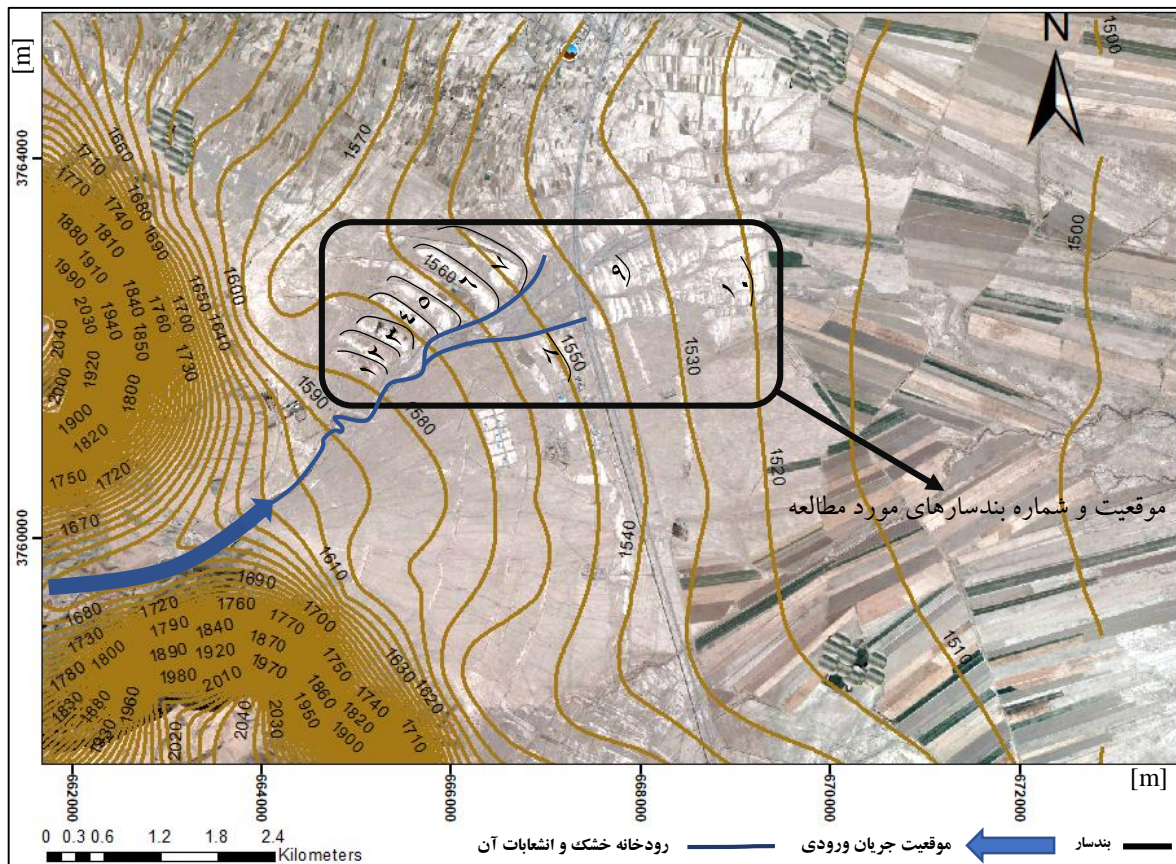


شکل ۱- تصویر ماهواره ای انواع بندسارها در بیرجند.

۳. معرفی ناحیه مورد مطالعه

شکل ۲ ناحیه مطالعاتی منطقه خضری از توابع شهرستان قاین در خراسان جنوبی را نشان می دهد. مخروط افکنه این منطقه از یک خشکه رود اصلی تشکیل شده که از ارتفاعات بالادست سرچشمه می گیرد و در پایین دست به شبکه کانال های کوچک تقسیم می شود. این مخروط افکنه عاری از پوشش گیاهی می باشد. متوسط شیب این ناحیه ۱٫۶ درصد است و بندسارهای این منطقه به دلیل شیب کم ناحیه آبرفتی مخروط افکنه به طور مستقیم از رواناب حاصل از خشکه رود آبرگیری می شوند لذا می توان آنها را در گروه دوم قرار داد. این بندها موازی با خطوط توپوگرافی و در فاصله نزدیکی از خشکه

