**فرسایش خاک رس واگرا و بهسازی با استفاده از الیاف و آهک**

مرجان شاهین فر1، ناصر حافظی مقدس2

1دانشجوی دکتری زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

2 استاد گروه زمین شناسی،دانشکده علوم پایه ، دانشگاه فردوسی مشهد

[shahinfar.marjan@mail.um.ac.ir](mailto:shahinfar.marjan@mail.um.ac.ir)

**چکيده**

در گذشته تصور میشد خاک­های رسی در مقابل جریان آب از مقاومت بالایی برخوردارند. لیکن در سال­های اخیر مشخص شده است که رس­هایی در طبیعت یافت می­شوند که با عبور جریان آب به شدت شسته می­شوند. این خاک­ها یا همان خاکهای واگرا ، خاک­های ریزدانه­ای هستند که در آب­های با غلطت پایین نمک به راحتی دچار آب­شستگی می­گردند. خاک­های واگرا معمولاً دارای مقادیر بالایی یون سدیم در کاتیون­های جذبی خود می­باشند. اگر در محل تشکیل کانی­های رسی غلظت یون سدیم بالا باشد، امکان تشکیل خاک­های واگرا فراهم می­گردد. پدیده واگرایی و اهمیت شناخت آن در طرح­هایی نظیر سدهای خاکی و کانال­های آبرسانی که تمرکز فشار آب در داخل خاک وجود دارد، دارای اهمیت بسیار زیادی می­باشد. ﺑﺮاي ﭘﺎﯾﺪارﺳﺎزي ﺧﺎك­ﻫﺎي ﻣﺴﺌﻠﻪ­دار روش های گوناگونی همانند اﻓﺰودنی هاي ﺷﯿﻤﯿﺎﯾﯽ، ﺟﺎﺑﺠﺎ ﮐﺮدن ﺧﺎك، ﮐﻨﺘﺮل ﺗﺮاﮐﻢ، ﮐﻨﺘﺮل رﻃﻮﺑﺖ، ﺑﺎر اﺿﺎﻓﯽ و روش های ﺣﺮارﺗﯽ وجود دارد.

**واژه‌هاي كليدي:** خاک رس، آب شستگی، واگرایی، بهسازی

**مقدمه**

تعریف خاک­های واگرا

خواص مکانیکی خاک­ها با افزایش رطوبت و اشباع شدن تغییر می­کنند. در برخی از خاک­ها بر اثر افزایش رطوبت پدیده­های خاصی بروز می­کند که بعضاً به خسارت­های عمده­ای در طرح­های عمرانی منجر میگردد(عسگری،1373). در گذشته تصور میشد خاکهای رسی در مقابل جریان آب از مقاومت بالایی برخوردارند. لیکن در سال­های اخیر مشخص شده است که رس­هایی در طبیعت یافت می­شوند که با عبور جریان آب به شدت شسته می­شوند. این خاک­ها یا همان خاکهای واگرا ، خاک­های ریزدانه­ای هستند که در آب­های با غلطت پایین نمک به راحتی دچار آب­شستگی میگردند. خاک­های واگرا معمولاً دارای مقادیر بالایی یون سدیم در کاتیون­های جذبی خود می­باشند. اگر در محل تشکیل کانیهای رسی غلظت یون سدیم بالا باشد، امکان تشکیل خاکهای واگرا فراهم می­گردد. واژه رس در ﻋﻠﻢ ﻣﮑﺎﻧﯿﮏ ﺧﺎك، در دو ﻣﻮرد، ﯾﮑﯽ ﺗﻮﺻﯿﻒ اﻧﺪازه ذرات ﺧﺎك و دﯾﮕﺮي ﺗﻮﺻﯿﻒ اﻧﻮاع ﺧﺎك، ﺑﻪ ﮐﺎر ﺑﺮده ﻣﯽ ﺷﻮد. در ﻣﻮرد اول ﮐﻠﻤﻪ رس ﺑﺮ آن دﺳﺘﻪ از ذرات ﺧﺎك اﻃﻼق ﻣﯽ ﮔـﺮدد ﮐـﻪ از mm 0.002 ﮐﻮﭼﮑﺘﺮﻧﺪ، اﻣﺎ در ﺣﺎﻟﺖ دوم ﺧﺎك رس ﺧﺎﮐﯽ اﺳﺖ ﮐﻪ ﭼﺴـﺒﻨﺪﮔﯽ و ﺧـﻮاص ﺧﻤﯿـﺮي وﯾـﮋه­اي دارد . ﺑـﺎ اﯾـﻦ ﻧﮕﺮش ﺗﻤﺎم ذرات ﺑﻪ اﻧﺪازه رس اﻟﺰاﻣﺎً ﮐﺎﻧﯽ رﺳﯽ ﻧﯿﺴﺘﻨﺪ. ﻣﺜﻼً ذرات ﺑﺴﯿﺎر رﯾـﺰ ﮔـﺮد ﺳـﻨﮓ ﻣﻤﮑـﻦ اﺳـﺖ ﺑـﻪ اﻧﺪازه ذرات درﺷﺖ رس ﺑﺎﺷﻨﺪ. ﺑﺎﻻ ﺑﻮدن درﺻﺪ ذرات ﮐﺎﻧﯽ­ﻫﺎي رﺳﯽ در ﯾﮏ ﺧﺎك ﺑﺮ وﯾﮋﮔﯽ ﻫﺎي آن ﺧﺎك اﺛـﺮ ﻣـﯽ­ﮔـﺬارد. ﻣﯿـﺰان اﯾـﻦ ﺗﺄﺛﯿﺮ ﺑﻪ ﻧﺴﺒﺖ درﺻﺪ وزﻧﯽ اﯾﻦ ذرات در ﺧﺎك ﺑﺴﺘﮕﯽ دارد. ﺑﻪ ﻃﻮر ﮐﻠﯽ ﻧﻘـﺶ ذرات رس ﺑـﻪ دﻟﯿـﻞ ﺳـﺎﺧﺘﻤﺎن ﺑﻠﻮري ﺧﺎص اﯾﻦ ذرات، دررﻓﺘﺎرﻋﻤﻮﻣﯽ ﺧﺎك­ﻫﺎي رﺳﯽ ﺗﻌﯿﯿﻦ ﮐﻨﻨـﺪه اﺳـﺖ. خاک­های واگرا، خاک­های رسی هستند که در آب­های با غلظت پایین نمک به راحتی شسته می­شوند. این رس­ها معمولاً دارای مقادیر بالایی یون سدیم در کاتیون­های جذبی خود می­باشند (معماریان،1392).

واگرایی، یک پدیده­ی پیشرونده می­باشد که از یک نقطه با تمرکز جریان آب شروع شده و به تدریج گسترش می­یابد. نقطه شروع پدیده واگرایی می­تواند ترک­های ناشی از انقباض، نشست نامساوی و یا ترک­های هیدرولیکی باشد. پدیده واگرایی و اهمیت شناخت آن در طرح­هایی نظیر سدهای خاکی و کانال­های آبرسانی که تمرکز فشار آب در داخل خاک وجود دارد، دارای اهمیت بسیار زیادی می­باشد (سهرابی و عسگری، 1379). تمایل به واگرایی در یک خاک مشخص، بستگی به فاکتورهای مختلفی از جمله؛ ساختار شیمیایی و کانی شناسی رس، و همچنین نمک­های نامحلول در آب موجود در حفرات خاک دارد. این نوع خاک در آب­های با سرعت جریان کم به سرعت فرسایش می­یابند، حتی در مقایسه با ماسه­های خوب دانه­بندی شده­ی فاقد چسبندگی و سیلت­ها(Knodel,1991) .کانی­های رسی، آلومینیوم سیلیکات­های مرکب تشکیل شده از دو واحد اصلی اند. چهاروجهی سیلیکا و هشت وجهی آلومینا، هر واحد چهاروجهی سیلیکا، شامل چهار یون اکسیژن است که یون سیلیکون را احاطه کرده اند و واحد یونی را تشکیل میدهند. سه اتم اکسیژن موجود در قاعده هر چهار وجهی با چهار وجهی های مجاور مشترک اند. واحد های هشت وجهی از شش هیدروکسیل تشکیل شده اند که اتم آلومینیوم را احاطه کرده اند. ترکیب واحدهای هشت وجهی آلومینیوم هیدروکسیل، ورق هشت وجهی را به دست می دهد. گاهی در واحدهای هشت وجهی، منیزیم به جای اتم های آلومینیوم قرار می گیرد(Das,1983).

