

Comparison of particle size distribution of sediments in mountain and river sand and gravel mining in Urmia City

Payam Moradi Chonghoralu¹, Habib Nazarnejad^{2*} , Farrokh Asadzadeh³

¹Graduated M.Sc. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

²Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Range & Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran

³ Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract

Introduction

Sand mines are one of the most important active mines. One of the key properties of sediments is their particle size distribution, which affects many physical and chemical properties such as hydraulic and electrical properties and characteristics related to the transportability by erosive agents. Determining the size of sediment particles in different environments can be used in reclaiming sediments from washing river and mountain sand mines for physical and chemical remediation of soil. By determining the size of sediment particles in different environments, it is possible to measure the reuse of sediments from washing river and mountain sand mines for physical and chemical remediation of soil.

Materials and Methods

The main aim of this study was to compare the capability of some mathematical models in describing particle size distribution of sediments of 26 sand mines in Urmia. For this purpose, sampling was performed from mine sedimentation ponds. By examining each of the mines, in the field surveys of sediment ponds, sediment sampling was done. In sampling of each mine, three samples were taken from three different points of stilling pond (entrance, middle and end of the pond) in depth (approximate depth of 20 cm) and composed of sediment accumulation profiles with approximately one kilogram weight. The particle size distribution was determined by hydrometric method. In order to describe the sediments, 4 mathematical models of sediment size distribution including Weibull, Fredlund, Van genuchten and Jacky models were used. Different aspects of models performance were evaluated by some efficiency criteria.

Results and Discussion

The samples taken from mountain and river mines were in the sandy loam and loamy texture class, respectively, so they have fine to medium grain texture. The results showed the difference between the amount of particles forming river and mountain sediments and there is small difference between river and mountain sediments in terms of the amount of component particles. In mountain sediments, the amount of clay, silt and sand is much more than river sediments and the amount of sand in river sediments is more than mountain sediments. Based on the results, most of the sediments are sand, silt and very fine sand and clay, respectively. Six efficiency coefficients were used to evaluate the accuracy of sediment particle grading models. The results showed that Fredlund model had better performance in describing sediment size distribution than other models.

Conclusion

Analysis of daily, monthly, seasonal and annual trends of precipitation and minimum and maximum temperatures in the period Fredlund model has the lowest error compared to other models and increasing the number of model parameters is not a reason to increase the accuracy of the model. It is suggested that the physical and chemical properties of sediments of mountain and river sand mines be studied separately so that according to different origins and different processes involved in their formation, the feasibility of using these sediments for soil optimization can be investigated.

Keywords: Fredlund model, Particle diameter, Sand mine, Sediment

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: h.nazarnejad@gau.ac.ir

Citation: Moradi Chonghoralu, P., Nazarnejad, H., & Asadzadeh, F. (2022). Comparison of particle size distribution of sediments in mountain and river sand and gravel mining in Urmia city. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(3), 52-65.

DOI: 10.22098/MMWS.2022.10187.1078

DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.3.5.4

Received: 20 January 2022, Received in revised form: 15 February 2022, Accepted: 17 February 2022, Published online: 28 May 2022

Water and Soil Management and Modeling, Year 2022, Vol. 2, No. 3, pp. 52-65

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)



مقایسه توزیع اندازه ذرات رسوبات معادن شن و ماسه کوهی و رودخانه‌ای شهرستان ارومیه

پیام مرادی چونقرالو^۱، حبیب نظرنژاد^{۲*}، فرخ اسدزاده^۳

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
^۲ دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم و کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
^۳ دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده

معادن شن و ماسه از مهم‌ترین معادن فعال کشور بوده و نقش مهمی در پیش‌برد پروژه‌های عمرانی دارد. توزیع اندازه ذرات رسوبات، یکی از خصوصیات است که بر سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تأثیر دارد. هدف از این پژوهش، بررسی دانه‌بندی رسوبات برداشت‌شده از ۲۶ معدن شن و ماسه شهرستان ارومیه است که ۱۹ معدن از نوع معادن شن و ماسه کوهی و هفت معدن نیز جزو معادن رودخانه‌ای است. برای این منظور از حوضچه‌های رسوب معادن، نمونه‌برداری و توزیع اندازه ذرات آن‌ها به روش هیدرومتری انجام شد. با بررسی هر یک از معادن، در بازدید میدانی از حوضچه‌های رسوب، نمونه‌گیری رسوب از آن‌ها صورت گرفت. برای نمونه‌برداری از هر معدن، از سه نقطه مختلف حوضچه آرامش (ورودی، میانه و انتهای حوضچه) تعداد سه نمونه به‌صورت عمقی (عمق تقریبی یک الی ۲۰ سانتی‌متر) و مرکب از پروفیل تجمع رسوبات با وزن تقریبی یک کیلوگرم برداشت شد. به‌منظور توصیف رسوبات از چهار مدل ریاضی توزیع اندازه رسوبات شامل مدل ویبول، فردلانده، ون‌گنوختن و جکی استفاده شد. برای ارزیابی دقت مدل‌های دانه‌بندی ذرات رسوب، از شش ضریب کارایی استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده تفاوت میزان ذرات تشکیل‌دهنده رسوبات رودخانه‌ای و کوهی است و اختلاف بسیار کمی بین رسوبات رودخانه‌ای و کوهی از نظر مقدار ذرات تشکیل‌دهنده وجود دارد. در رسوبات کوهی، میزان رس، سیلت و شن خیلی ریز بیش‌تر از رسوبات رودخانه‌ای بوده و مقدار شن در رسوبات رودخانه‌ای بیش‌تر از رسوبات کوهی است. نتایج دانه‌بندی رسوبات نشان داد مدل فردلانده نسبت به سایر مدل‌ها، کارایی بهتری در توصیف توزیع اندازه رسوبات داشت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از نمونه‌های آنالیز شده در مثلث بافت خاک، نمونه‌های برداشت‌شده از معادن کوهی و رودخانه‌ای به‌ترتیب در کلاس بافتی لومی شنی و شنی لومی بودند، لذا دارای بافت ریز تا متوسط دانه هستند. بر اساس نتایج دانه‌بندی رسوبات، بیش‌تر درصد رسوبات را به‌ترتیب شن، سیلت و شن بسیار ریز و رس تشکیل می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: رسوب، قطر ذرات، مدل فردلانده، معدن شن

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h.nazarnejad@gau.ac.ir

استناد: مرادی چونقرالو، پ.، نظرنژاد، ح.، و اسدزاده، ف. (۱۴۰۱). مقایسه توزیع اندازه ذرات رسوبات معادن شن و ماسه کوهی و رودخانه‌ای شهرستان

ارومیه. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۲(۳)، ۵۲-۶۵

DOI: 10.22098/MMWS.2022.10187.1078

DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.3.5.4



تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۳۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۸، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۳/۰۷

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۱، دوره ۲، شماره ۳، صفحه ۵۲ تا ۶۵

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی © نویسندگان

۱- مقدمه

توزیع اندازه ذرات رسوبات، یکی از خصوصیات است که بر دیگر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تأثیر دارد (Yang et al., 2012). بسیاری از ویژگی‌های رسوب در ارتباط با چگونگی توزیع اندازه ذرات آن‌ها است که می‌توان به ویژگی‌های هیدرولیکی (Boadu, 2000)، الکتریکی (Cronican and Gribb, 2004) و ویژگی‌های مرتبط با فرسایش و قابلیت انتقال (Flemming, 2007) آن‌ها اشاره کرد. با تعیین اندازه ذرات رسوب در محیط‌های مختلف می‌توان به امکان‌سنجی استفاده مجدد رسوبات حاصل از شستشوی معادن شن و ماسه رودخانه‌ای و کوهی جهت اصلاح فیزیکی و شیمیایی خاک پرداخت. معادن شن و ماسه از مهم‌ترین معادن فعال کشور بوده و نقش مهمی در پیش‌برد پروژه‌های ساخت‌وساز عمرانی نظیر ساختمان‌سازی، راه‌سازی و پل‌سازی دارند. بر اساس آمار منتشر شده از سوی دفتر صنعت، معدن و زیربنایی مرکز آمار ایران در اسفند ۱۳۹۸، معادن شن و ماسه ۲۴ درصد از حدود پنج هزار معدن فعال در کشور را به خود اختصاص داده‌اند. هرچند که رودخانه‌ها به‌عنوان منبع اصلی تأمین مصالح شن و ماسه به‌شمار می‌روند، اما در کنار آن معادن شن و ماسه کوهستانی نیز اهمیت ویژه‌ای دارند؛ به‌طوری‌که در بخش عمرانی دو منبع اصلی برای تأمین مصالح شن و ماسه در نظر گرفته می‌شود. اول، شن و ماسه رودخانه‌ای که حاصل آب‌شستگی و حمل ذرات از حوضه‌های بالادست به سمت دشت‌ها بوده و دارای گردش‌دگی خوب هستند. دوم، شن و ماسه کوهی که حاصل انباشت شن و ماسه در طی دوره‌های مختلف زمین‌شناسی (عمدتاً کواترن) بوده و کاملاً در نیمرخ (پروفیل) طولی لایه‌بندی مشخص می‌کند که پس‌روی و پیش‌روی‌های آب رودخانه‌ها و یا دریاچه‌ها در ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها چگونه عمل کرده است. تقسیم منابع شن و ماسه از لحاظ موقعیت مکانی قرارگیری این مصالح صورت گرفته؛ به‌طوری‌که شن و ماسه‌های کوهی که حاصل انباشت مصالح طی دوره‌های قبل‌تر زمین‌شناسی هستند دارای ارتفاع بیش‌تر و هم‌چنین ذخیره زیادتری از مصالح نسبت به شن و ماسه رودخانه‌ای هستند. مصالح شن و ماسه رودخانه‌ای و آبرفتی مجاور رودخانه‌ها نسبت به مصالح شن و ماسه کوهی، بیش‌تر مورد توجه معدن‌کاران قرار می‌گیرد؛ زیرا چسبندگی این مصالح ضعیف و سست بوده (Asghari Sereskanrood, 2005). برداشت آن‌ها سهل‌الوصول است، هزینه فرآوری کم‌تری داشته و راه دسترسی نیز نزدیک‌تر و راحت‌تر است (Kondolf, 1994). درحالی‌که چسبندگی مصالح شن و ماسه کوهی بیش‌تر بوده، سفت بوده و نیاز به ادوات بیش‌تر (از قبیل پیکور، مواد ناریه) دارند. اطلاعات کسب‌شده از سازمان صنعت و معدن آذربایجان غربی نشان می‌دهد که از مجموع ۳۳ معدن شن و ماسه رودخانه‌ای و کوهستانی در