رود احداث شده اند. مطابق شکل ۲ تعداد ۱۰ بندسار که در تصاویر ماهواره ای قابل تشخیص بوده و دارای مساحت بیشتری نسبت به سایر بندها هستند برای مطالعه انتخاب و نام گذاری شده اند



شکل ۲- ناحیه مورد مطالعه در منطقه خضری دشت بیاض

۴. کلیات مدل سازی

این تحقیق به منظور بررسی جریان سیلابی و رسوبی در منطقه مورد مطالعه و تاثیر بندسارها بر کنترل سیلاب و توسعه زمین حاصلخیز حاصل از رسوبگیری انجام شد. به همین جهت سیستم سنتی بندسار مطابق مشخصه های هندسی محلی و خصوصیات هیدرودینامیکی برای یک هیدروگراف نمونه سالیانه با نرم افزار مایک ۲۱ مدل سازی شد. و با استفاده از داده های هیدرودینامیکی بار رسوبی کل برای بازه زمانی مذکور محاسبه شد. مدل سازی رسوب به منظور تعیین روند کلی و غالب رسوبگذاری بر مخروط افکنه و مطالعه تاثیر بندسارها انجام شد.

۵. مدل سازی هیدرولیکی

۱-۵ مدل مایک ۲۱

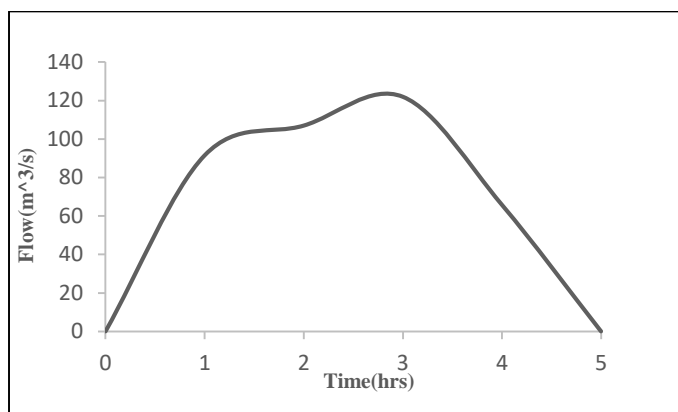
مایک ۲۱ شامل یک سری نرم افزار های حرفه ای مهندسی برای مدل سازی جریان دوبعدی با سطح آزاد است و اغلب پدیده هایی که در آن می توان از لایه بندی جریان صرف نظر کرد شبیه سازی می کند. این مدل بر اساس دوروش شبکه بندی انعطاف پذیر مثلثی و مستطیلی غیریکنواخت اجرا می شود، در پژوهش حاضر از شبکه بندی انعطاف پذیر مثلثی و نرم افزار **FM** MIKE 21 FLOW MODEL استفاده شده است. این نرم افزار شامل مدول های هیدرودینامیک، انتقال ذرات چسبنده و غیر چسبنده، ردیابی ذرات و اکولوژیک می باشد. پارامترهای اصلی ورودی برای مدل شامل توپوگرافی (مرزها و

نقاط ارتفاعی)، تعریف اعماق تر و خشک، مقاومت جریان، مشخصات تلاطم جریان و تعیین مرزهای بالادست و پایین دست می باشد. متغیرهای خروجی نیز می تواند عمق کل آب، مولفه های دبی جریان در هر گام زمانی، سرعت و جهت جریان باشد.

۲-۵ پارامترهای مدل

شبکه بندی مثلثی برای نواحی مورد مطالعه با استفاده از داده های مدل رقومی ارتفاعی ماهواره ای گوگل توسط ابزار Mesh Generator تولید شد. مساحت سلول های شبکه بین ۲۰ تا ۵۰ مترمربع تنظیم شد، این مقیاس بسته به مساحت کل ناحیه مورد مطالعه، زمان مدلسازی و حساسیت نواحی مطالعاتی تعیین شد.