پیشینه مطالعات

از راﻫ­­ﻬﺎي ﺷﻨﺎﺳﺎﯾﯽ ﺧﺎك ﻫﺎي واﮔﺮا ﻣﯽ ﺗﻮان ﺑﻪ آزﻣﺎﯾﺸﺎت آزﻣﺎﯾﺸﮕﺎﻫﯽ ﻫﯿﺪروﻣﺘﺮي ﻣﻀﺎﻋﻒ، ﮐﺮاﻣﺐ، ﭘﯿﻦ ﻫﻮل و آزﻣﺎﯾﺸﺎت ﺷﯿﻤﯿﺎﯾﯽ اﺷﺎره ﻧﻤﻮد. شناسایی خاک های واگرا در مهندسی عمران سابقه چندان طولانی نداشته و نخستین بار میدلتون پدیده واگرایی را یکی از عوامل موثر در فرسایش خاک های ریز دانه معرفی کرد(Ouhadi & Goodarzi, 2006). ولک نیز واگرایی خاک ها را دلیل اصلی بسیاری از خرابی هایی که در سدهای خاکی کوچک، بندها و خاکریزهای طراحی شده در سازمان حفاظت خاک آمریکا، مشاهده شده بود، دانست. پژوهش هایی که عمدتا در استرالیا بر روی علل تخریب سدهای خاکی کوتاه انجام پذیرفت، به شناخت بهتر رس هایی که به سهولت شسته می شدند، منجر گردید(Sherard et al.,1976). فرآیندهای فرسایش، رمبندگی و واگرایی متاثر از خاصیت شکفتگی لس­ها است. رطوبت، تراکم و درصد رس موجود بین دانه ها کنترل کننده مقاومت برشی و تحکیم پذیری لس ها در اثر اعمال بارهای استاتیکی و تراکم دینامیکی است. نمونه های لسی در ضربات مختلف تراکم دینامیکی رفتارهای متفاوتی از خود نشان می دهند، بطوری­که در ضربات بین 4 تا 10 ویژگی های خاک بهبود یافته و در ضربات دیگر دارای روند کاهشی است. خاک های لسی مناطق مطالعاتی مستعد فرآیندهای مخاطره آمیز مثل فرسایش، رمبندگی و واگرایی است. شدت و نحوه وقوع هریک از آن­ها در نقاط مختلف متفاوت است(رضایی ،1392). در پژوهش های بعدی ، محققان پدیده رگاب را در سدهای خاکی کوتاه با در نظر گرفتن نوع خاک، نسبت جذب سدیم، میزان املاح آب موجود در خاک مورد بررسی قرار دادند(Haeri,1965). همچنین اینگل و ایکیسان نتایج مطالعات خود را در زمینه شیمی آب و خاک و نقش آن در پدیده واگرایی و همچنین تاثیر درزه ها و ترک ها در آب شستگی های داخلی عرضه کردند(Ingles & Aitchison,1969). شرارد و چند تن از محققان دیگر، با تعیین میزان املاح موجود در شیره اشباع و انجام دادن آزمایش های هیدرومتری دوگانه بر روی نمونه های گرفته شده، تلاش نمودند تا نتایج این آزمایش­ها را با خرابی­های مشاهده ارتباط دهند(Sherard et al.,1972). مور و ماش، از دستگاهی به نام استوانه چرخان یا دوار برای بررسی پدیده آب شستگی یا فرسایش نمونه های خاکی بر اثر جریان آب استفاده کردند که بعدها اصلاحاتی در آن به عمل آمد(Moor,1962). آزمایش های هیدرومتری دوگانه بر روی نمونه های گرفته شده، تلاش نمودند تا نتایج این آزمایش ها را با خرابی های مشاهده شده ارتباط دهند(Sherard et al.,1972). مور و ماش، از دستگاهی به نام استوانه چرخان یا دوار برای بررسی پدیده آب شستگی یا فرسایش نمونه های خاکی بر اثر جریان آب استفاده کردند(Moor & Masch,1962). شرارد نیز آزمایش دیگری را به منظور اندازه گیری مستقیم فرسایش پذیری خاک های ریزدانه، به نام آزمایش پین هول ابداع نمود. این آزمایش معتبرترین و در عین حال، متداول ترین آزمایش مورد استفاده در طراحی و ساخت سازه­های هیدرولیکی و به خصوص سدهای خاکی به شمار میرود(Sherard et al.,1976). بر اساس تحقیقی که بر روی 223 نمونه از 6 گروه مختلف خاک از مناطق ایالت متحده انجام شد، روش شیمیایی املاح محلول در آب منفذی برای تشخیص رس­های واگرا نامناسب معرفی گردید(Craft & Acciardi,1984). طی تحقیقات انجام شده در آفریقای جنوبی، مشخص گردید که روش املاح محلول در آب منفذی قادر به تشخیص رس­های واگرا در آفریقای جنوبی نبوده، بنابرین روش شیمیایی جدیدی ابداع گردید. تحقیقات انجام شده در ایران نشان داد که نمودار شرارد برای خاک­هایی که دارای مقدار املاح بیشتر از 50 میلی اکی والانت در لیتر می­باشند، دارای دقت کافی نبوده و به ویژه در خاک­های حاوی مقادیر TDS بیشتر از 100، با خطای قابل ملاحظه ای همراه است.(Reddy et al., 2019) در جریان تحقیقی بر روی علت تخریب خاکریزهای حفاظت کننده در برابر سیلاب شهر زابل و احتمال ارتباط این تخریب ها با واگرایی خاک­های این منطقه، بر روی 20 نمونه خاک از نقاط مختلف آزمایش­های واگرایی شامل آزمایش­های شیمیایی، پین هول،کرام و هیدرومتری دوگانه انجام شد (خامه‌چیان و همکاران،1394) بر اساس تحقیقاتی که توسط دی دیک بر روی 12 نمونه خاک از سدی در اندونزی انجام گرفت،EMgP به عنوان عامل منفی در مقاومت رس­ها معرفی شده است. (Rahmanadji, 2007) ﻫﻤﭽﻨﯿﻦ ﻫﻨﮕﺎﻣﯽ ﮐﻪ ﺑﻪ ﺧﺎك رس دار،آﻫﮏ اﺿﺎﻓﻪ ﻣﯽ­ﮔﺮدد واﮐﻨﺶ­ﻫﺎي ﻣﺘﻌﺪدي ﺑﺴﺘﻪ ﺑـﻪ ﻧـﻮع ﮐﺎﻧﯿ­­ﻬـﺎي رﺳﯽ، آﻫﮏ، ﺷﺮاﯾﻂ و زﻣﺎن ﻋﻤﻞ­آوري ﺑﻪ وﻗﻮع ﻣﯽ ﭘﯿﻮﻧـﺪد ﮐـﻪ ﺷـﺎﻣﻞ ﺗﺒـﺎدل ﮐـﺎﺗﯿﻮﻧﯽ، واﮐـﻨﺶ ﭘـﻮزوﻻﻧﯽ و ﮐﺮﺑﻨﺎﺳﯿﻮن ﻣﯽ­ﺑﺎﺷﺪ. اﯾﻦ واﮐﻨﺶ­ﻫﺎ ﺑﻪ وﯾﮋه واﮐﻨﺶ ﭘﻮزوﻻﻧﯽ ﺑﺎﻋﺚ ﺗﻐﯿﯿﺮ ﺑﺎﻓﺖ ﮐﺮﯾﺴﺘﺎﻟﯽ ﺧﺎك رس و ﺗﺮﮐﯿﺐ ﺷﯿﻤﯿﺎﯾﯽ ﮐﺎﻧﯽ­ﻫﺎ ﺷﺪه و در ﻧﺘﯿﺠﻪ ﺗﻐﯿﯿﺮات ﻗﺎﺑﻞ ﺗﻮﺟﻬﯽ در ﺧﻮاص ﻓﯿﺰﯾﮑﯽ و رﻓﺘﺎر ﻣﮑﺎﻧﯿﮑﯽ ﺧﺎك اﯾﺠﺎد می گردد (consoli et al,. 2009).

روش­های شناسایی خاکهای واگرا

شناسایی خاک­های واگرا در ابتدا با بررسی­های محلی شروع می­شود. سپس از روش­های آزمایشگاهی که دارای دقت بالاتری هستند، استفاده می شود. عدم وجود شواهد سطحی به معنی وجود خاک های واگرا در عمق نیست(Consoli et al., 2009).

شناسایی صحرایی

در مناطق کم شیب یا مسطح، به دلیل وجود لایه ماسه سیلتی، رس واگرا به ندرت تشکیل می­شود.

در مناطق شیبدار فرسایش بصورت دندانه­دار شدن سطح زمین، برآمدگی­های سینوسی، کانالی و تونلی شدن با شیب و عمق زیاد می­باشد.

خاک­های به رنگ سیاه عموما حاوی مواد آلی بوده و واگرا نمی باشند.

رس واگرا به رنگ­های قرمز، قهوه ای، خاکستری، زرد ویا مخلوطی از آن ها دیده می­شود.

رس­های واگرا معمولا همراه با خاک­های شکل گرفته در مناطق بایر، نیمه بایر و در مناطق با خاک­های قلیایی وجود دارند.

بعضی از خاک­های حاصل از شیل ها و رس سنگ­های ته نشین شده در محیط­های دریایی واگرا هستند.

تقریبا تمامی خاک­های ریزدانه حاصل هوازدگی سنگ­های آذرین و دگرگونی در محل ماندد خاک های بدست آمده از سنگ­های آهکی غیرواگرا هستند.

رس­های واگرا با شرایط جغرافیایی خاصی همراه نیستند، اما اغلب بصورت رس­های رسوبی در شیب­ها، بستر دریاچه­ها و رسوب ناشی از سیل هستند.