شهرستان ارومیه، ۲۶ معدن در حال حاضر فعال بوده و در مجموع میزان برداشت آن‌ها در حدود یک میلیون و ۴۷ هزار و ۵۶۸ مترمکعب است که نشان‌دهنده حجم بسیار بالای تولید رسوبات ریزدانه در فرآیند استخراج شن و ماسه از این معادن است. بازدیدهای میدانی از این معادن نیز حاکی از وجود حوضچه‌های آramش وسیع در این معادن است که بعضاً به‌صورت پر و رها شده بوده و برای ادامه فرآیند استخراج، معادن ذکر شده اقدام به تخریب بیش‌تر منطقه و ایجاد حوضچه‌های جدید نموده‌اند. استفاده از رسوبات خروجی از این معادن شن و ماسه روشی برای استفاده مجدد از خاک فرسایش‌یافته مناطق بالادست است. با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات می‌توان از آن‌ها برای اهداف مختلفی استفاده کرد. برخی از این رسوبات ممکن است از نظر بافت، درصد مواد آلی و عناصر غذایی به‌عنوان خاک سطحی برای اصلاح اراضی حاشیه‌ای در زمینه‌های کشاورزی، باغبانی یا جنگلداری مناسب باشند. برای مثال، (Sigua et al., 2014) در بررسی استفاده از رسوبات دریاچه Panasoffkee در جنوب فلوریدای آمریکا، با هدف اصلاح خاک‌های مرتع نشان دادند افزایش رسوبات سبب افزایش نفوذپذیری، PH، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها، افزایش تولید بیومس و جذب عناصر غذایی در علوفه می‌شود. در ادامه، (Shahnavaz et al., 2009) به بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و غلظت عناصر سنگین رسوبات جزایر رودخانه کارون برای استفاده مجدد آن‌ها در کشاورزی پرداختند. نتایج بررسی ایشان نشان داد که مقادیر ازت، فسفر و مواد آلی رسوبات کم‌تر از مقادیر مناسب برای خاک‌های زراعی است، ولی از نظر PH، مقدار پتاسیم و هدایت الکتریکی در حد مطلوبی قرار دارند. برخی دیگر نیز لازم است که با کودهای حیوانی مخلوط شوند تا حاصلخیزی خاک را بالا ببرند.

تاکنون پژوهش‌چندانی در خصوص استفاده از مدل‌های توزیع اندازه ذرات در معادن شن و ماسه انجام نگرفته است. توزیع اندازه ذرات از ویژگی‌های مهم رسوبات معادن شن و ماسه است که در تصمیم‌گیری در خصوص نحوه استفاده از آن‌ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. از سوی دیگر در مطالعات قبلی به‌رغم تأکید بر اهمیت توزیع اندازه رسوبات معادن، نسبت به تهیه و مدل‌سازی منحنی کامل توزیع اندازه ذرات پژوهش خاصی صورت نگرفته است. (Zolfaghari et al., 2014) به ارزیابی کارایی مدل‌های لاگ‌نرمال جکی^۱ (J)، لاگ‌نرمال ساده (SL)، لاگ‌نرمال اصلاح‌شده^۲ ORL و^۳ ONL، مدل شیوازا و کمبل^۴ (SC^۴)، مدل نرمال (N) و مدل‌های چهارپارامتری گمپتر^۵ (G) و

^۱ Jaky

^۲ Offset-renormalized log-normal model

^۳ Offset-Nonrenormalized Lognormal

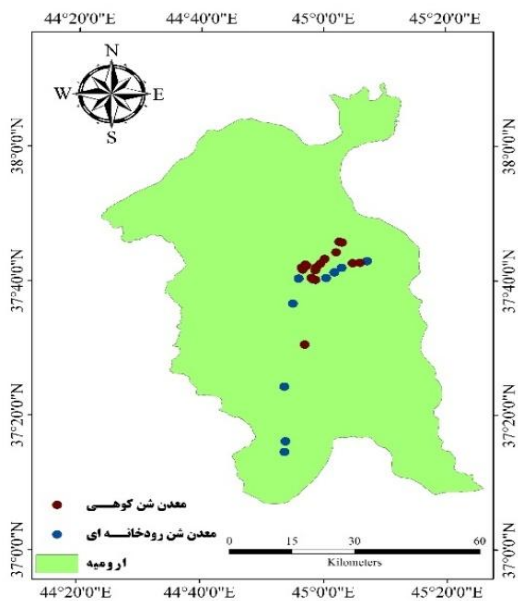
^۴ Shiozawa and Campbell

هستند. با این حال، نتایج متفاوتی از برآزش مدل‌های مختلف بر مقادیر توزیع اندازه ذرات گزارش شده است. علت این است که دقت برآزش مدل‌ها با تعداد پردازش آن مدل‌ها ارتباط مستقیم دارد. معمولاً مدل‌های با تعداد پارامتر بیشتر، توزیع اندازه ذرات را با دقت بیشتر توصیف می‌کنند (Buchan et al., 1993; Zolfaghari et al., 2014). بنابراین، دقیق‌ترین مدلی که علاوه بر تعداد پارامتر کمتر، کم‌ترین خطای برآزش را داشته باشد مدنظر است. با توجه به اینکه توزیع اندازه ذرات شن و ماسه از مهم‌ترین پارامترهای شن و ماسه مصرفی است و آگاهی از فراوانی ذرات با اندازه‌های مختلف در نمونه‌های شن و ماسه می‌تواند در ارزیابی کیفیت آن‌ها و همچنین نحوه کاربرد این مصالح مورد استفاده واقع شود، در این پژوهش تلاش شد تا از مدل‌های توزیع اندازه ذرات به منظور پیش‌بینی فراوانی ذرات با اندازه‌های مختلف در نمونه‌های معادن شن و ماسه استفاده شود و معادن کوهی و رودخانه‌ای از این منظر مورد مقایسه قرار گیرند. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی مدل‌های مختلف توزیع اندازه ذرات رسوب در معادن شن و ماسه رودخانه‌ای و کوهی ارومیه انجام شده است.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

به منظور انجام این پژوهش، تعداد ۲۶ معدن فعال شن و ماسه در شهرستان ارومیه انتخاب شد. موقعیت جغرافیایی معادن مورد مطالعه در شهرستان ارومیه در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی معادن برداشت شن و ماسه