برای حذف اثر مرزها بر محاسبات جریان و رسوب اولاً ناحیه مورد مطالعه به اندازه کافی بزرگ گرفته شد و ثانیاً به دلیل نامعلوم بودن شرایط جریان یک کانال فرضی نسبتاً پرسیب به مرز پایین دست اضافه شد [7]. مقاومت بستر با احتساب ضریب شزی ثابت و برابر $32 \frac{m^{1/2}}{s}$ فرض شد [8]. مقادیر تبخیر و بارش به صورت متغیر در زمان و ثابت در منطقه توسط نماینده سازمان هواشناسی کشور در خراسان جنوبی و پایگاه داده های اقلیمی [NCEP CFSR](#) تهیه و وارد مدل گردید [9]. هیدروگراف ورودی در مرز بالادست با توجه به مطالعات هیدرولوژیکی حوزه آبریز بالادست مطابق شکل ۳ به مدل داده شد. مدت زمان شبیه سازی با در نظر گرفتن پایداری مدل و عدد کورانت مساوی ۰٫۲ به میزان ۵ ساعت لحاظ شد. مقدار ویسکوزیته گردابی مطابق توصیه های راهنمای نرم افزار ثابت و برابر ۰/۲۸ تعیین شد [10].



شکل ۳- هیدروگراف ورودی خشکه رود برای سیلاب سالیانه

۶. مدلسازی رسوب

۱-۶ مدل انتقال رسوب

محاسبات انتقال رسوب میتواند به صورت یک برنامه کامپیوتری ایجاد شده توسط کاربر یا با استفاده از ماژول انتقال رسوب انجام گیرد. در تحقیق حاضر از ماژول انتقال رسوبات غیر چسبنده از روش Englund and Hansen با استفاده از رابطه (۱) برای محاسبه بار کل استفاده شد

$$S_{tl} = 0.05 \frac{C^2}{g} \Theta^{\frac{5}{2}} \sqrt{(s-1)gd_{50}^3} \quad (1)$$

که در آن S_{tl} مقدار بار کل، C ضریب شزی، g مقدار شتاب گرانش، s چگالی نسبی رسوب مساوی با $\frac{\rho}{\rho_s}$ چگالی آب تقریباً مساوی $1000 \frac{kg}{m^3}$ و ρ_s چگالی رسوب که برای ماسه کوارتز مساوی $2650 \frac{kg}{m^3}$ است، d_{50} متوسط قطر ذرات و Θ پارامتر شیلدز است که از رابطه (۲) بدست می آید.

$$\Theta = \frac{\tau}{\rho g(s-1)d_{50}} \quad (2)$$

که در آن τ تنش برشی جریان می باشد. داده های خروجی توسط نرم افزار مایک تولید و ترسیم شد.

۲-۶ پارامترهای مدل

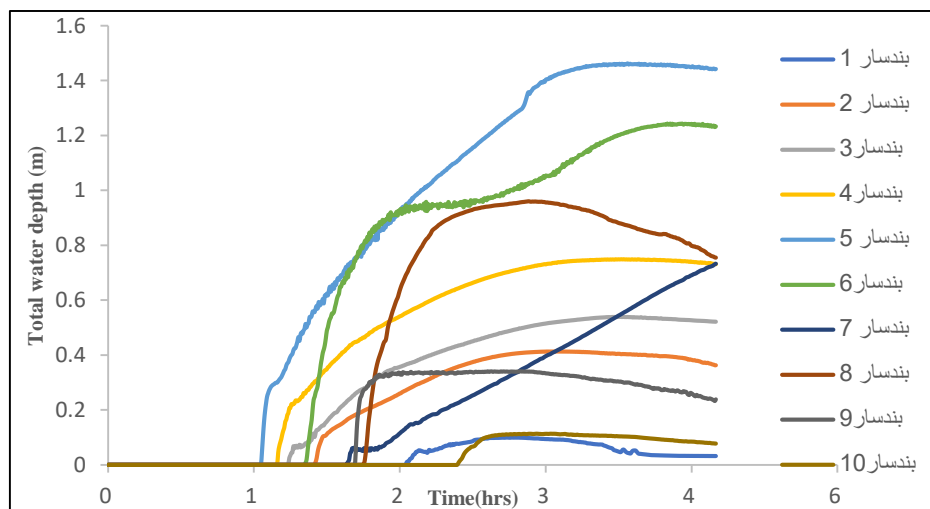
در این مدل‌سازی مقاومت بستر، روش محاسبه و زمان شبیه سازی از مدول هیدرودینامیک گرفته شده است. خصوصیات رسوب به صورت ثابت در منطقه مطابق جدول ۱ اختصاص داده شد. انتظار می رود تغییرات بستر در ناحیه مورد مطالعه در مقایسه با عمق آب قابل توجه باشد لذا ضروری بود که تاثیرات ریخت شناسی بر نتایج هیدرودینامیک مدل بررسی شود. نوع فرسایش ساحل رودخانه شکست شیب با زاویه اصطکاک ثابت 30 درجه در نظر گرفته شد.