روش­های آزمایشگاهی

سایر آزمایش­ها

آزمایش­های متداول

فلوم

تحلیل مبتنی بر کاهش غلظت

شیمیایی

فیزیکی

هیدرومتری سه گانه

تحلیل مبتنی بر شاخص واگرایی

پین هول

معیار شیمیایی شرارد

تحلیل مبتنی بر کانی شناسی رس

استوانه چرخان

هیدرومتری

معیار محققان آفریقای جنوبی

تحلیل مبتنی بر تورم آزاد

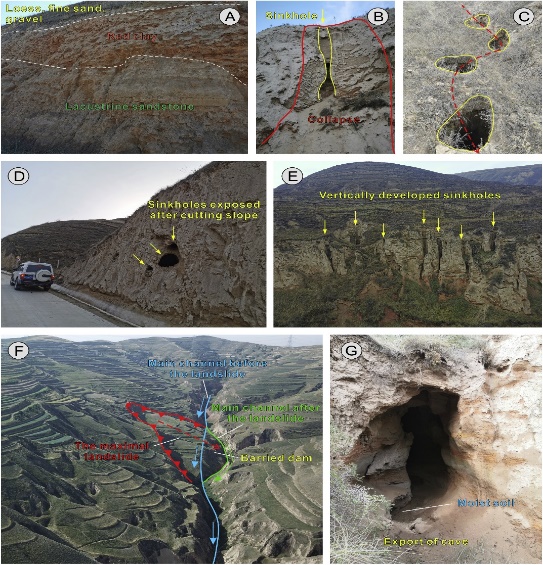
تحلیل مبتنی بر جریان سطحی آب

کرام

معیار رحیمی

تحلیل مبتنی بر نقطه چسبندگی

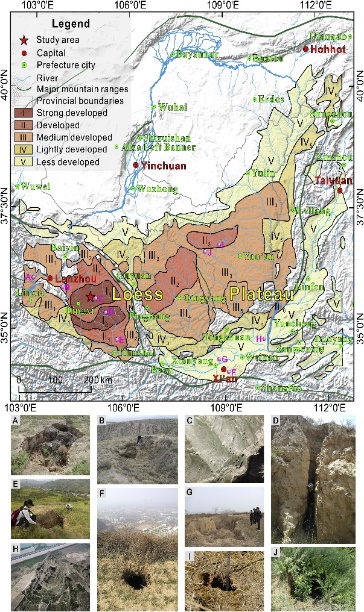
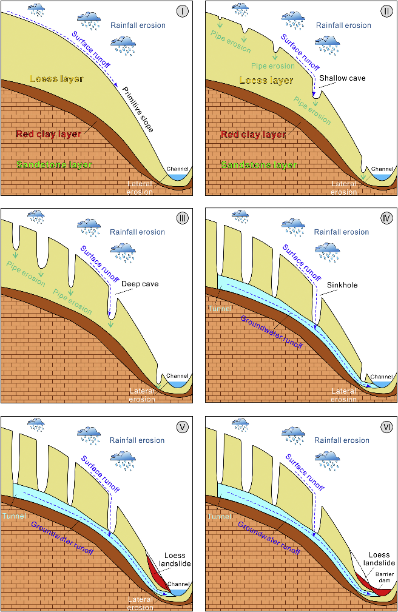
درپژوهشی که تأثیر توسعه غار لسی در رانش زمین و تکامل ژئومورفولوژی این فرآیند را در کشور چین مورد بررسی قرار می­دهد. نشان داده شد با توجه به آن­که این منطقه یک سایت ایده آل برای مطالعه خطرات زمین شناسی و تکامل ژئومورفیک در فلات لس است. هفده زمین لغزش و 176 غار لس با تراکم 887 واحد در کیلومتر مربع با یک پهپاد (هواپیمای بدون سرنشین) مورد بررسی قرار گرفت و توسط GIS (سیستم اطلاعات جغرافیایی) نقشه برداری شد. با استفاده از تصاویر پهپاد با وضوح بالا و داده­های توپوگرافی ، تفسیری از غارهای لس و رانش زمین انجام شد.(Hu and et al., 2020).



شکل2ـ تأثیر توسعه غار لسی در رانش زمین و تکامل ژئومورفولوژی این فرآیند را در کشور چین (Hu and et al., 2020).

توزیع فضایی و الگوهای توسعه غارهای لس ، مورفولوژی زمینی و رابطه بین غارهای لس و رانش زمین بر اساس تجزیه و تحلیل مکانی GIS ، آمار ریاضی و بررسی میدانی مورد مطالعه قرار گرفت. نهایتا شش مدل تکاملی توسعه غار و فرسایش زمین پیش­بینی شده است.

**مرحله شیب اولیه**  
در این مرحله ، توپوگرافی شیب نسبتاً مسطح است و فرایند فرسایش عمدتاً بر فرسایش بارندگی و فرسایش آب­های سطحی حاکم است. خندق­های کم عمق ایجاد شده توسط فرسایش آب در شیب ایجاد شده و شیب پایدار است.  
**مرحله اولیه غارها**  
در این مرحله ، خندق­های کم عمق در شیب بیشتر به سمت پایین فرسایش می­کنند ، آب­های سطحی به سمت زیر زمین عمیق­تر حرکت می­کنند و کمبودهای کم عمق یا غارها به صورت پراکنده در خندق­های کم عمق پراکنده می­شوند.  
**مرحله غارهای شتاب**  
در این مرحله ، تحت عمل آب­های سطحی و زیرزمینی ، توسعه غارهای کم عمق تسریع می­شود و فرایند فرسایش عمدتاً فرسایش عمودی است ، که با فرسایش جانبی تکمیل می­شود ، تشکیل عمیق می­کند.  
**مرحله اتصال غارها**  
در این مرحله ، غار لس همچنان به سمت پایین فرسایش می­کند. هنگامی که آب سطحی وارد غار می­شود ، توسط لایه مقاوم در برابر آب مسدود می­شود ، که در نهایت منجر به اتصال بین قسمت پایین می­شود. غارهای مجاور و آبهای زیرزمینی سرانجام وارد کانال رودخانه می شوند.  
**مرحله خزنده زمین لغزش**در این مرحله ، پای شیب متاثر از فرسایش جانبی رودخانه است و در نتیجه باعث فروپاشی محلی و فرسایش بانک می­شود. علاوه بر این ، تحت تأثیر توسعه غارها در پای دامنه ،پایداری شیب از بین می­رود و شیب به آرامی شروع به خزش می­کند.  
**مرحله تشکیل سد زمین لغزش**در این مرحله ، یک لغزش زمین در پای شیب ظاهر می­شود و رسوب بدنه رانش زمین وارد کانال می­شود و یک سد رانش زمین تشکیل می­دهد. در همان زمان ، بدن لغزش زمین شل شد و غارهای در مقیاس کوچک شروع به توسعه می­کنند.



شکل3ـ شش مدل تکاملی توسعه غار و فرسایش زمین نمای کلی از نقشه منطقه(Hu and et al., 2020).