شهرستان ارومیه، ایران

Figure 1- Geographical location of sand mines in Urmia, Iran

فردلاند^۱ (Fr) در توصیف توزیع اندازه ذرات خاک پرداختند. نتایج آماره‌های F ، C_p ، و AIC نشان دادند مدل Fr در بیش‌تر خاک‌های مطالعه‌شده بهترین کارایی را در توصیف توزیع اندازه ذرات (PSD^۲) خاک‌ها دارد. (Asadzadeh (2018) در مقایسه تحلیلی خطای برآورد در تعدادی از مدل‌های ریاضی توزیع اندازه ذرات در توصیف رسوبات انباشته شده در پشت بندهای رسوب‌گیر متوالی حوزه‌های نویشان و انبی ارومیه با خوشه‌بندی سلسله مراتبی مدل‌ها نشان داد که شش مدل ویبول، فردلاند، ویبول^۳ اصلاح‌شده، ون‌گنوختن^۴، ONL و ORL نسبت به سایر مدل‌ها کارایی بهتری داشتند. (Afrasiabi et al. (2017) به بررسی توزیع اندازه ذرات (PSD) اراضی حاشیه دریای ارومیه پرداختند. برای این منظور شش مدل برتر PSD شامل لجستیک (MLG)، فردلاند چهار و سه پارامتری (Fred-3p و Fred-4p)، اندرسون (AD)، (ONL) و ویبول (Wei) انتخاب و کارایی آن‌ها ارزیابی شد. نتایج نشان داد که براساس ضرایب کارایی R^2 (ضریب تبیین)، RMSE (ریشه میانگین مربعات خطا) و Er (خطای نسبی) همه مدل‌های مورد بررسی دارای کارایی بالایی بوده و کم‌ترین مقدار میانگین R^2 در مدل‌ها برابر با ۰/۹۹۲ و بیش‌ترین مقدار RMSE و Er نیز به ترتیب برابر با ۰/۰۲۸ و ۰/۰۴۵ بود. همچنین، (Hwang et al. (2002) توانایی مدل‌های PSD با فرضیات مختلف (پنج مدل لوگ‌نرمال، گمپرتز و فردلاند) را برای برآزش داده‌های آزمایشگاهی PSD در ۱۳۸۷ خاک برگرفته از بانک اطلاعاتی کشور کره ارزیابی کرده و بر اساس دو آماره AIC و R^2 مدل فردلاند را دقیق‌ترین مدل برای PSD خاک‌های کره اعلام نمودند. در ادامه، (Zhao et al. (2011) اقدام به مقایسه کارایی برخی از مدل‌های توزیع اندازه ذرات در توصیف ویژگی‌های خاک‌های رسوبی حاشیه یک سد در چین نمودند. نتایج این پژوهش‌گران نشان داد که بر اساس ضریب تبیین و آماره آکائیک، مدل فردلاند و مدل فرکتالی به ترتیب مطلوب‌ترین و ضعیف‌ترین مدل در برآورد توزیع اندازه ذرات این خاک‌ها بودند. علاوه بر این، (Botula et al. (2013) نیز ۱۰ مدل مختلف را برای توصیف توزیع اندازه ذرات خاک‌های مناطق استوایی استفاده و گزارش کردند که مدل فردلاند توانایی بیش‌تری نسبت به سایر مدل‌ها در توصیف توزیع اندازه ذرات این خاک‌ها دارد.

در دهه‌های اخیر مدل‌های متعددی از جمله مدل‌های ریاضی برای توصیف توزیع اندازه ذرات (PSD) استفاده شده‌اند که هر کدام دارای پارامترهای مختلفی بوده و مبتنی بر فرضیات متفاوتی

¹ Fredlund

² Particle size distribution

³ Weibull

⁴ Van genuchten

۲-۳- مدل جکی

مدل جکی یک مدل ساده لگاریتمی است که برای توزیع اندازه ذرات رسوب ارائه شده است. معادله حاکم بر مدل جکی به صورت رابطه ۲ است (Esmaelnejad et al., 2016) که در آن، S جرم تجمعی ذرات با قطر کوچکتر از D و P شاخص توزیع اندازه ذرات که مشخصه آن کشیده نمودن منحنی است. D0 بزرگترین قطر ذرات که برابر ۲۰۰۰ میکرومتر است.

$$S = \exp\left\{-\frac{1}{D^2} \left[\ln\left(\frac{D}{d_0}\right)\right]^2\right\} \quad (2)$$

۲-۴- مدل ون گنوختن

اولین بار مدل ون گنوختن را Haverkamp and Parlange (1986) برای پیش‌بینی PSD استفاده کردند. معادله مدل ون گنوختن در رابطه ۳ آمده است (Rastgo et al., 2014) که در آن F(dp) جرم تجمعی ذرات با قطر کوچکتر از dp (میلی‌متر) و k1، k2 و k3 پارامترهای معادله هستند.

$$k \quad (3)$$

۲-۵- مدل چهار پارامتری فردلاندر

Fredlund et al. (2002) از این مدل که یک تابع چهار پارامتری تک نمایی^۵ است برای پیش‌بینی PSD رسوبات با دانه‌بندی خوب (رسوباتی با دانه‌بندی غیریکنواخت که دامنه وسیعی از اندازه ذرات در آن وجود دارد) استفاده کردند.

$$P = \left\{ \frac{1}{\left[\ln \left[\exp(1) + \left(\frac{d_{gr}}{d}\right)^{n_{gr}} \right] \right] m_{gr}} \right\} \times \left\{ 1 - \left(\frac{\ln \left(1 + \frac{d_{rgr}}{d} \right)}{\ln \left(1 + \frac{d_{rgr}}{d_m} \right)} \right)^7 \right\} \quad (4)$$

در رابطه فوق، P جرم تجمعی ذرات خاک با قطر کوچکتر از d، d_{gr} پارامتر مشخص‌کننده نقطه عطف منحنی و مرتبط با اولین نقطه شکست منحنی است. N_{gr} پارامتر مرتبط با تندترین شیب منحنی است (به عبارت دیگر نشان‌دهنده یکنواختی توزیع اندازه ذرات است)، m_{gr} مرتبط با شکل منحنی در دامنه ذرات ریز منحنی، d_{rgr} پارامتر مرتبط با مقدار ذرات ریز خاک، d قطر ذرات خاک و d_m قطر حداقل اندازه مجاز ذره در مدل است (Rastgo et al., 2014). اندازه ذرات رسوب، اساساً به صورت یک تابع ریاضی است که تحت عنوان توزیع اندازه ذرات (PSD) بیان می‌شود. بر این اساس اندازه ذرات در برابر فراوانی نسبی و یا فراوانی تجمعی آن‌ها ترسیم می‌شود و به این صورت مدل‌های مربوط به توزیع اندازه ذرات بر آن برازش می‌یابند. هدف از

از ۲۶ معدن برداشت شن و ماسه مورد بررسی تعداد ۱۹ معدن از نوع معادن شن و ماسه کوهی و هفت معدن نیز جزو معادن رودخانه‌ای است. با مراجعه به هر یک از معادن وضعیت میدانی حوضچه‌های رسوب آن‌ها بررسی و نمونه‌گیری رسوب از آن‌ها صورت گرفت. برای نمونه‌برداری از هر معدن، از سه نقطه مختلف حوضچه آرامش (ورودی، میانه و انتهای حوضچه) تعداد سه نمونه به صورت عمقی (عمق تقریبی یک الی ۲۰ سانتی‌متر) و مرکب از پروفیل تجمع رسوبات با وزن تقریبی یک کیلوگرم برداشت شد. سپس این نمونه‌ها به خوبی مخلوط و یک نمونه مرکب نهایی برای هر یک از معادن تهیه شد. نمونه‌های برداشت شده به آزمایشگاه منتقل و در شرایط دمایی آزمایشگاهی هواخشک شدند. نمونه‌ها پس از قرار گرفتن در معرض هوا (در شرایط آزمایشگاهی)، الک شده و سپس آنالیز دانه‌بندی صورت گرفت. نمونه‌ها ابتدا از الک دو میلی‌متری عبور داده شده و توزیع اندازه ذرات کوچکتر از ۰/۰۵ میلی‌متر با استفاده از آزمایش هیدرومتری و توزیع فراوانی ذرات در محدوده ۰/۰۵ تا دو میلی‌متری با الک‌های ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵، یک و دو میلی‌متری تعیین شد. برای تعیین توزیع اندازه ذرات در حالت خشک از سری‌های الک و برای تعیین توزیع اندازه ذرات در حالت مرطوب از تلفیق روش هیدرومتری و الک استفاده شد. ذرات کوچکتر از ۰/۰۵ میلی‌متر با استفاده از هیدرومتری و ذرات بزرگتر از ۰/۰۵ میلی‌متر بعد از خشک شدن با سری الک‌های ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵، یک و دو میلی‌متری غربال شدند. به منظور بررسی کارایی مدل‌های مختلف در بیان توزیع اندازه ذرات رسوب، چهار مدل توزیع اندازه ذرات شامل مدل ویبول^۱، مدل جکی^۲، مدل ون گنوختن^۳، و مدل فردلاندر^۴ بر روی داده‌های به‌دست‌آمده از روش هیدرومتری برازش داده شد.