جدول ۱- پارامترهای اختصاص داده شده در مدول انتقال رسوب

پارامتر	مقدار
تخلخل	0.5
قطر دانه (mm)	0.1
دانسیته نسبی	2.65
ضریب شزی ($\frac{m^2}{s}$)	32

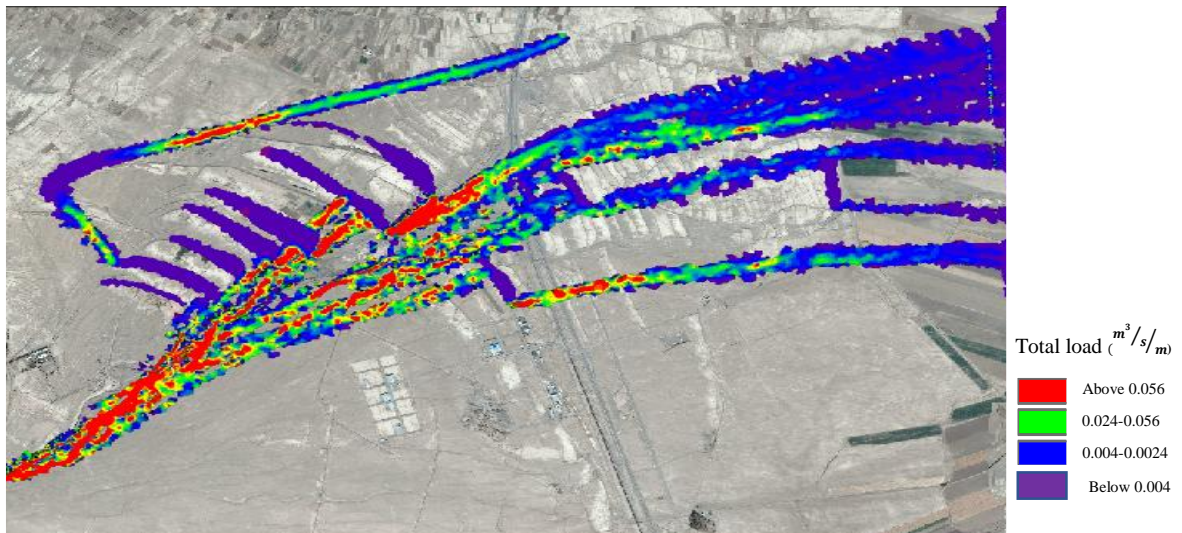
۷. نتایج و بحث

در شکل ۴ تغییرات عمق آب بیشینه در بندسارهای مختلف بر حسب زمان ترسیم شده است. حداکثر عمق آب در هر یک از بندسارها با توجه به موقعیت و مساحت آبرگیری آنها متفاوت و بین ۱۰ تا ۱۵۰ سانتی متر است. همچنین موقعیت و ساختار نهر آبرگیر به گونه ای است که آب در بندهای پیاپی بطور تقریباً یکنواخت توزیع می شود بندسارهای ۲، ۳ و ۴ در زمان کوتاهی، کمتر از پانزده دقیقه، آبرگیری می شوند. ارتفاع آب در بندهای بالادست کم است ولی در عوض تمام بندسارهای پایین دست مشروب می شوند. مطابق شکل ۲ در مجاورت بندسارهای ۴ و ۵، خشکسالی رود به دو قسمت منشعب میشود که یک شاخه آن بندهای مذکور را با سرعت پر آب میسازد و شاخه دیگر بندسارهای ۸ و ۹ را تغذیه می کند. بند سار شماره ۷ با توجه به مساحت زیاد از دو جهت از خشکسالی رود اصلی در راست و یک شاخه فرعی در چپ آبرگیری میشود و مدت زمان زیادی لازم دارد که پر شده عمق آب آن ثابت شود. بندسارهای ۱ و ۱۰ بعلاوه موقعیت توپوگرافیک دیرتر از همه آبرگیری میشوند. در نتیجه مقدار زیادی از دبی سیلابی توسط بندسارهای احداث شده بر سطح مخروط افکنه ذخیره شده، آب در پهنه وسیعی پخش می شود و زمینه مساعدی برای تغذیه آب زیر زمینی، حفظ و افزایش رطوبت خاک و تشکیل منطقه حاصلخیز و مناسب برای کشاورزی فراهم می گردد. از طرف دیگر با احداث بندسارها زمان رسیدن سیلاب به مناطق مسکونی پایین دست طولانی می شود و از اوج آن کاسته میگردد.