نحوه آب ﺷﺴﺘﮕﯽ در ﺧﺎك­ﻫﺎي واﮔﺮا

ﻋﻤﺪه­ﺗﺮﯾﻦ ﻣﺴﺌﻠﻪ در ﺧﺎك­ﻫﺎي واﮔﺮا، ﻣﺴﺌﻠﻪ آب ﺷﺴﺘﮕﯽ­ﻫﺎي داﺧﻠﯽ و ﻣﺸﮑﻼت ﻧﺎﺷﯽ از آن اﺳﺖ ﮐﻪ ﺑﻪ وﯾﮋه در ﺳﺎزه­ﻫﺎي آﺑﯽ ﻣﻄﺮح اﺳﺖ. اﯾﻦ ﭘﺪﯾﺪه در ﺑﺴﯿﺎري از ﺳﺪﻫﺎي ﺧﺎﮐﯽ، ﺧﺎﮐﺮﯾﺰﻫﺎ، ﺑﺴﺘﺮ ﮐﺎﻧﺎل ﻫﺎ و ﺳـﺎزه ﻫﺎي آﺑﯽ دﯾﮕﺮي ﮐﻪ ﺑﺮ روي اﯾﻦ ﺧﺎك­ﻫﺎ ﺳﺎﺧﺘﻪ ﺷﺪه­اﻧﺪ دﯾﺪه ﺷﺪه اﺳﺖ. ﺷﺴﺘﻪ ﺷـﺪن ﺧـﺎك­ﻫـﺎي واﮔـﺮا ﺑـﺎ ﺟﺮﯾﺎن ﯾﺎﻓﺘﻦ آب در درزﻫﺎ و ﺗﺮك­ﻫﺎي ﺧﺎك آﻏﺎز ﻣﯽ­ﺷﻮد. ﻣﻌﻤﻮﻻً ﺳﺮﻋﺖ آب در اﯾﻦ ﺗـﺮك­ﻫـﺎ زﯾـﺎد ﻧﯿﺴـﺖ. آب ﺟﺎري در رس­ﻫﺎي واﮔﺮا ﺗﺪرﯾﺠﺎً ﮔﻞ­آﻟﻮد ﻣﯽ­ﮔﺮدد و ﺑﺮ ﺳﺮﻋﺖ ﻓﺮﺳﺎﯾﺶ ﺧﺎك ﻧﯿﺰ ﺑﻪ ﺗﺪرﯾﺞ اﻓـﺰوده ﻣـﯽﺷﻮد، اﻣﺎ در رس­ﻫﺎي ﻏﯿﺮ واﮔﺮا ﭼﻨﯿﻦ ﻧﯿﺴﺖ. در اﯾﻦ رس­ﻫﺎ ﯾﺎ ﺟﺮﯾﺎن آب ، ﺑﺪون آن ﮐﻪ ﺑﺮ ﺳﺮﻋﺖ آن اﻓﺰوده ﺷﻮد، اداﻣﻪ ﻣﯽ­ﯾﺎﺑﺪ و ﯾﺎ ﺑﺮ اﺛﺮ ﺗﻮرم ﺧﺎك و ﻧﺮم ﺷﺪن دﯾﻮاره­ﻫـﺎي ﺗـﺮك­ﻫـﺎ ، ﻣﺠـﺮاي آب ﺑﺴـﺘﻪ ﻣـﯽ­ﺷﻮد. اﯾﻦ ﺗﻔﺎوت از آن­ﺟﺎ ﻧﺎﺷﯽ ﻣﯽ­ﺷﻮد ﮐﻪ در ﺧﺎك­ﻫﺎي ﻏﯿﺮ واﮔﺮا، ﺑﺮاي ﺟﺪا ﺷـﺪن ذرات ﺧـﺎك از ﯾﮑـﺪﯾﮕﺮ ﻻزم اﺳﺖ ﮐﻪ اﻧﺮژي ﻓﺮﺳﺎﯾﺸﯽ ﺟﺮﯾﺎن آب ﺑﺮ ﻧﯿﺮوي ﺟﺎذﺑﻪ ﺑﯿﻦ ذرات ﻓﺎئق آﯾﺪ و اﮔـﺮ ﺳـﺮﻋﺖ ﺟﺮﯾـﺎن از ﺣـﺪي ﮐﻤﺘﺮ ﺑﺎﺷﺪ، ﺧﺎك­ﻫﺎي ﻣﺬﮐﻮر ﻓﺮﺳﺎﯾﺶ ﻧﻤﯽ­ﯾﺎﺑﻨﺪ. اﻣﺎ در ﺧﺎك­ﻫﺎي واﮔـﺮا ﭼﻨـﯿﻦ ﺣـﺪي ﺑـﺮاي ﺳـﺮﻋﺖ وﺟـﻮد ﻧﺪارد و ﭘﯿﻮﻧﺪ ذرات ﺧﺎك، ﺣﺘﯽ در آب ﺳﺎﮐﻦ ﻧﯿﺰ از ﺑﯿﻦ ﻣﯽ­رود و ﻣﺤﻠﻮﻟﯽ ﮐﻠﻮﺋﯿﺪي ﺗﺸﮑﯿﻞ ﻣﯽ­ﺷﻮد. ﺑﻪ ﻃﻮر ﮐﻠﯽ آب ﺷﺴﺘﮕﯽ ﺑﺎ ﻓﺮﺳﺎﯾﺶ ذرات رس واﮔﺮا در ﭘﺎﯾﯿﻦ دﺳﺖ ﺳﺎزه ﺧﺎﮐﯽ ﯾﺎ در ﻣﺤـﻞ اﺗﺼـﺎل ﺳـﺎزه ﺑﻪ ﻣﻨﻄﻘﻪ اي ﺑﺎ ﻧﻔﻮذﭘﺬﯾﺮي ﺑﺎﻻ آﻏﺎز ﻣﯽ­ﺷﻮد و ﻓﺮآﯾﻨﺪ ﻓﺮﺳﺎﯾﺶ در داﺧﻞ ﯾﺎ زﯾﺮ ﺳﺎزه ﺑﻪ ﺳـﻤﺖ ﻧـﻮاﺣﯽ ﺑـﺎ ﺑـﺎر آﺑﯽ ﺑﯿﺸﺘﺮ در ﺑﺎﻻ دﺳﺖ ﭘﯿﺸﺮوي ﻣﯽ­ﮐﻨﺪ و ﺳﺮاﻧﺠﺎم ﻣﺴﯿﺮ ﻓﺮﺳﺎﯾﺶ ﯾﺎﻓﺘﻪ ﺑﻪ ﺻﻮرت ﯾـﮏ ﺗﻮﻧـﻞ ﯾـﺎ ﻣﺠـﺮا ﺑـﻪ ﻣﻨﺒﻊ آب ﻣﺘﺼﻞ ﻣﯽ­ﺷﻮد. در اﯾﻦ ﻣﺮﺣﻠﻪ، در ﺻﻮرت وﺟـﻮد آب ﮐـﺎﻓﯽ در ﻣﻨﺒـﻊ، آب ﺑـﺎ ﺷـﺪﺗﯽ ﺑﺴـﯿﺎر ﺑﯿﺸـﺘﺮ از ﮔﺬﺷﺘﻪ و ﺑﻪ ﺻﻮرت ﻣﺘﻤﺮﮐﺰ ﺟﺮﯾﺎن ﻣﯽ­ﯾﺎﺑﺪ و روﻧﺪ ﻓﺮﺳﺎﯾﺶ ﺑﺎ ﭼﻨﺎن ﺳﺮﻋﺘﯽ اداﻣﻪ ﻣﯽ­ﯾﺎﺑﺪ ﮐﻪ ﻣﻤﮑﻦ اﺳـﺖ در ﻣﺪت ﮐﻮﺗﺎﻫﯽ ﺑﻪ ﺗﺨﺮﯾﺐ ﺳﺎزه ﻣﻨﺠﺮ ﺷﻮد. اﯾﻦ ﭘﺪﯾﺪه ﻋﯿﻨﺎً در ﺧﺎك­ﻫﺎي ﻏﯿﺮ ﭼﺴﺒﻨﺪه ﺑﺴﯿﺎر رﯾﺰ ﻣﺎﻧﻨﺪ ﺳﯿﻠﺖ­ﻫﺎ و ﻣﺎﺳﻪ­ﻫﺎي ﺧﯿﻠﯽ ﻧﺮم ﻣﺸﺎﻫﺪه ﻣﯽ­ﺷﻮد، اﻣﺎ در اﯾﻦ ﺧﺎك­ﻫﺎ ﻋﻠﺖ آب ﺷﺴﺘﮕﯽ ﻣﮑـﺎﻧﯿﮑﯽ اﺳـﺖ، در ﺣـﺎﻟﯽ ﮐـﻪ در ﺧﺎك­ﻫﺎي رﺳﯽ واﮔﺮا ﭘﺪﯾﺪه­اي ﻓﯿﺰﯾﮑﯽ و ﺷﯿﻤﯿﺎﯾﯽ ﻣﯽ­ﺑﺎﺷﺪ. در ﺳﺪﻫﺎي ﺧﺎﮐﯽ و ﺧﺎﮐﺮﯾﺰﻫﺎي در ﺗﻤﺎس ﺑﺎ آب، آب ﺷﺴﺘﮕﯽ ﺑﺎ ﺗﻤﺮﮐﺰ ﺟﺮﯾﺎن آب در ﺗﺮك­ﻫـﺎ ﯾـﺎ درزﻫـﺎي ﻣﻮﺟﻮد در ﺗﻮده ﭘﺎﯾﯿﻦ دﺳﺖ ( ﮐﻪ ﻣﻤﮑﻦ اﺳﺖ ﺑﻪ دﻟﯿﻞ ﻧﺸﺴﺖ ﺳﺎزه و ﯾﺎ اﻧﻘﺒﺎض ﺧﺎك اﯾﺠﺎد ﺷﺪه ﺑﺎﺷـﺪ ) آﻏـﺎز ﻣﯽ­ﺷﻮد و ﺑﺮ اﺛﺮ ﭘﯿﺸﺮوي اﯾﻦ ﻓﺮآﯾﻨﺪ ﺑﻪ ﺳﻤﺖ ﺑﺎﻻ دﺳﺖ، ﻣﻔﺮ ﺟﺪﯾﺪي ﺑﺮاي ﺧﺮوج ﺳﺮﯾﻊ­ﺗﺮ آب ﺑﻪ وﺟﻮد ﻣـﯽآﯾﺪ و اﯾﻦ اﻣﺮ ﺗﻮأم ﺑﺎ اﻓﺰاﯾﺶ ﺳﺮﻋﺖ ﻓﺮﺳﺎﯾﺶ ﺧﺎك، ﻧﻬﺎﯾﺘﺎً ﺑﻪ ﺗﺨﺮﯾﺐ ﺳﺎزه ﻣﻨﺠﺮ ﻣﯽ­ﺷﻮد. در ﺳﺎزه­ﻫﺎي آﺑـﯽ دﯾﮕﺮ ﻣﺎﻧﻨﺪ ﮐﺎﻧﺎل­ﻫﺎي اﻧﺘﻘﺎل آب، آب ﺷﺴﺘﮕﯽ و ﻓﺮﺳﺎﯾﺶ ﺧﺎك در زﯾﺮ ﭘﻮﺷﺶ ﯾﺎ از روي ﺧﺎﮐﺮﯾﺰ ﺑﺪﻧـﻪ ﮐﺎﻧـﺎل و ﯾﺎ از ﻣﺤﻞ ﺳﺎزه­ﻫﺎي زﻫﮑﺶ ﺳﯿﺴﺘﻢ آﻏﺎز و در ﻧﻬﺎﯾﺖ، ﮔﺴﺘﺮش آب ﺷﺴﺘﮕﯽ، ﺿﻤﻦ اﯾﺠﺎد ﺧﺴـﺎرات ﻓـﺮاوان، ﺑﻪ ﺗﺨﺮﯾﺐ ﭘﻮﺷﺶ ﮐﺎﻧﺎل ﻣﻨﺠﺮ ﻣﯽ­ﮔﺮدد. ﻣـﻮرد اﺧﯿـﺮ در ﭼﻨـﺪﯾﻦ ﭘـﺮوژه آﺑﺮﺳـﺎﻧﯽ در اﯾـﺮان، ﺳـﻮرﯾﻪ، ﻋـﺮاق و ﺷﻮروي ﻣﺸﺎﻫﺪه ﺷﺪه اﺳﺖ . ﻫﻤﭽﻨﯿﻦ ﻗﺮار ﮔﺮﻓﺘﻦ ﺧﺎك­ﻫﺎي واﮔﺮا ﺑﺮ روي ﻗﺸﺮ ﻧﻔﻮذﭘﺬﯾﺮي ﭼﻮن ﻻﯾﻪﻫﺎي ﺷﻦ و ﻣﺎﺳﻪ و ﻧﻔﻮذ آب ﺑﺎران از راه ﺗﺮك­ﻫﺎي ﺣاﺻﻞ از ﺧﺸﮏ ﺷﺪن ﺳﻄﺢ زﻣﯿﻦ ﯾﺎ ﺣﻔـﺮه­ﻫـﺎي ﺑﺎﻗﯿﻤﺎﻧـﺪه ﺑـﺮ ﺟﺎي