۲-۲- مدل ویبول

مدل سه پارامتری ویبول بر پایه تابع توزیع احتمالات ویبول، احتمال وجود ذره‌ای با اندازه d_i در جامعه ذرات خاک است و با رابطه ۱ بیان می‌شود (Fang et al., 1993) که در آن $M(d \leq d_i)$ جرم تجمعی ذرات خاک با قطر کوچکتر یا مساوی d_i پارامتر برازش، α و β به ترتیب پارامترهای مقیاس و شکل بوده و منطبق با گشتاورهای توزیع ویبول هستند.

$$M(d \leq d_i) = A - \exp\left[-\left(\frac{d_i}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (1)$$

¹ Weibull

² Jaky

³ Van genuchten

⁴ Feredlund

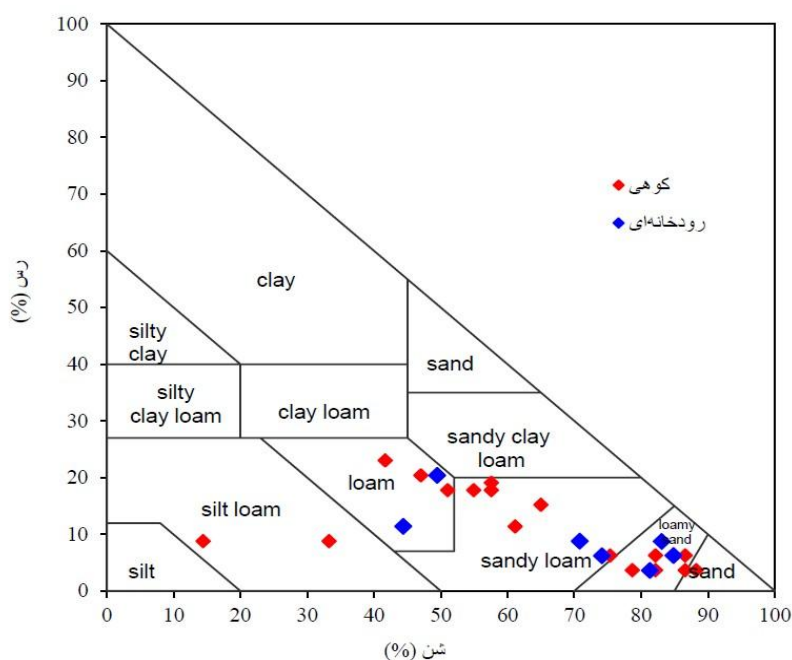
⁵ Unimodal

میزان شاخص نش- ساتکلیف به یک نزدیکتر باشد، به این معنی است که مدل عملکرد خوبی دارد (Mahmoodi et al., 2020). اگر مقدار GMER برابر عدد یک باشد، به این معنا است که تطابق کاملی میان داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده وجود دارد (Rezaee Abajelu et al., 2013). این ضریب بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی کلی مدل را نیز نشان می‌دهد. مقادیر بیش از ۱ برای این آماره بیان‌گر وجود کم‌برآوردی و مقادیر کمتر از ۱ بیان‌گر بیش‌برآوردی سیستماتیک مدل است. در آماره آکائیک تعداد پارامترهای مدل به‌عنوان معیار کارایی مدل در نظر گرفته می‌شود. هدف در این آماره، یافتن بهترین مدل بر مبنای حداقل خطا و نیز حداقل تعداد پارامترهای مدل است. کم بودن مقدار آن نشان‌دهنده کارایی مدل از حیث خطا و تعداد پارامترها است (Hwang, 2002). در نهایت برای مقایسه ویژگی‌های ذرات رسوبات معادن کوهی و رودخانه‌ای از آزمون t استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از نمونه‌های آنالیز شده در مثلث بافت خاک، نمونه‌های برداشت‌شده از معادن کوهی به‌ترتیب در کلاس بافتی لومی شنی و شنی لومی بود. بنابراین، نمونه‌های کوهی دارای بافت ریز تا متوسط دانه است. نمونه‌های برداشت‌شده از معادن رودخانه‌ای نیز در همین کلاس‌های بافتی قرار دارند (شکل ۲).

برازش مدل مناسب بر داده‌های توزیع اندازه ذرات، به دست آوردن تابعی پیوسته از اندازه در مقابل فراوانی است تا بتوان درون‌یابی دقیق‌تری بین داده‌های اندازه‌گیری‌شده به دست آورد. به‌همین دلیل معرفی و استفاده از مدل‌های کارآمدتر، می‌تواند در طبقه‌بندی ویژگی‌های رسوب اهمیت ویژه‌ای داشته باشد (Asadzadeh, 2018). برای یافتن مقدار بهینه پارامترهای مدل‌ها به‌طوری‌که بهترین برازش میان مدل‌های PSD و داده‌های تجربی ایجاد شود، از ابزار SOLVER در نرم‌افزار Excel استفاده شد. همچنین برازش مدل‌های مورد استفاده بر روی داده‌های مشاهده‌ای با روش رگرسیون غیرخطی انجام شد. برای ارزیابی دقت مدل‌های دانه‌بندی ذرات رسوب، از ضرایب کارایی ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، آماره آکائیک (AIC)، ضریب تبیین (R^2)، ضریب نش-ساتکلیف (NSE)، ضریب همسانی (d)، و نسبت میانگین هندسی خطا (GMER) استفاده شد. ضرایب کارایی برای بررسی توانایی مدل در شبیه‌سازی داده‌های مشاهده‌ای هستند (Krause et al., 2005) و هر کدام از آن‌ها قابلیت مدل را از جنبه‌های مختلف بررسی می‌کنند. برای مثال، ضریب تبیین (R^2) نشان‌دهنده این است که چند درصد تغییرات متغیر وابسته به‌وسیله متغیر مستقل تبیین می‌شود. مدلی که بزرگ‌ترین R^2 برازش را تولید کند بهترین مدل است. هرچه مقدار ضریب آکائیک کمتر (منفی‌تر) باشد به این معنی است که پیش‌بینی دقیق‌تر و مدل از دقت بالایی برخوردار است (Rezaee Abajelu et al., 2013). مقدار کوچک‌تر RMSE در هر مدل بیانگر برتری آن مدل است. هرچه



شکل ۲- مثلث بافت خاک

Figure 2- Soil texture triangle

رودخانه‌ای و کوهی وجود ندارد. هم‌چنین بیش‌تر درصد رسوبات را به ترتیب، شن، سیلت، شن بسیار ریز و رس تشکیل می‌دهد.

نتایج حاصل از بررسی تغییرات مجموع ویژگی‌های ریخت‌سنجی و دانه‌بندی رسوبات، در جدول (۱) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اختلاف معناداری میان نمونه‌های

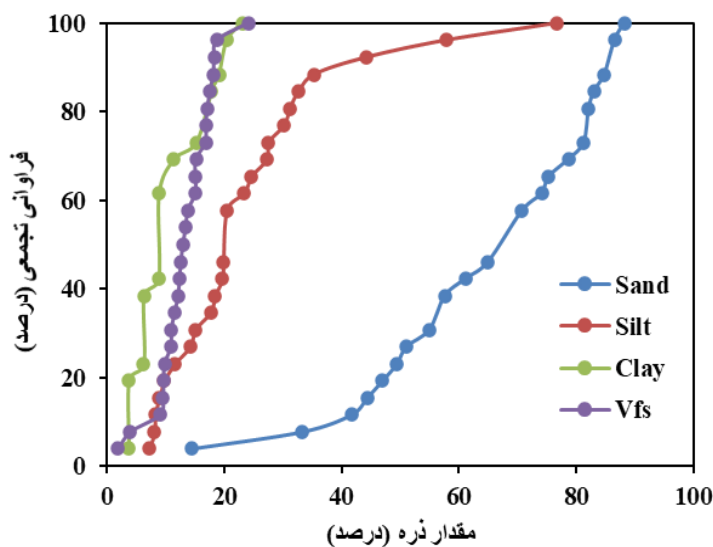
جدول ۱- ویژگی دانه‌بندی و ریخت‌سنجی نمونه رسوبات کوهی و رودخانه‌ای برداشت‌شده

Table 2- Characteristics of granulation and morphometry of samples of mountain and rivers sediments

d50 (mm)	d60 (mm)	d30 (mm)	d10 (mm)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	شن بسیار ریز (%)	پارامترهای آماری رسوب	نوع رسوب
0.0240	0.0296	0.0046	0.0003	14.45	7.17	3.69	3.96	Min	کوهی
0.2696	0.5049	0.1071	0.0389	88.24	76.74	23.01	24.11	Max	
0.1061	0.1531	0.0456	0.0094	63.42	25.45	11.12	14.21	Mean	
0.0627	0.1000	0.0354	0.0133	20.03	17.11	6.48	4.57	SD	
59.0600	65.2985	77.4754	140.9842	31.58	67.24	58.25	32.16	CV (%)	
0.0424	0.0580	0.0057	0.0003	44.39	8.15	3.65	1.88	Min	رودخانه‌ای
0.4908	0.6715	0.2397	0.0389	84.84	44.23	20.41	16.85	Max	
0.1681	0.2194	0.0834	0.0085	69.71	20.93	9.35	11.08	Mean	
0.1515	0.2054	0.0779	0.0138	16.41	12.73	5.46	4.65	SD	
90.1357	93.5933	93.4576	162.0514	23.53	60.82	58.41	41.98	CV (%)	

درصد بسیار کمی از نمونه‌های رسوب را تشکیل می‌دهد. می‌توان نتیجه گرفت که بیش‌تر درصد رسوبات را شن و سیلت تشکیل می‌دهد. شکل (۳) نیز بیان‌کننده این موضوع است.