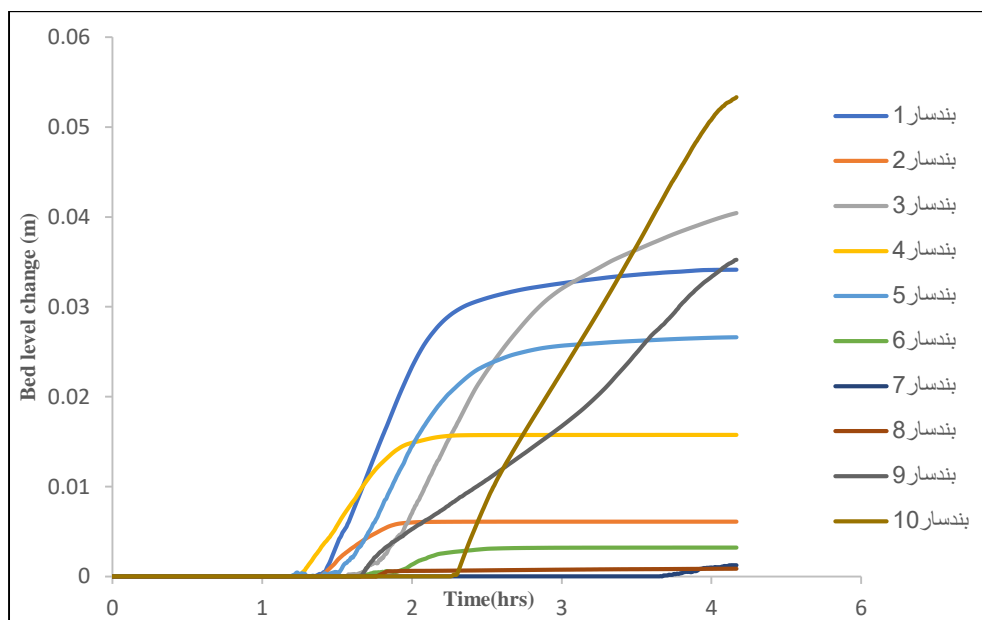


شکل ۴- تغییرات زمانی عمق بیشینه آب در بندسارهای مختلف

دبی بار رسوب عموماً از الگوی جریان پیروی می کند و به طور غیر یکنواخت بر سطح وسیعی از مخروط افکنه پخش می شود به طوری که بیشترین بار رسوبی در رأس مخروط افکنه حمل میشود و هرچه از رأس دورتر می شویم بار رسوبی کم تر می شود. پروژه بندسار الگوی پخش رسوب و رسوبگذاری را در این منطقه تغییر می دهد. در شکل ۵ دبی بار کل رسوبی بر پهنه مخروط افکنه و در پشت بندسارها در پایان شبیه سازی ترسیم شده است. معمولاً ته نشینی رسوبات داخل بندسارها طی چند بار سیلگیری به میزان قابل توجهی افزایش پیدا می کند. شکل ۶ تغییرات بیشینه تراز بستر را در پشت هر بندسار در انتهای شبیه سازی نشان می دهد. نرخ تغییرات در هر یک از بندسارها با توجه به موقعیت توپوگرافی و جریان ورودی متفاوت است. در برخی از بندسارها ضخامت رسوب تا ۵ سانتی متر افزایش پیدا کرده است بطور کلی تغییرات تراز بستر بعد از مدتی ثابت میشود. نرخ سریع تغییرات تراز بستر بندسارهای ۹ و ۱۰ به دلیل قرارگیری مستقیم آنها در مسیر جریان است.