رﯾﺸﻪ­ﻫﺎي ﭘﻮﺳﯿﺪه ﮔﯿﺎﻫﺎن و ﯾﺎ ﺣﻔﺮه ﻫﺎي اﯾﺠﺎد ﺷﺪه ﺗﻮﺳﻂ ﺣﯿﻮاﻧﺎت، ﺑﻪ ﺷﺴﺘﻪ ﺷﺪن ﺳﺮﯾﻊ ﺧﺎك در اﯾـﻦ ﻣﻨﺎﻓﺬ و اﯾﺠﺎد ﺗﻮﻧﻞ­ﻫﺎ و ﺣﻔﺮه­ﻫﺎي ﺑﺰرگ ﻣﻨﺠﺮ می­ ﺷﺪه اﺳﺖ. ﻋﻼوه ﺑﺮ ﻣﻮارد ﻣﺬﮐﻮر ﺟﺮﯾﺎن ﯾﺎﻓﺘﻦ آب ﺑﺎران ﺑﺮ روي ﺳﻄﺢ ﺧﺎﮐﺮﯾﺰﻫﺎي ﺳﺎﺧﺘﻪ ﺷـﺪه از ﺧـﺎك­ﻫـﺎي واﮔـﺮا ﺳﺒﺐ ﻓﺮﺳﺎﯾﺶ ﺳﻄﺤﯽ ﺧﺎك ﻣﯽ­ﺷﻮد و ﺑﺮ اﺛﺮ ﻧﻔﻮذ آب ﺑﺎران ، از ﻃﺮﯾﻖ ﺗﺮك­ﻫﺎي ﻧﺎﺷﯽ از ﺧﺸﮏ ﺷﺪن ﺧﺎك و در ﻧﺘﯿﺠﻪ ﻓﺮﺳﺎﯾﺶ داﺧﻠﯽ ﺗﻮده ﺧﺎك ، ﺗﻮﻧﻞ­ﻫﺎ و ﺣﻔﺮات ﺑﺰرﮔﯽ در ﺑﺪﻧﻪ ﺧﺎﮐﺮﯾﺰ ﺑﻪ وﺟﻮد ﻣﯽ­آﯾﺪ. آب ﺷﺴﺘﮕﯽ­ﻫﺎي ﺳﻄﺤﯽ در ﺧﺎك­ﻫﺎي واﮔﺮا ﻧﯿﺰ از ﺟﻤﻠﻪ ﻣﺴﺎﺋﻠﯽ اﺳﺖ ﮐـﻪ ﻫﻨـﻮز ﻋﻮاﻣـﻞ ﻣـﺆﺛﺮ در آن ﺑـﻪ ﺧﻮﺑﯽ ﺷﻨﺎﺧﺘﻪ ﻧﺸﺪه اﺳﺖ. اﮔﺮﭼﻪ در اﮐﺜﺮ ﻣﻮارد ﺧﺎك­ﻫﺎي واﮔﺮاي ﻣﻮﺟﻮد در ﺳﻄﺢ ﺧﺎك ﺑـﺮداري­ﻫـﺎ و ﺧـﺎكرﯾﺰي­ﻫﺎ ﺑﺮ اﺛﺮ رﯾﺰش ﺑﺎران ﺷﺴﺘﻪ ﺷﺪﻧﺪ ﻣﻮاردي ﻧﯿﺰ ﺑﻮده اﺳﺖ ﮐﻪ ﺑـﺎ وﺟـﻮد واﮔـﺮا ﺑـﻮدن ﺧـﺎك آب ﺷﺴـﺘﮕﯽ ﻣﺸﺎﻫﺪه ﻧﺸﺪه اﺳت. ﺗﺤﻘﯿﻘﺎت ﮔﺬﺷﺘﻪ ﺣﺎﮐﯽ از آن ﺑﻮد ﮐﻪ اﮔﺮ ﻣﯿﺰان اﻣﻼح ﻣﺤﻠﻮل در آب ﻣﻨﻔﺬي از 15 ﻣﯿﻠـﯽ اﮐـﯽ واﻻن ﮔـﺮم در ﻟﯿﺘﺮ ﺑﯿﺸﺘﺮ ﺑﺎﺷﺪ ، آب­ﺷﺴﺘﮕﯽ ﺳﻄﺤﯽ ﺑﻪ وﻗﻮع ﻧﻤﯽ­ﭘﯿﻮﻧﺪد . اﯾﻦ ﻣﻌﯿﺎر ﻧﺴﺒﺘﺎً درﺳﺖ ﺑﻮده اﺳﺖ ،ﺑﺎ اﯾﻨﺤـﺎل، اﺧﯿﺮاً در ﺑﺮﺧﯽ از ﻣﻨﺎﻃﻖ ﺑﺎ وﺟﻮد ﺑﺎﻻ ﺑﻮدن ﻣﯿﺰان اﻣﻼح ﻣﺤﻠﻮل در آب ﻣﻨﻔـﺬي ، آب ﺷﺴـﺘﮕﯽ­ﻫـﺎي ﺳـﻄﺤﯽ ﻣﺸﺎﻫﺪه ﺷﺪه اﺳﺖ­(Sherard et al.,1972). اﯾﺠﺎد ﭘﻮﺷﺶ ﮔﯿﺎﻫﯽ ﺑﺮ روي ﺳﻄﻮح ﺧﺎرﺟﯽ آن دﺳﺘﻪ از ﺳﺎزه­ﻫﺎي ﺧﺎﮐﯽ ﮐـﻪ از ﺧـﺎك­ﻫـﺎي واﮔـﺮا ﺳـﺎﺧﺘﻪ ﺷﺪه اﻧﺪ ، روش ﻣﻨﺎﺳﺒﯽ ﺑﺮاي ﺗﺜﺒﯿﺖ اﯾﻦ ﻧﻮع ﺧﺎك­ﻫﺎ ﻧﻤﯽ ﺑﺎﺷﺪ. زﯾﺮا در ﺧﺎك­ﻫﺎي واﮔـﺮا ﻋﺒـﻮر آب از ﺗـﺮك­ﻫﺎي ﺣﺎﺻﻞ از ﺧﺸﮏ ﺷﺪن و اﻧﻘﺒﺎض ﺧﺎك ﺑﺎﻋﺚ ﻓﺮﺳﺎﯾﺶ ﺧﺎك ﻣﯽ­ﺷﻮد و ﺗﺎ زﻣﺎﻧﯽ ﮐﻪ ﺗﺮﮐﯽ ﺑـﺮاي ورود آب وﺟﻮد داﺷﺘﻪ ﺑﺎﺷﺪ وﺟﻮد ﭘﻮﺷﺶ ﮔﯿﺎﻫﯽ ﺗﺄﺛﯿﺮي در اﯾﻦ ﻧﻮع ﻓﺮﺳﺎﯾﺶ ﻧﺨﻮاﻫﺪ داﺷﺖ . ﺑﻪ ﻋـﻼوه ﮐـﺎﻫﺶ رﻃﻮﺑـﺖ ﺧﺎك ﺑﺮ اﺛﺮ ﻣﺼﺮف آن ﺑﻪ وﺳﯿﻠﻪ رﯾﺸﻪ ﮔﯿﺎﻫﺎن ، اﻣﮑﺎن ﮔﺴﺘﺮش ﺗﺮك­ﻫﺎي ﻧﺎﺷﯽ از اﻧﻘﺒـﺎض ﺧـﺎك را اﻓـﺰاﯾﺶ ﻣﯽ­دﻫﺪ. ﺗﻮﺿـﯿﺢ اﯾﻦ ﮐﻪ در ﺻﻮرت زﯾﺎد ﺑﻮدن ﺳﺮﻋﺖ ﻧﻔﻮذ آب در ﺧﺎك ﻣﻤﮑﻦ اﺳﺖ ﻓﺮﺻﺖ ﮐﺎﻓﯽ ﺑﺮاي ﺧﺮوج ﻫـﻮاي ﻣﻮﺟـﻮد در ﻣﻨﺎﻓﺬ ﺧﺎك وﺟﻮد ﻧﺪاﺷﺘﻪ ﺑﺎﺷﺪ. اﯾﻦ اﻣﺮ ﻣﻨﺠﺮ ﺑﻪ ﻣﺘﺮاﮐﻢ ﺷﺪن و ﺑﺎﻻ رﻓﺘﻦ ﻓﺸﺎر ﻫﻮاي ﻣـﺬﮐﻮر ﻣـﯽ­ﮔـﺮدد و در ﻧﺘﯿﺠﻪ ذرات ﺧﺎك ﺑﺮ اﺛﺮ اﯾﻦ اﻓﺰاﯾﺶ ﻓﺸﺎر از ﯾﮑﺪﯾﮕﺮ ﺟﺪا ﻣـﯽ­ﺷـﻮﻧﺪ اﯾـﻦ ﭘﺪﯾـﺪه ﮐـﻪ ﻋﻤـﺪﺗﺎً در ﺧـﺎك­ﻫـﺎي رﯾﺰداﻧﻪ ﻏﯿﺮ اﺷﺒﺎع ﻣﺸﺎﻫﺪه ﻣﯽ­ﺷﻮد، ﺑﻪ ﭘﺪﯾﺪه ﺟﺪا ﺷﺪن ذرات ﺧـﺎك ﻣﻮﺳـﻮم اﺳـﺖ. ذرات ﻣﻮﻧـﺖ ﻣﻮرﯾﻠﻮﻧﯿـﺖ­ﻫﺎي ﺣﺎوي ﮐﻠﺴﯿﻢ ﺑﺮ اﺛﺮ اﯾﻦ ﭘﺪﯾﺪه ﺳﺮﯾﻌﺎً از ﻫﻢ ﺟﺪا ﻣﯽ­ﺷﻮﻧﺪ. اﯾﻦ ذرات ﮐﻮﭼﮏ­ﺗﺮ ﺑﻪ آﺳـﺎﻧﯽ ﺑـﺎ ﺟﺮﯾـﺎن آب ﺷﺴﺘﻪ ﻣﯽ­ﺷﻮﻧﺪ. در ﻣﻮﻧﺖ ﻣﻮرﯾﻠﻮﻧﯿﺖ ﻫﺎي ﺣﺎوي ﺳﺪﯾﻢ اﯾﻦ ﭘﺪﯾﺪه ﻣﺸﺎﻫﺪه ﻧﻤﯽ­ﺷﻮد. ﺷﺮارد ﻧﯿﺰ ﻣﻄﺎﻟﻌﺎﺗﯽ در زﻣﯿﻨﻪ آب ﺷﺴﺘﮕﯽ­ﻫﺎي ﺳﻄﺤﯽ اﻧﺠﺎم داده اﺳﺖ. از ﻧﻈﺮ وي ﻋﻼوه ﺑﺮ ﻣﯿﺰان اﻣـﻼح ﻣﺤﻠﻮل در آب ﻣﻨﻔﺬي ﺳﺮﻋﺖ ﺗﻮرم ﺧﺎك و ﺑﺴﺘﻪ ﺷﺪن ﺗﺮك­ﻫﺎ، ﺳﺮﻋﺖ ﺟﺪا ﺷـﺪن ذرات رس از ﺳـﻄﺢ ﺧـﺎك و ﺳﺮﻋﺖ و ﻣﺪت رﯾﺰش ﺑﺎران ﻧﯿﺰ در ﻣﯿﺰان آب ﺷﺴﺘﮕﯽ­ﻫﺎي ﺳﻄﺤﯽ ﻣﺆﺛﺮﻧـﺪ. در ﻣـﺎه­ﻫـﺎي ﮔـﺮم ﺳـﺎل، ﺧﺸـﮏ ﺷﺪن ﺧﺎك­ﻫﺎي رﺳﯽ ﺑﻪ اﻧﻘﺒﺎض و اﯾﺠﺎد ﺗﺮك­ﻫﺎﯾﯽ در ﺳﻄﺢ اﯾﻦ ﮔﻮﻧﻪ ﺧﺎك­ﻫﺎ ﻣﻨﺠﺮ ﻣﯽ­ﺷﻮد. ﯾﮏ ﺑﺎرﻧـﺪﮔﯽ ﻧﺎﮔﻬﺎﻧﯽ و ﺷﺪﯾﺪ ﻣﻤﮑﻦ اﺳﺖ ﺑﺎﻋﺚ ﺷﺴﺘﻪ ﺷﺪن ذرات ﺧﺎك از ﻃﺮﯾﻖ ﻫﻤﯿﻦ ﺗﺮك­ﻫﺎ ﺷﻮد، اﻣﺎ در ﯾـﮏ ﺑﺎرﻧـﺪﮔﯽ آرام و ﻣﺪاوم، ﻗﺒﻞ از آن ﮐﻪ ذرات ﺧﺎك ﺷﺴﺘﻪ ﺷﻮﻧﺪ ﻣﯿﺰان رﻃﻮﺑﺖ ﺧﺎك ﺑﻪ ﺣﺪي ﻣﯽ رﺳﺪ ﮐﻪ ﺗـﺮك­ﻫـﺎ ﺑﺴـته می­شوند(Sherard et al.,1972).