همان‌طور که در جدول فوق مشاهده می‌شود میانگین بیش‌تر رسوبات در دامنه قطر d60 تا d50 قرار دارند؛ به این معنی که بیش‌تر رسوبات در اندازه متوسط تا درشت قرار دارند. قابل ذکر است که هم در رسوبات رودخانه‌ای و هم در رسوبات کوهی، رس

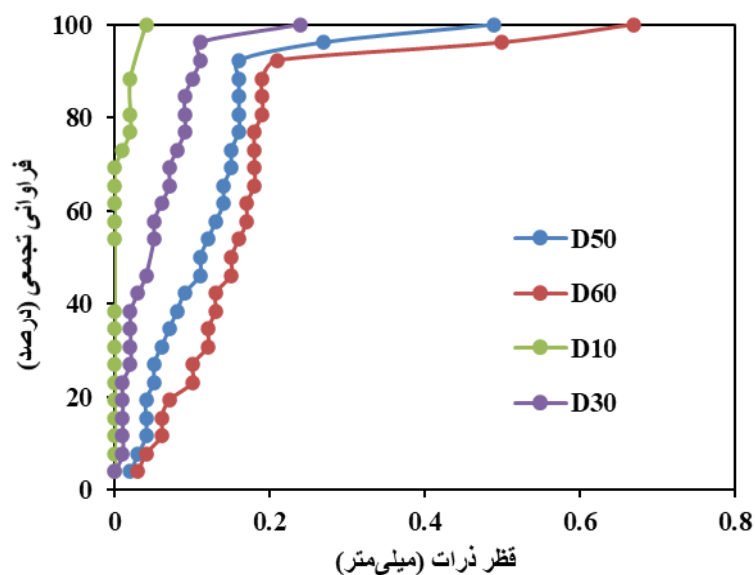


شکل ۳- درصد ذرات تشکیل‌دهنده رسوبات

Figure 3- Percentage of particles constituent of sediments

می‌دهد که در دامنه اندازه ذرات رس قرار دارد. این روند تغییرات در رسوبات رودخانه‌ای و کوهی مشترک است و تفاوت آن‌چنانی با یکدیگر ندارند.

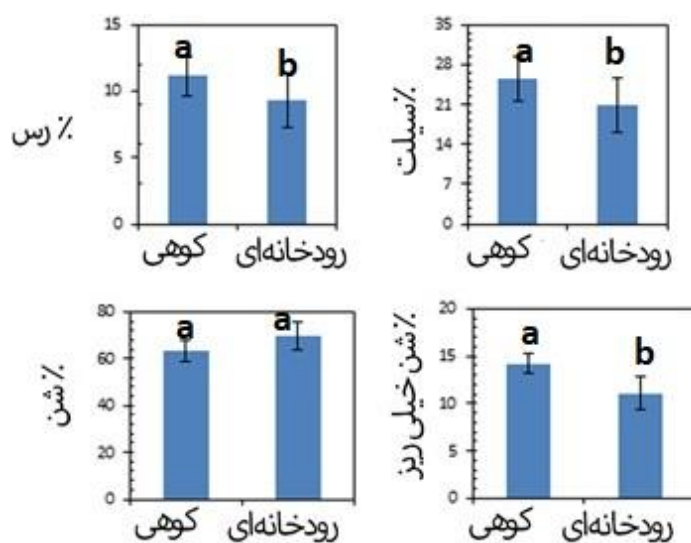
حجم بیش‌تر رسوبات را ذرات شن و سیلت تشکیل می‌دهند و دامنه قطر این ذرات بین d60 و d50 متغیر و زیر ۰/۲ میلی‌متر است (شکل ۴). سپس d30 که در محدوده شن بسیار ریز قرار دارد و کم‌ترین مقدار رسوب را ذراتی با قطر کم‌تر از d10 تشکیل



شکل ۴- قطر ذرات تشکیل دهنده رسوبات
Figure 4- Particle diameter of sediments

در رسوبات کوهی، میزان رس، سیلت و شن خیلی ریز بیش تر از رسوبات رودخانه‌ای بوده و مقدار شن در رسوبات رودخانه‌ای بیش تر از رسوبات کوهی است.

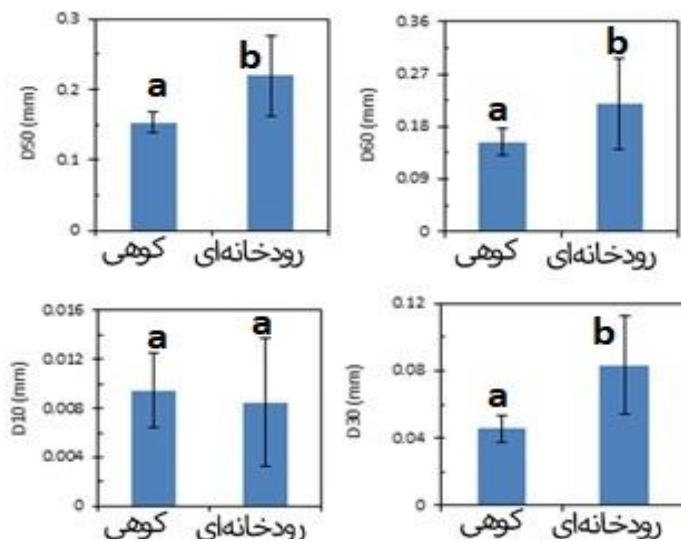
شکل (۵)، نشان دهنده میزان ذرات تشکیل دهنده رسوبات رودخانه‌ای و کوهی است. اختلاف بسیار کمی بین رسوبات رودخانه‌ای و کوهی از نظر مقدار ذرات تشکیل دهنده وجود دارد.



شکل ۵- مقایسه ذرات تشکیل دهنده رسوبات کوهی و رودخانه‌ای
Figure 5- Comparison of particles forming mountain and river sediments

d50، d60 و d30 بیش تر از رسوبات کوهی است. به نظر می‌رسد در معادن رودخانه‌ای بخشی از ذرات ریزتر توسط جریان آب رودخانه شسته شده و از دسترس خارج شده‌اند، درحالی که در معادن کوهی این ذرات هم‌چنان در دیپوی معادن باقی می‌مانند.

در شکل (۶)، اندازه ذرات شن، سیلت، رس و شن خیلی ریز در رسوبات رودخانه‌ای و کوهی مقایسه شده‌اند. میزان ذرات با قطر کمتر از یک میلی‌متر در رسوبات کوهی بیش تر از رودخانه‌ای است. هم‌چنین در رسوبات رودخانه‌ای نیز میزان ذرات با قطرهای

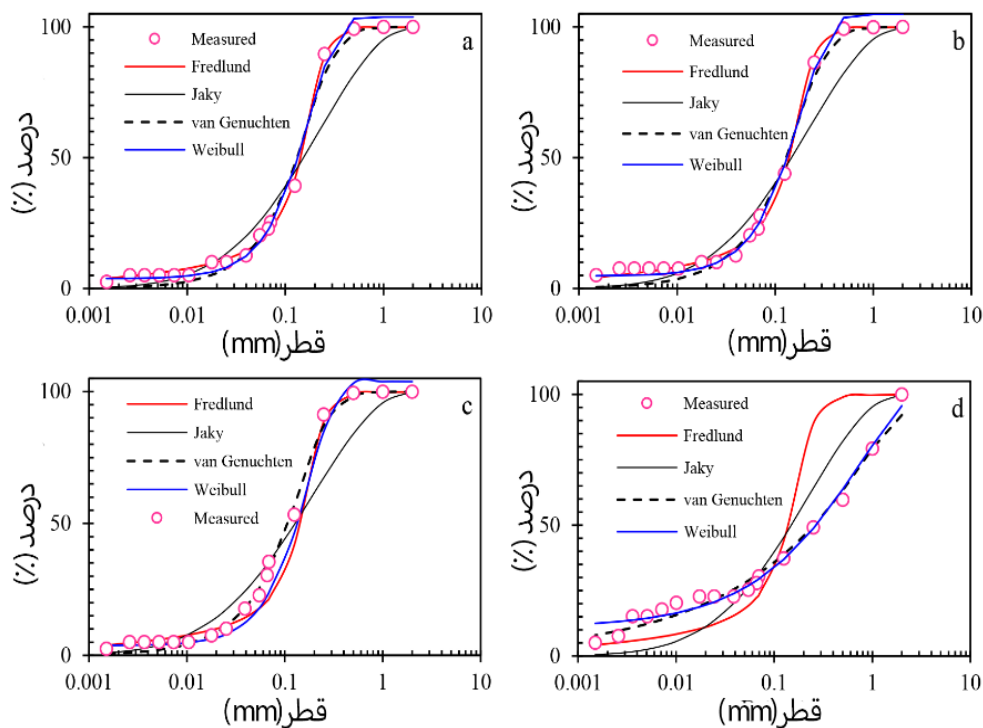


شکل ۶- مقایسه اندازه ذرات رسوبات کوهی و رودخانه‌ای
Figure 6- Comparison of particle size of mountain and river sediments