شکل ۵- بار رسوبی کل در انتهای شبیه سازی

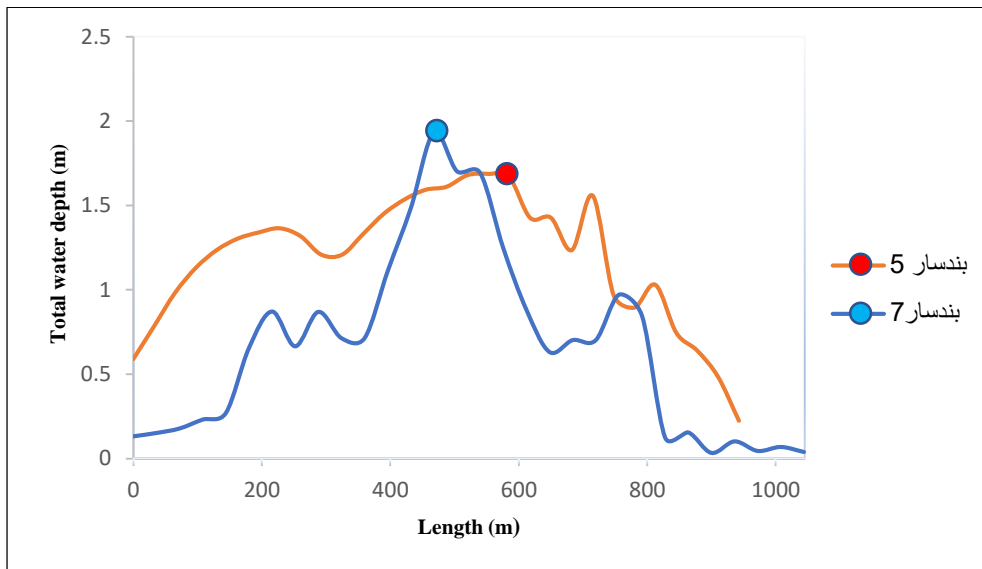


شکل ۶- تغییرات بیشینه تراز بستر در پشت بندسارها

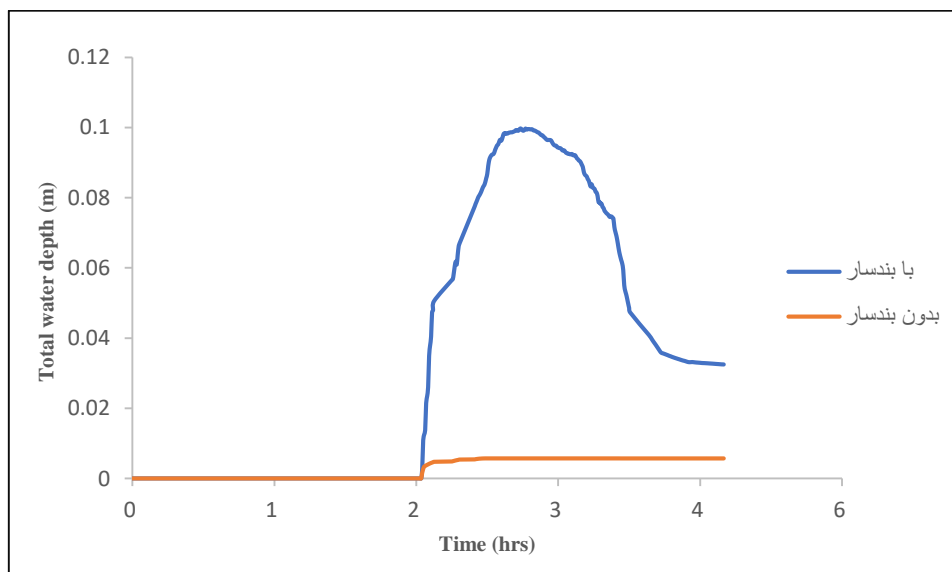
۸. تعیین نقاط مستعد شکست

شکست بندسارها از جمله خطراتی است که پایداری آنها را در هنگام آبیگری تهدید میکند. معمولاً به هنگام حرکت جریان آب مناطق عمیق پشت بندسارها در معرض تنش برشی و فشار منفذی زیادتری نسبت به سایر مناطق بوده و مستعد شکست میباشند در شکل (۷) پروفیل تغییرات عمق آب در راستای طولی دو بندسار ۵ و ۷ در انتهای شبیه سازی ترسیم شده است. ارتفاع بیشینه آب در نقاط عمیق مشخص کننده ی نقاط مستعد شکست در این دو بندسار است.