افزودنی و اصلاح

ﺧﺎﮐ­­­ﻬﺎي واﮔﺮا ﺧﺎﮐﻬﺎي رﺳﯽ ﻫﺴﺘﻨﺪ ﮐﻪ در ﺑﺮﺧﻮرد ﺑﺎ آب ﺑﻪ راﺣﺘﯽ ﺷﺴﺘﻪ ﻣﯽ­ﺷﻮﻧﺪ. دﻟﯿﻞ اﺻﻠﯽ ﺷﺴﺘﻪ ﺷﺪن اﯾﻦ ﺧﺎك­ﻫـﺎي رﺳﯽ ﺑﺮ اﺛﺮ ﭘﺪﯾﺪه واﮔﺮاﯾﯽ، اﻓﺰاﯾﺶ ﻧﯿﺮوي داﻓﻌﻪ ﺑﯿﻦ ذرات ﺧﺎك و ﻏﻠﺒﻪ ﺑﺮ ﻧﯿﺮوي ﺟﺎذﺑـﻪ ﺑـﯿﻦ اﯾـﻦ ذرات ﻣـﯽ­ﺑﺎﺷـﺪ. ﺑـﺮ اﺳـﺎس ﻣﻄﺎﻟﻌﺎت اﻧﺠﺎم ﮔﺮﻓﺘﻪ، ﻣﻬﻢ­ﺗﺮﯾﻦ ﻋﺎﻣﻠﯽ ﮐﻪ ﺑﺮ ﭘﺪﯾﺪه واﮔﺮاﯾﯽ ﺗﺎﺛﯿﺮﻣﯽ­ﮔـﺬارد، ﻏﻠﻈـﺖ ﯾـﻮن ﺳـﺪﯾﻢ در آب ﻣﻨﻔـﺬي ﺧـﺎك و ﺗـﮏ ﻇﺮﻓﯿﺘﯽ ﺑﻮدن ﮐﺎﺗﯿﻮن ﻣﺬﮐﻮر ﻣﯽ­ﺑﺎﺷﺪ. ﻣﻘﺎوﻣﺖ ﺑﺮﺷﯽ در ﺧﺎك­ﻫﺎي رﺳﯽ واﮔﺮا ﺑﻪ ﻋﻠـﺖ ﻣﻌﻠـﻖ ﺷـﺪن ذرات ﺧـﺎك در داﺧـﻞ آب ﮐﺎﻫﺶ ﻣﯽ­ﯾﺎﺑﺪ. ﺗﺤﻘﯿﻘﺎت ﺑﺴﯿﺎري ﺑﺮاي ﺗﺸﺨﯿﺺ اﯾﻦ ﺧﺎك­ﻫﺎ و رﻓﻊ واﮔﺮاﯾﯽ آن­ﻫﺎ اﻧﺠﺎم ﭘﺬﯾﺮﻓﺘﻪ اﺳـﺖ. روش­ﻫـﺎي ﮔﻮﻧـﺎﮔﻮﻧﯽ ﺑﺮاي ﭘﺎﯾﺪارﺳﺎزي ﺧﺎك­ﻫﺎي ﻣﺴﺌﻠﻪ­دار وﺟﻮد دارد ﻣﺎﻧﻨﺪ اﻓﺰودﻧﯿ­­ﻬﺎي ﺷﯿﻤﯿﺎﯾﯽ، ﺟﺎﺑﺠﺎ ﮐﺮدن ﺧﺎك، ﮐﻨﺘﺮل ﺗﺮاﮐﻢ، ﮐﻨﺘﺮل رﻃﻮﺑﺖ، ﺑﺎر اﺿﺎﻓﯽ و روﺷ­­ﻬﺎي ﺣﺮارﺗﯽ. ﻫﺮ ﮐﺪام از اﯾﻦ روش­ﻫﺎ ﻣﺰاﯾﺎ و ﻣﻌﺎﯾﺒﯽ دارﻧﺪ، ﺑﻨﺎﺑﺮاﯾﻦ ﻫﻨﻮز ﻫﻢ ﺑﻪ ﺗﺤﻘﯿﻖ در ﻣﻮرد ﻣﻮادي ﭘﺮداﺧﺘﻪ ﻣﯽ­ﺷﻮد ﮐﻪ ﺑﺎﻋﺚ ﺑﻬﺒﻮد ﺧﺎك ﻣﯽ­ﮔﺮدد .(Akbulut et al., 2007) ﺧﻮاص ﻣﮑﺎﻧﯿﮑﯽ اﻏﻠﺐ ﺧﺎﮐﻬﺎ ﺑﺎ اﻓﺰاﯾﺶ رﻃﻮﺑﺖ و اﺷﺒﺎع ﺷﺪن ﺗﻐﯿﯿﺮﻣﯿ­ﮑﻨﺪ. در ﺑﺮﺧﯽ از ﺧﺎك­ﻫﺎ ﺑﺮ اﺛﺮ اﻓﺰاﯾﺶ رﻃﻮﺑﺖ، ﭘﺪﯾـﺪه­ﻫﺎي ﺧﺎﺻﯽ ﺑﺮوز ﻣﯿﮑﻨﺪ ﮐﻪ ﺑﻌﻀﺎً ﺑﻪ ﺧﺴﺎرات ﻋﻤﺪه­اي در ﻃﺮح ﻫﺎي ﻋﻤﺮاﻧﯽ ﻣﻨﺠﺮ ﻣﯽ­ﮔﺮدد. اﯾﻦ ﺧﺎﮐﻬـﺎ ﺧﺎﮐﻬـﺎي ﺣﺴـﺎس در ﻣﻘﺎﺑﻞ آب ﻧﺎﻣﯿﺪه ﻣﯽ­ﺷﻮﻧﺪ و از ﻣﻬﻤ­ﺘﺮﯾﻦ اﻗﺴﺎم آﻧﻬﺎ ﻣﯽ ﺗﻮان ﺑﻪ ﺧﺎﮐﻬﺎي ﻣﺘﻮرم ﺷﻮﻧﺪه، ﺧﺎﮐﻬﺎي واﮔﺮا و ﺧﺎﮐﻬﺎي رﻣﺒﻨﺪه اﺷـﺎره ﻧﻤﻮد. اﺳﺘﻔﺎده از اﻟﻤﺎن ﺗﺴﻠﯿﺢ در ﺧﺎك، ﻣﻘﺎوﻣﺖ ﺑﺮﺷﯽ آن را اﻓﺰاﯾﺶ ﻣﯽ دﻫﺪ.ﮔﺮي و اﻟﺮﻓـﺎﯾﯽ از ﺟﻤﻠـﻪ اوﻟـﯿﻦ ﻣﺤﻘﻘـﺎﻧﯽ ﺑﻮدﻧﺪ ﮐﻪ ﺑﺎ اﺳﺘﻔﺎده از آزﻣﺎﯾﺶ ﻓﺸﺎري ﺳﻪ ﻣﺤﻮري ﺑﺮ روي ﻣﺎﺳﻪ ﻣﺴﻠﺢ ﺑﺎ اﻟﯿﺎف، ﺧﺎك ﻣﺴﻠﺢ را ﻣـﻮرد ﺑﺮرﺳـﯽ ﻗـﺮار داده و ﻧﺸـﺎن دادﻧﺪ ﮐﻪ اﻓﺰاﯾﺶ ﻣﻘﺎوﻣﺖ ﻣﺘﻨﺎﺳﺐ ﺑﺎ ﻣﯿﺰان ﻣﺴﻠﺢ ﮐﻨﻨﺪه­ﻫﺎ اﺳﺖ(Consoli et al., 2009). ﺑﻪ ﻃﻮر ﮐﻠﯽ ﻧﺘﺎﯾﺞ ﺣﺎﮐﯽ از اﯾﻦ اﺳﺖ ﮐﻪ ﻧﻤﻮﻧﻪ­ﻫﺎي ﻣﺴـﻠﺢ ﺷﺪه ﺷﮑﻞ­ﭘﺬﯾﺮي ﺑﯿﺸﺘﺮي ﻧﺴﺒﺖ ﺑﻪ ﻧﻤﻮﻧﻪ­ﻫﺎي ﻏﯿﺮ ﻣﺴﻠﺢ دارﻧﺪ و ﺑﺎ اﻓﺰاﯾﺶ اﻟﯿﺎف در ﺧﺎك ﻣﻘﺎوﻣﺖ ﺑﺮﺷﯽ اﻓﺰاﯾﺶ ﻣﯽ ﯾﺎﺑﺪ.