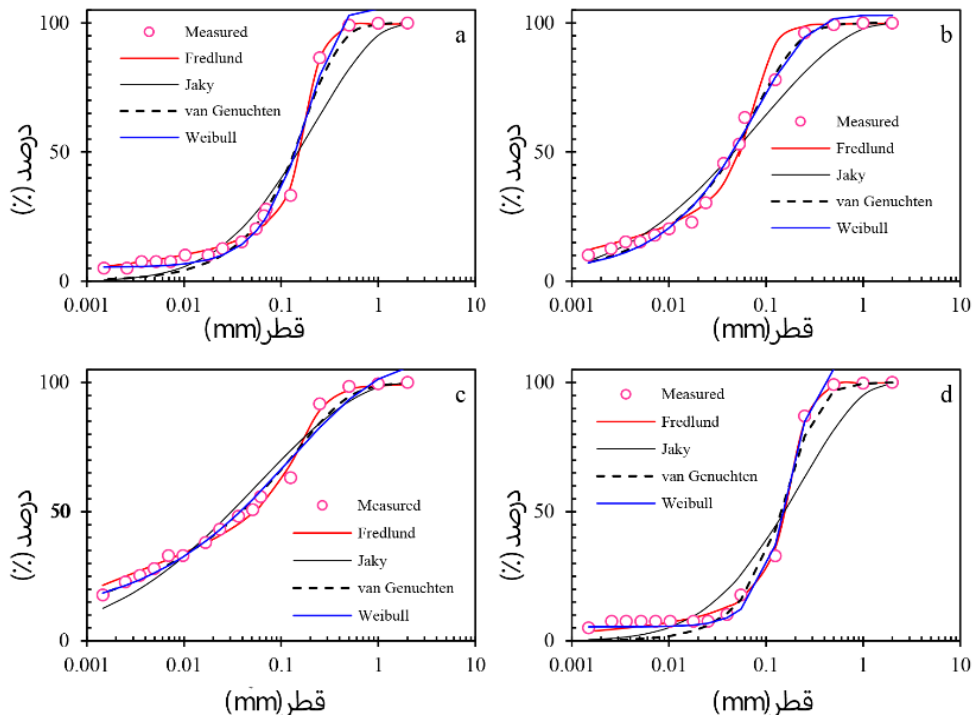
برای برازش این مدل‌ها از تمام ۲۶ نمونه کوهی و رودخانه، استفاده شد. برای نمونه، نحوه برازش مدل‌های ذکر شده بر چهار نمونه رسوب کوهی و رودخانه‌ای در شکل‌های (۷) و (۸) آورده شده است. مدل‌ها توانایی متفاوتی در توصیف داده‌های مربوط به توزیع اندازه ذرات رسوب دارند. به همین دلیل برای مقایسه قابلیت‌های مدل‌ها در برازش داده‌ها از ضرایب کارایی مختلفی استفاده شد.

بر اساس نتایج دانه‌بندی رسوبات، بیش‌تر درصد رسوبات را به ترتیب شن، سیلت و شن بسیار ریز و رس تشکیل می‌دهد که با نتایج پژوهش Asadzadeh et al. (2017) مطابقت دارد. ایشان در پژوهش خود نشان دادند رسوبات بستر و معلق رودخانه روضه‌چای در مجموع دارای بافت درشت و ذرات سیلت، شن بسیار ریز و شن در آن‌ها فراوانی بیش‌تری داشته است.

۳-۱- برازش مدل‌ها



شکل ۷- نمودارهای دانه‌بندی چهار نمونه رسوب کوهی و نحوه برازش چهار مدل مختلف بر آن‌ها
Figure 7- Granulation diagrams of four samples of mountain sediment and how to fit four different models on them



شکل ۸- نمودارهای دانه‌بندی چهار نمونه رسوب رودخانه‌ای و نحوه برازش چهار مدل مختلف بر آن‌ها
 Figure 8- Granulation diagrams of four samples of River sediment and how to fit four different models on them

نرم‌افزار Excel استفاده شد. در جدول (۲) پارامترهای مدل‌های توزیع اندازه ذرات ارائه شده است.

برای یافتن مقدار بهینه پارامترهای مدل‌ها به‌طوری‌که بهترین برازش میان مدل‌های توزیع اندازه ذرات PSD و داده‌های تجربی ایجاد شود، از ابزار (Add in) SOLVER در

جدول ۲- پارامترهای مدل‌های PSD مورد استفاده

Table 2- Parameters of PSD models used

Jaky		Van		Weibull			Fred			مدل	
p	N	dg	a	b	c	alpha	N	m	Df	پارامتر	
3.31	3.06	0.20	1.04	0.18	1.58	0.20	4.68	0.93	1225.98	کوهی	1
3.09	3.16	0.23	1.04	0.18	1.58	0.20	4.68	0.93	1225.98	کوهی	2
3.14	3.05	0.24	1.05	0.19	1.49	0.20	4.50	0.92	1225.98	کوهی	3
3.12	2.36	1.74	1.11	0.77	0.66	0.99	2.09	0.67	1223.51	کوهی	4
3.01	3.23	0.23	1.05	0.19	1.77	0.20	4.99	0.94	1226.01	کوهی	5
5.40	2.28	0.32	1.05	0.08	0.44	0.19	1.67	0.54	1568.76	کوهی	6
5.00	2.31	0.37	1.06	0.12	0.47	0.22	1.85	0.57	2022.80	کوهی	7
4.40	2.38	0.38	1.10	0.18	0.63	0.23	3.36	0.50	1795.06	کوهی	8
3.63	2.59	0.32	1.08	0.19	1.02	0.22	5.10	0.59	6818.36	کوهی	9
2.91	3.42	0.22	1.04	0.19	1.84	0.21	4.92	1.02	298.51	کوهی	10
2.96	3.31	0.23	1.03	0.19	1.69	0.21	4.91	0.94	1226.00	کوهی	11
4.54	2.36	0.37	1.09	0.17	0.59	0.22	3.40	0.47	9276.99	کوهی	12
4.79	2.84	0.07	1.01	0.05	1.05	0.06	3.47	0.86	103421.80	کوهی	13
4.83	2.34	0.34	1.07	0.13	0.54	0.22	3.15	0.46	14645.14	کوهی	14
3.93	2.54	0.29	1.05	0.15	0.81	0.22	3.57	0.64	12280.00	کوهی	15
3.08	3.26	0.24	1.05	0.20	2.06	0.22	4.88	0.93	1225.98	رودخانه‌ای	16
5.01	2.30	0.38	1.08	0.13	0.49	0.23	3.46	0.38	39129.96	رودخانه‌ای	17
4.51	2.57	0.15	1.03	0.08	0.79	0.10	4.72	0.59	1225.98	رودخانه‌ای	18
5.12	3.09	0.04	1.02	0.03	1.37	0.04	3.42	1.04	1235.13	کوهی	19
4.51	2.24	1.56	1.12	0.50	0.44	0.85	1.70	0.48	458147.60	کوهی	20
4.13	2.46	0.33	1.08	0.17	0.76	0.19	2.13	0.75	2022.80	کوهی	21
3.64	2.58	0.34	1.07	0.20	0.96	0.23	4.93	0.59	14833.07	کوهی	22
3.12	2.96	0.27	1.05	0.20	1.45	0.23	6.22	0.72	5811.38	رودخانه‌ای	23
3.58	2.65	0.29	1.05	0.18	0.98	0.20	2.68	0.92	237.23	رودخانه‌ای	24
3.43	2.70	0.31	1.06	0.20	1.12	0.24	5.83	0.63	20679.83	رودخانه‌ای	25
2.09	3.06	0.20	1.12	0.98	1.11	0.97	2.42	0.90	20679.83	رودخانه‌ای	26