در شکل (۸) تغییرات تراز آب در شرایط حضور و عدم حضور بندسار در عمیق ترین ناحیه بندسار ۱ بر حسب زمان ترسیم شده است. در حضور بندسار، آب بعد از حدود دو ساعت از آغاز سیلاب به این ناحیه وارد شده، عمق جریان را به ۱۰ سانتی متر میرساند اما پس از مدتی عمق آب فروکش کرده به ۵ سانتی متر میرسد. بدون وجود بندسار عمق آب ثابت و در حدود نیم سانتیمتر باقی میماند. بالا و پایین رفتن سریع آب در پشت بندسار آنرا مستعد شکست میسازد.



شکل ۷- پروفیل عمق آب در مقطع طولی بندسار های شماره ۵ و ۷ در پایان شبیه سازی



شکل ۸- مقایسه عمیق ترین نقطه بندسار شماره ۱ در دو حالت مختلف مدلسازی

۹. نتیجه گیری

در این تحقیق الگوهای غالب جریان و رسوب در حضور و بدون حضور بندسارها با استفاده از نرم افزار دوبعدی MIKE 21 بر مخروط افکنه ای واقع در خراسان جنوبی با اقلیم گرم و خشک شبیه سازی شد. پروژه بندسار در کنترل سیل و ذخیره آب به میزان قابل توجهی موثر است. بندسارها با اختلاف زمانی کوتاهی بصورت یکنواخت آبیگری می شوند. بندسارها در نقاط عمیق به دلیل تنش برشی و فشار منفذی زیاد مستعد شکست هستند. مقدار قابل توجهی از بار رسوبی خشکه رود اصلی وارد بندسارها می شود و به تبع آن تراز بستر پشت بند سار افزایش پیدا می کند. رسوبات جمع شده که حاوی خاک ریزدانه و مغذی هستند محیط مناسبی برای کشت و زرع فراهم میکند.

۱۰. مراجع

1. Anschütz, J.Kome. A.Nederlof, M.Neef, R. and Ven, T . (1997). Water harvesting and soil moisture retention, *Agrodok*, no. 13.
2. Akbar, A.Samani, N.Khalighi, S.Arabkhedri, M and Farzadmehr, J. (2014). Indigenous Knowledge and Techniques of Runoff Harvesting (Bandsar and Khooshab) in Arid and Semi Arid Regions of Iran, no. June, pp. 784–792.
3. Shvidchenko, A.Consultants, N.H.Sacramento, W. and Vermeeren, A. (2006). Simulation of Flood Flow and Sediment Transport on Alluvial Fans of Coachella Valley , California, pp. 49–56.
۴. عرب خدری، م ؛ کمالی، ک. (۱۳۹۶). بندسار: روش سنتی حفاظت خاک و آب برای کشاورزی سیلابی. کرج: سازمان تحقیقات ، آموزش و ترویج کشاورزی. کتابنامه: ص. ۶۷.
5. Bechtel, Inc. (2002). Coachella Valley Water District Sedimentation Transport Study, Comparison of Annualized Sediment Loads Delivered to Del Webb Sun City Development. Report, Issue 4.0.
6. Arabkhedri, M. (1995). Bandsar , a Traditional Method for Flood Management in Khorasan, Pajouhesh & Sazandegi, 26 , 80-85.
۷. کبارفرد، م ؛ علی پرست، م ؛ کراری، ز. (۱۳۹۵). مدلسازی هیدرولیکی رودخانه و مخروط افکنه با نرم افزار MIKE 21 FLOW MODEL FM. تبریز: نشر سومر نشر. کتابنامه: ص. ۱۴۵-۱۶۴.
۸. سازمان مدیریت و برنامه ریزی ایران. (۱۳۹۴). راهنمای تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه ها [ضابطه شماره ۶۸۸]
9. Saha, S. *et al.* (2010). The NCEP climate forecast system reanalysis, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 91, no. 8, pp. 1015–1057.
10. DHI. (2018). MIKE 21 FLOW MODEL FM, Reference manual, p. 55.

¹ Danish Hydraulic Institute

² Flexible Mesh

³ The National Centers for Environmental Prediction-Climate Forecast System Reanalysis