(Eads &Grim,1960) ﺧﺎك­ﻫﺎي رﯾﺰ داﻧﻪ ﺧﺎﺻﯽ در ﻃﺒﯿﻌﺖ وﺟﻮد دارﻧﺪ ﮐﻪ ﺑﻪ ﻣﺤﺾ ﺗﻤﺎس ﯾﺎﻓﺘﻦ ﺑﺎ آب، ﺑﻪ ﺳﺮﻋﺖ ﺷﺴـﺘﻪ ﻣـﯽﺷﻮﻧﺪ. اﯾﻦ ﺧﺎكﻫﺎ ﮐﻪ ﻋﻤﻮﻣﺎً از ﻧﻮع رس ﻫﺴﺘﻨﺪ، در ﺻـﻮرت ﻗـﺮار ﮔـﺮﻓﺘﻦ در ﻣﻌـﺮض ﺟﺮﯾـﺎن آب، ﺣﺘـﯽ اﮔـﺮ ﺳﺮﻋﺖ ﺟﺮﯾﺎن ﮐﻢ ﺑﺎﺷﺪ، ﺑﻪ ﺳﻬﻮﻟﺖ ﺷﺴﺘﻪ ﻣﯽﺷﻮﻧﺪ و ﻓﺮﺳﺎﯾﺶ ﻣﯽ­ﯾﺎﺑﻨﺪ. ﺑﺎﻻ ﺑﻮدن درﺻﺪ ﯾـﻮن ﺳـﺪﯾﻢ در آب ﻣﻨﻔﺬي از ﺧﺼﻮﺻﯿﺎت ﻋﻤﺪه اﯾﻦ ﺧﺎك ﻫﺎﺳﺖ. ﺧﺎك­ﻫﺎي ﻣﺬﮐﻮر ﺑﻪ ﺧﺎك­ﻫﺎي واﮔﺮا ﻣﻮﺳﻮﻣﻨﺪ. ﺑﯿﻦ ذرات ﺧﺎك­ﻫﺎي رﺳﯽ ﻧﯿﺮوﻫﺎي داﻓﻌﻪ و ﺟﺎذﺑﻪ وﺟـﻮد دارد. ﻧﯿﺮوﻫـﺎي ﺟﺎذﺑـﻪ ﻋﻤـﺪﺗﺎً از ﻧـﻮع ﻧﯿﺮوﻫـﺎي واﻧﺪرواﻟﺴﯽ ﻫﺴﺘﻨﺪ و ﻧﯿﺮوﻫﺎي داﻓﻌﻪ از وﺟﻮد ﻻﯾﻪ دوﮔﺎﻧﻪ در اﻃﺮاف ذرات ﮐﺎﻧﯿﻬﺎي رﺳﯽ ﻧﺎﺷـﯽ ﻣـﯽ­ﺷـﻮﻧﺪ. در ﺧﺎك­ﻫﺎي واﮔﺮا ﺑﺮ اﺛﺮ ﻣﺠﺎورت ﺑﺎ آب ﻧﯿﺮوي ﺟﺎذﺑـﻪ ﺑـﯿﻦ ذرات از ﺑـﯿﻦ ﻣـﯽ­رود و در ﻧﺘﯿﺠـﻪ ذرات ﮐﻠﻮﺋﯿـﺪي ﺧﺎك ﺑﻪ ﺳﻬﻮﻟﺖ از ﯾﮑﺪﯾﮕﺮ دور ﺷﺪه ﺑﺎ ﻧﯿﺮوي ﮐﻤﯽ ﮐﻪ ﻣﯽ ﺗﻮاﻧـﺪ ﻧﺎﺷـﯽ از ﺣﺮﮐـﺖ ﺑﺴـﯿﺎر آرام آب ﺑﺎﺷـﺪ، ﺑـﻪ ﺣﺮﮐﺖ در ﻣﯽ آﯾﻨﺪ، در ﺻﻮرﺗﯽ ﮐﻪ در ﺧﺎك­ﻫﺎي رﺳﯽ ﻏﯿﺮ واﮔﺮا ﻧﺤﻮه ﻓﺮﺳﺎﯾﺶ ﺑـﻪ ﮔﻮﻧـﻪ­اي دﯾﮕـﺮ اﺳـﺖ. در اﯾﻦ ﺧﺎك­ﻫﺎ، ﺑﺮ اﺛﺮ ﺗﻤﺎس ﺧﺎك ﺑﺎ آب ، ﻧﯿﺮوي ﺟﺎذﺑﻪ ﺑﯿﻦ ذرات از ﺑـﯿﻦ ﻧﻤـﯽ­رود و ﺑـﺮاي ﻓﺮﺳـﺎﯾﺶ و ﺷﺴـﺘﻪ ﺷﺪن آن ﻫﺎ ﻻزم اﺳﺖ ﺳﺮﻋﺖ ﺟﺮﯾﺎن آب ﺑﻪ ﻗﺪر ﮐﺎﻓﯽ زﯾﺎد ﺑﺎﺷﺪ .واﮔﺮاﯾﯽ، ﯾﮏ ﭘﺪﯾﺪه ﭘﯿﺸﺮوﻧﺪه ﻣﯽ­ﺑﺎﺷﺪﮐﻪ از ﯾﮏ ﻧﻘﻄﻪ ﺑﺎ ﺗﻤﺮﮐﺰ ﺟﺮﯾﺎن آب ﺷﺮوع ﺷﺪه و ﺑﻪ ﺗﺪرﯾﺞ ﮔﺴـﺘﺮش ﻣﯽ ﯾﺎﺑﺪ. ﻧﻘﻄﻪ ﺷﺮوع ﭘﺪﯾﺪه واﮔﺮاﯾﯽ ﻣﯽ­ﺗﻮاﻧﺪ ﺗﺮﮐ­ﻬﺎي ﺣﺎﺻﻞ از اﻧﻘﺒﺎض، ﻧﺸﺴـﺖ و ﯾﺎ ﺗﺮﮐﻬـﺎي ﺣﺎﺻـﻞ از رﯾﺸـﻪ ﮔﯿﺎﻫﺎن ﺑﺎﺷﺪ. اﯾﻦ ﭘﺪﯾﺪه در ﻃﺮﺣ­ﻬﺎﯾﯽ ﻧﻈﯿﺮﺳﺪﻫﺎي ﺧﺎﮐﯽ و ﮐﺎﻧﺎﻟﻬﺎي آﺑﺮﺳﺎﻧﯽ ﮐـﻪ ﺗﻤﺮﮐـﺰ ﻓﺸـﺎر آب در داﺧـﻞ ﺧﺎك وﺟﻮد دارد، داراي اﻫﻤﯿﺖ وﯾﮋه­اي ﻣﯽ ﺑﺎﺷﺪ و در ﺧﺎﮐﺮﯾﺰﻫﺎ، دﯾﻮاره­ﻫﺎي ﮐﺎﻧﺎﻟﻬﺎي ﺧﺎﮐﯽ و ﺳـﺪﻫﺎي ﺧـﺎﮐﯽ ﻣﺸﮑﻼﺗﯽ ﺑﻪ وﺟﻮد ﻣﯽ­آورد ﮐﻪ ﻏﯿﺮ ﻗﺎﺑﻞ ﺟﺒﺮان ﻣﯽ ﺑﺎﺷﺪ. ﭘﺪﯾﺪه واﮔﺮاﯾﯽ ﭘﺪﯾﺪه­اي ﻓﯿﺰﯾﮑﯽ ـ ﺷﯿﻤﯿﺎﯾﯽ اﺳـﺖ و ﻧﺒﺎﯾﺪ ﺑﺎ رﮔﺎب ﮐﻪ ﭘﺪﯾﺪه­اي ﮐﺎﻣﻼً ﻓﯿﺰﯾﮑﯽ اﺳﺖ و ﺑﺮ اﺛﺮ ﺷﺴﺘﻪ ﺷﺪن ذرات ﺳﯿﻠﺘﯽ ﺧﺎك رخ ﻣﯽ دﻫﺪ اﺷﺘﺒﺎه ﺷﻮد. از راﻫﻬﺎي ﺷﻨﺎﺳﺎﯾﯽ ﺧﺎك ﻫﺎي واﮔﺮا ﻣﯽ ﺗﻮان ﺑﻪ آزﻣﺎﯾﺸﺎت آزﻣﺎﯾﺸﮕﺎﻫﯽ ﻫﯿـﺪروﻣﺘﺮي ﻣﻀـﺎﻋﻒ، ﮐﺮاﻣـﺐ، ﭘـﯿﻦ ﻫﻮل و آزﻣﺎﯾﺸﺎت ﺷﯿﻤﯿﺎﯾﯽ ﻧﺎم ﺑﺮد. ﺑﺎ ﺗﻮﺟﻪ ﺑﻪ ﮔﺴﺘﺮش ﺧـﺎك­ﻫـﺎي واﮔـﺮا در ﻣﻨـﺎﻃﻖ ﺧﺸـﮏ و ﻧﯿﻤـﻪ ﺧﺸـﮏ ﺟﻬﺎن و ﺧﺴﺎرات اﯾﺠـﺎد ﺷـﺪه ﻧﺎﺷـﯽ از ﮐـﺎرﺑﺮد آن در ﭘـﺮوژه­ﻫـﺎي ﻋﻤﺮاﻧـﯽ، ﺟﻬـﺖ ﮐﻨﺘـﺮل واﮔﺮاﯾـﯽ ﻣﻌﻤـﻮﻻ ﺗﺪاﺑﯿﺮ ﻣﺨﺘﻠﻔﯽ در ﻧﻈﺮ ﮔﺮﻓﺘﻪ ﻣﯽ­ﺷﻮد. اﯾﻦ ﺧﺎﮐ­ﻬﺎ ﺑﻄﻮر ﻃﺒﯿﻌﯽ در اﯾﺮان ﺑـﻪ وﻓـﻮر ﯾﺎﻓـﺖ ﻣـﯽ ﺷـﻮﻧﺪ، ﺑﻨـﺎﺑﺮاﯾﻦ ﺗﺤﻘﯿﻖ و ﺑﺮرﺳﯽ روي روﺷﻬﺎي ﻣﺨﺘﻠﻒ ﺷﻨﺎﺧﺖ، اﺻﻼح و ﺑﻬﺒﻮد ﺧﺎﮐﻬﺎي واﮔـﺮا از اﻫﻤﯿـﺖ وﯾـﮋه اي ﺑﺮﺧـﻮردار اﺳﺖ.