۲-۳-۲- ارزیابی مدل‌های توزیع اندازه ذرات در توصیف

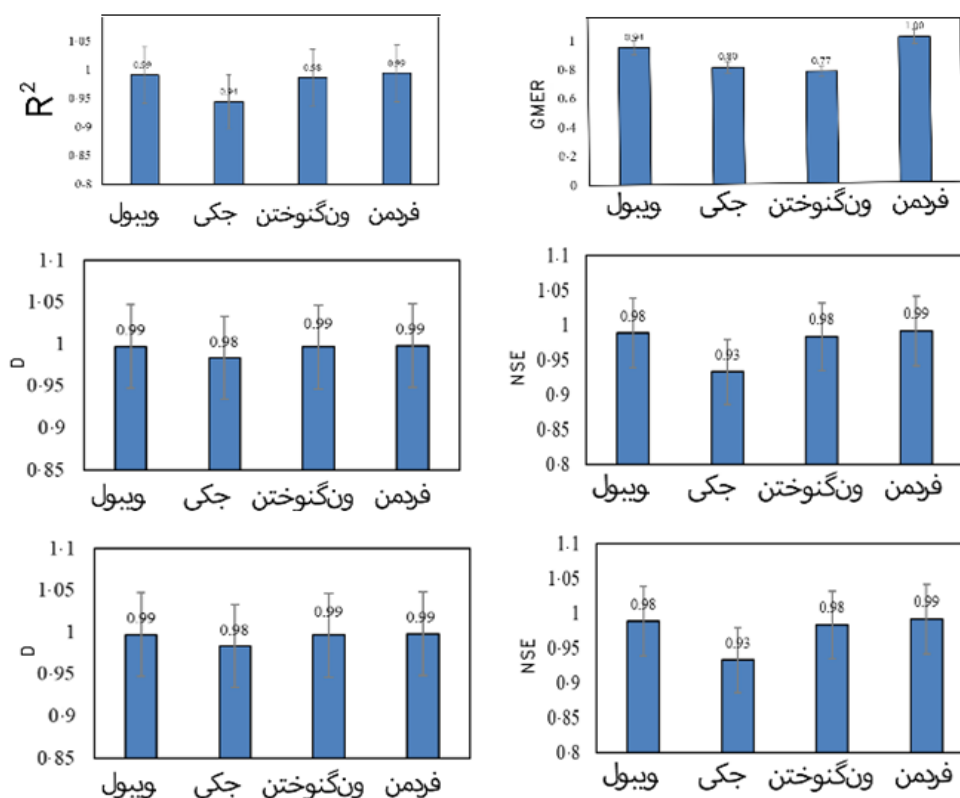
ویژگی‌های اندازه‌های ذرات رسوب

نتایج مربوط به ضرایب کارایی مدل‌های توزیع اندازه ذرات مورد استفاده در این پژوهش در ادامه ارائه شده است:

۳-۲-۱- آماره R²

میانگین مقادیر ضریب تبیین در مدل‌های مختلف در دامنه ۰/۹۹-۰/۹۲ بود. مطابق شکل (۹) بیش‌ترین مقدار میانگین ضریب تبیین (۰/۹۹) مربوط به مدل فردلاند و کم‌ترین (۰/۹۲) نیز متعلق به مدل جکی است. سه مدل فردلاند، ون‌گنوختن و

ویبول دارای کم‌ترین مقدار خطای استاندارد میانگین برای ضریب تبیین نیز بوده‌اند که این امر نشان‌دهنده کارایی مطلوب این مدل‌ها در تمامی نمونه‌های مورد مطالعه است. در پژوهش‌های دیگر نیز کارایی بیش‌تر این مدل‌ها بر اساس آماره R² گزارش شده است (Asadzadeh, 2018; Shangguan et al., 2014). درحالی‌که مدل جکی دارای بیش‌ترین مقدار پراکندگی ضریب تبیین بود که نشان می‌دهد این مدل علاوه بر اینکه کارایی کم‌تری دارد، دامنه توانایی آن در نمونه‌های مختلف نیز متفاوت است.



شکل ۹- میانگین و خطای استاندارد آماره‌ها برای مدل‌های مختلف در نمونه‌های رسوب
Figure 9- Mean and standard error of statistic for different models in sediment samples

بودند. این امر نشان می‌دهد این مدل‌ها دارای ثبات عملکرد مطلوب در طیف نسبتاً وسیعی از نمونه‌های رسوب هستند.

۳-۲-۳- آماره AIC

دقت برازش مدل به داده‌های مشاهده شده به تعداد پارامترهای مدل بستگی دارد، البته افزایش تعداد پارامترهای یک مدل به مفهوم بهبود قابلیت برازش آن مدل نیست (Hwang, 2004). بر اساس این آماره، مدلی که دارای کم‌ترین مقدار معیار آکائیک باشد به‌عنوان مدل مطلوب شناخته می‌شود (Hwang et al., 2002). بررسی مقادیر این آماره نشان می‌دهد که هرچند آماره

۳-۲-۲- آماره RMSE

نتایج آماره RMSE که تعداد پارامترهای مدل در آن لحاظ نمی‌شود، با ضریب تبیین مشابه بوده و بر اساس این آماره مدل‌های ویبول، فردلاند، ون‌گنوختن و سپس مدل جکی با مقادیر RMSE برابر با ۰/۰۳۳، ۰/۰۳۵، ۰/۰۳۶ و ۰/۰۷۹ به ترتیب به‌عنوان برترین و ضعیف‌ترین مدل در توصیف توزیع اندازه ذرات رسوبات در نمونه‌های برداشت شده از مناطق مورد مطالعه هستند (شکل ۹). همچنین مدل‌های فردلاند و ویبول، دارای کم‌ترین مقدار تغییرات RMSE در بین نمونه‌های مختلف

طبق نتایج به دست آمده (شکل ۹) از بین چهار مدل PSD، مدل فردلاند قابلیت خوبی در توصیف اندازه ذرات داشته است. این مدل دارای کمترین خطا نسبت به سایر مدل‌هاست و افزایش تعداد پارامترهای مدل دلیل بر افزایش دقت مدل نیست. نتایج بررسی (Hwang et al. (2002)، Zhao et al. (2011)، Botula et al. (2013) نشان داد که مدل فردلاند قابلیت خوبی نسبت به سایر مدل‌ها در توصیف اندازه ذرات دارد.

۴- نتیجه‌گیری

مدل‌ها توانایی متفاوتی در توصیف داده‌های توزیع اندازه ذرات رسوب دارند. لذا به منظور مقایسه مدل‌های مورد بررسی، پس از برآزش هر مدل به توزیع اندازه ذرات رسوب، ضرایب کارایی مدل مذکور در هر نمونه محاسبه شد. در این پژوهش کارایی مدل‌ها با آماره‌هایی ارزیابی شد که علاوه بر دقت مدل در برآزش داده‌ها، تعداد پارامتر را نیز در نظر می‌گیرند (مانند آماره آکاییک). مطابق شکل ۳، بیش‌تر درصد رسوبات را شن و سیلت تشکیل می‌دهد. لذا، رسوبات حاصل از شستشوی معادن شن و ماسه به دلیل دارا بودن مقادیر قابل توجهی سیلت، می‌توانند برای اصلاح بافت خاک مورد استفاده قرار گیرند. هرچند اختلاف بسیار کمی بین رسوبات رودخانه‌ای و کوهی از نظر مقدار ذرات تشکیل‌دهنده وجود دارد، با این حال به دلیل تفاوت میزان رس، سیلت، شن و شن خیلی ریز در رسوبات کوهی و رودخانه‌ای پیشنهاد می‌شود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات معادن شن و ماسه کوهی و رودخانه‌ای به تفکیک بررسی شود تا با توجه به منشأ متفاوت و فرایند متفاوتی که در تشکیل آن‌ها دخالت دارد بتوان امکان‌سنجی استفاده از این رسوبات برای بهینه‌سازی خاک و سایر کاربردها را نیز مورد پژوهش قرار داد.

مذکور برای تعداد پارامترهای بیش‌تر مدل جریمه‌ای در نظر می‌گیرد با این حال مدل چهار پارامتری فردلاند (۰/۶۷۳-) را می‌توان به عنوان کاراترین مدل از نظر خطا و تعداد پارامتر برای توصیف توزیع اندازه ذرات رسوب محسوب نمود و مدل‌های ویبول، ون‌گونختن و جکی با مقادیر ۰/۸۲/۶۰-، ۰/۸۶/۵۹- و ۰/۶۲/۳۲- به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند (شکل ۹). بر اساس این آماره مدل جکی با مقدار ۰/۶۲/۳۲- ضعیف‌ترین مدل است. همچنین نتایج این آماره نیز مؤید برتری نسبی مدل فردلاند بود.

۳-۲-۴- شاخص d و ضریب کارایی NSE

نتایج شاخص d و ضریب نش-ساتکلیف (NSE) شبیه هم بوده و هر دو آماره مدل جکی را به ترتیب با مقادیر ۰/۹۸۳ و ۰/۹۳۳ به عنوان کم‌برآوردترین مدل‌ها معرفی می‌کنند. مدل فردلاند، ویبول و ون‌گونختن با مقادیر نزدیک به یک، دقت بالایی را از نظر کارایی داشتند. با توجه به شکل (۹) بیش‌ترین مقدار خطای استاندارد میانگین برای شاخص d و ضریب نش-ساتکلیف نیز مربوط به مدل جکی است که نشان‌دهنده بالا بودن میزان پراکنش داده‌ها از میانگین در این مدل است.

۳-۲-۵- آماره GMER

از نظر پارامتر GMER، مدل‌های فردلاند، ویبول و فردلاند با مقادیر به ترتیب ۱/۰۰۳ و ۰/۹۴ برآوردی مناسب از توزیع اندازه ذرات ارائه کردند (شکل ۹). از نظر این آماره مدل‌های فردلاند و ویبول به عنوان مدل‌های بیش برآورد و مدل‌های جکی و ون‌گونختن به ترتیب با مقادیر ۰/۸۰ و ۰/۷۷ به عنوان مدل‌های کم‌برآورد شناخته شدند.

منابع

- اسدزاده، ف. (۱۳۹۶). ارزیابی خطای برآورد در تعدادی از مدل‌های توزیع اندازه ذرات برای توصیف دانه‌بندی رسوبات آبی. *پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)*، ۳۱(۴)، ۵۸۷-۵۹۹.
- اسدزاده، ف.، جلال‌زاده، س.، و صمدی، ع. (۱۳۹۶). مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات معلق و بستر رودخانه روضه‌چای. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۴(۲)، ۲۷۳-۲۸۸.
- اصغری سراسکانرود، ص. (۱۳۹۳). تحلیل تأثیرات برداشت شن و ماسه بر مورفولوژی رودخانه قرنقو (محدوده بعد از سد سهند تا روستای خراسانک). *هیدروژئومورفولوژی*، ۱، ۳۹-۳۱.
- افراسیابی، ف.، خداوردیلو، ح.، و اسدزاده، ف. (۱۳۹۷). ارزیابی ساختار خطا در برخی مدل‌های توزیع اندازه ذرات خاک. *تشریح آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۱۳(۴)، ۱۱۳۴-۱۱۴۷.
- ذوالفقاری، ع.ا.، تیرگر سلطانی، م.ت.، یزدانی، م.ر.، و سلیمانی ساردو، ا. (۱۳۹۳). ارزیابی کارایی مدل‌ها در توصیف توزیع اندازه ذرات خاک. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۵(۲)، ۱۹۹-۲۰۹.
- راستگو، م.، بیات، ح.، راستگو، ع.، و ابراهیمی، ع. (۱۳۹۳). تأثیر گروه‌های بافتی مختلف بر قابلیت برآزش مدل‌های متفاوت منحنی توزیع اندازه ذرات خاک. *آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۸(۱)، ۱۱۱-۱۲۶.
- رضائی آباچالو، ا.، بهمنش، ج.، محمدنژاد، ب.، زینال‌زاده، ک.، و حبیب‌زاده آذر، ب. (۱۳۹۲). ارزیابی توابع انتقالی در برآورد رطوبت اشباع خاک‌های آهکی. *مهندسی آبیاری و آب*، ۳(۴)، ۷۱-۸۲.
- شهناز، م.، چرم، م.، و حسونی‌زاده، ه. (۱۳۸۸). شناخت و بهره‌وری رسوبات رودخانه کارون در کشاورزی با مطالعه خصوصیات

مؤلفه‌های بیان آب و هیدروگراف تفکیک‌شده حوزه آبخیز
ارازکوسه از طریق مدل‌سازی تغذیه آب زیرزمینی با مدل
wetspass. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، (۱) ۲۷، ۲۴-۲۷.

فیزیکی- شیمیایی و غلظت عناصر سنگین در رسوبات. آب و
فاضلاب، ۳۰(۳)، ۹۴-۹۸.

محمودی، ز.، بهره‌مند، ع.، عبدالهی، خ.، سعدالدین، ا.، کوهستانی، ش.،
و کمکی، چ.ب. (۱۳۹۹). بررسی تغییرات زمانی و مکانی

References

- Afrasiabi, F., Khodaverdiloo, H., & Asadzadeh, F. (2017). Characterizing the error structure of selected soil particle size distribution models. *Journal of Water and Soil*, 31(4), 1135-1147 (in Persian).
- Asadzadeh, F., Jalalzadeh, S., & Samadi, A. (2017). Comparison of the physical and chemical properties of the bed and suspended sediments of the Roze-Chay River. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(2), 273-288 (in Persian).
- Asadzadeh, F. (2018). Evaluation of prediction in some particle size distribution models for river sediments. *Iranian Journal of Soil Research*, 31(4), 587-599 (in Persian).
- Asghari Sereskanrood, S. (2005). Analyzing the effects of gravel and sand mining on the morphology of Grango River (between Sahand Dam to Khorasanak village). *Hydrogeomorphology*, 1, 21-39 (in Persian).
- Boadu, F.K. (2000). Hydraulic conductivity of soils from grain-size distribution: new models. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126(8), 739-746.
- Botula, Y.D., Cornelis, W.M., Baert, G., Mafuka, P. & Van Ranst, E. (2013). Particle size distribution models for soils of the humid tropics. *Journal of Soils and Sediments*, 13(4), 686-698.
- Buchan, G.D., Grewal, K.S., & Robson, A.B. (1993). Improved models of particle- size distribution: An illustration of model comparison techniques. *Soil Science Society of America Journal*, 57, 901- 908.
- Cronican, A.E., & Gribb, M.M. (2004). Hydraulic conductivity prediction for sandy soils. *Groundwater*, 42(3), 459-464.
- Esmaelnejad, L., Siavashi, F., Seyedmohammadi, J., & Shabanpour, M. (2016). The best mathematical models describing particle size distribution of soils. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(4), 1-11.
- Fang, Z., Patterson, B.R., & Turner Jr, M.E. (1993). Modeling particle size distributions by the Weibull distribution function. *Materials Characterization*, 31(3), 177-182.
- Flemming, B.W. (2007). The influence of grain-size analysis methods and sediment mixing on curve shapes and textural parameters: implications for sediment trend analysis. *Sedimentary Geology*, 202(3), 425-435.
- Fredlund, M.D., Wilson, G.W., & Fredlund, D.G. (2002). Use of the grain-size distribution for estimation of the soil-water characteristic curve. *Canadian Geotechnical Journal*, 39(5), 1103-1117.
- Haverkamp, R.T., & Parlange, J.Y. (1986). Predicting the water-retention curve from particle-size distribution: 1. Sandy soils without organic matter. *Soil Sciences*, 142(6), 325-339.
- Hwang, S.I., Lee, K.P., Lee, D.S., & Powers, S.E. (2002). Models for estimating soil particle-size distributions. *Soil Science Society of America Journal*, 66(4), 1143-1150.
- Hwang, S.I. (2004). Effect of texture on the performance of soil particle-size distribution models. *Geoderma*, 123(3), 363-371.
- Krause, P., Boyle, D.P., & Bäse, F. (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*, 5, 89-97.
- Kondolf, G.M. (1994). Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining. *Landscape and Urban Planning*, 28, 225-243.
- Mahmoodi, Z., Bahremand, A.R., Abdollahi, Kh., Sadoddin, A., Kuestani, Sh., & Komaki, Ch.B. (2020). Investigation of temporal and spatial variations of water balance components and hydrograph separation of Arazkouse watershed through groundwater recharge modeling using WetSpas model. *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(1), 27-47 (in Persian).
- Rastgo, M., Bayat, H., & Ebrahimi, E. (2014). The effect of textural groups on the fitting capability of soil particle size distribution curve models. *Journal of Water and Soil*, 28(1), 111-126 (in Persian).
- Rezaee Abajelu, E., Behmanesh, J., Mohammad Nejjad, B., Zeynalzadeh, K., & Habibzadeh Azar, B. (2013). Evaluation of pedotransfer Functions in estimating saturated water content of limy soils. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 3(4), 71-82 (in Persian).
- Shahnavaz, M., Charm, M., & Hasounipourzadeh, H. (2009). Study of the physicochemical characteristics and heavy metal of concentrations sediments of the Karoon river for their application in agriculture. *Water and Wastewater*, 20(3), 94-98 (in Persian).
- Shangguan, W., Dai, Y., García-Gutiérrez, C., & Yuan, H. (2014). Particle-size distribution models for the conversion of chinese data to FAO/USDA System. *The Scientific World Journal*, 1-11.
- Sigua, G.C., Holtcamp, M.L., & Coleman, S.W. (2004). Assessing the efficacy of degraded

- materials from Lakepanasoffkee, Florida: Implication to environment and agriculture-Part 2: Pasture establishment and forage productivity. *Environmental Science and Pollution Research*, 11, 394-399.
- Yang, X., Lee, J., Barker, D.E., Wang, X., & Zhang, Y. (2012). Comparison of six particle size distribution models on the goodness-of-fit to particulate matter sampled from animal buildings. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62(6), 725-735.
- Zhao, P., Shao, M.A., & Horton, R. (2011). Performance of soil particle-size distribution models for describing deposited soils adjacent to constructed dams in the China Loess Plateau. *Acta Geophysica*, 59(1), 124-138.
- Zolfaghari, A.S., Tirgar Soltani, M.T., Yazdani, M.R., & Soleimani Sardo, E. (2014). Investigation of models for describing soil particle size distribution. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 45(2), 199-209 (in Persian).