راﻫﻬﺎي ﻏﻠﺒﻪ ﺑﺮ ﻣﺸﮑﻼت ﻧﺎﺷﯽ از ﺧﺎك ﻫﺎي واﮔﺮا ﻋﺒﺎرﺗﻨﺪ از:

1- اﺻﻼح و ﺑﻬﺒﻮد ﺧﺎك واﮔﺮا ﺑﺎ اﺳﺘﻔﺎده از ﻣــﻮاد اﻓﺰودﻧــﯽ ﺷــﯿﻤﯿﺎﯾﯽ

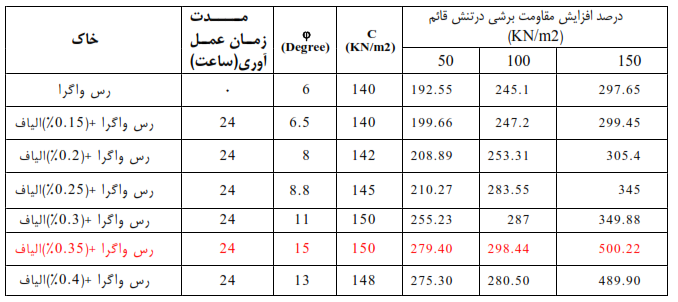
2- اﺻــﻼح ﺧــﺎك ﻫــﺎي واﮔــﺮا ﺗﻮﺳــﻂ ﭘــﺮدازش اﻟﮑﺘﺮوﺳــﻨﺘﯿﮏ ﺧــﺎك ﻫــﺎي واﮔــﺮا

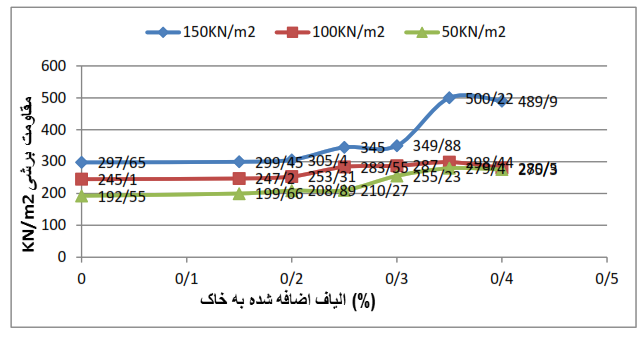
3- ﺟﻠـﻮﮔﯿﺮي از ﺑـﺮوز ﺗﻐﯿﯿﺮﻣﺴﯿﺮو دﻗﺖ در اﻧﺘﺨﺎب ﻣﻨﺎﺑﻊ ﻗﺮﺿﻪ

-4ﺗﻌﻮﯾﺾ ﺧﺎك واﮔـﺮا ﺑـﺎ ﺧـﺎك ﻏﯿـﺮ واﮔـﺮا

یکی از روش­های بهبود خاک واگرا افزودن الیاف و افزودن آهک است. جهت بررسی تاثیر افزودن الیاف بر مقاومت برشی، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی آزمایش های زیر انجام شده است (خالقیان، 1396).

جدول1ـ تاثیر افزودن الیاف بر مقاومت برشی، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی (خالقیان، 1396)

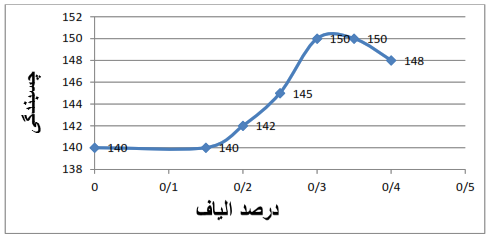




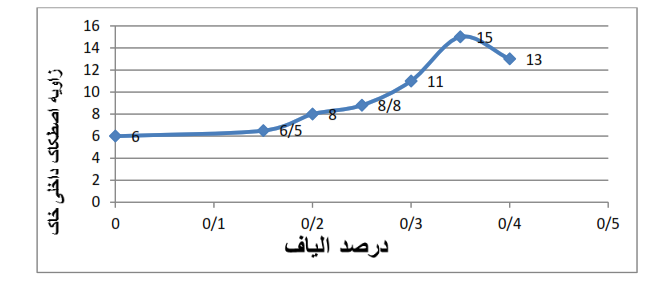
شکل4ـ نمودار تاثیر میزان الیاف اضافه شده بر مقاومت برشی خاک رس واگرا در تنش های قائم (خالقیان، 1396)

تاثیر الیاف اضافه شده، بر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی خاک:

همانطور که در شکل(5) مشخص است، زاویه اصطکاک داخلی پس از اضافه شدن 0.15% الیاف، شروع به رشد صعودی نموده و تا 0.35%، به میزان2.31 برابر، افزایش زاویه اصطکاک داخلی، نسبت به مقدار اولیه مشاهده می­گردد. سپس کاهش چشمگیری در زاویه اصطکاک داخلی اتفاق می افتد بطوریکه در 0.4 درصد الیاف، کاهش 86% در زاویه اصطکاک داخلی نسبت به حالت قبل، مشاهده می­شود. در مورد چسبندگی خاک نیز، در مقدار الیاف 0.15% شروع به افزایش می­کند. به طور کلی اضافه کردن الیاف تاثیر چشمگیری در افزایش چسبندگی خاک دارد.



شکل5ـ نمودار تاثیر میزان الیاف، بر چسبندگی خاک(Kn/m2) (خالقیان، 1396)

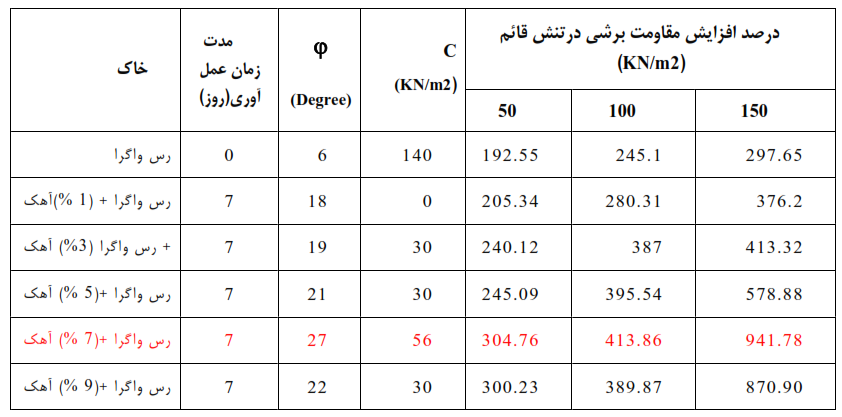


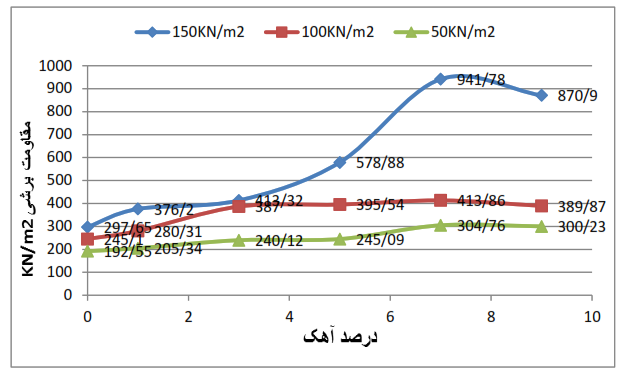
شکل6ـ نمودار تاثیر میزان الیاف اضافه شده به خاک، بر زاویه اصطکاک داخلی (خالقیان، 1396)

تاثیر میزان آهک اضافه شده:

همانطوری که قبلا نیز اشاره گردید، در ترکیب خاصی از تنش برشی و قائم، گسیختگی اتفاق می افتد، بنابرین تاثیر تنش قائم بر روی مقاومت برشی نیز باید مد نظر قرار گیرد. افزودن آهک حتی در مقادیر کم نیز تاثیرگذار است، به­طوری که با افزودن آهک سیر صعودی در مقدار مقاومت برشی در تنش قائم(KN/m^2)150، 1.26 بار افزایش می­یابد. افزودن آهک سیر صعودی در مقدار مقاومت برشی دیده می­شود و بیشینه مقدار مقاومت برشی، زمانی اتفاق می­افتد که میزان آهک افزوده شده به 7 % وزن خشک خاک میرسد. مقاومت برشی در خاک با 7 درصد آهک افزوده، به میزان 3.16 برابر خاک تثبیت نشده است. درتنش قائم 150کیلو نیوتن بر متر مربع میباشد و بعد از این مقدار آهک، مقاومت برشی شروع به کاهش می­نماید.

جدول2ـ تاثیر افزودن الیاف بر مقاومت برشی، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی (خالقیان، 1396)

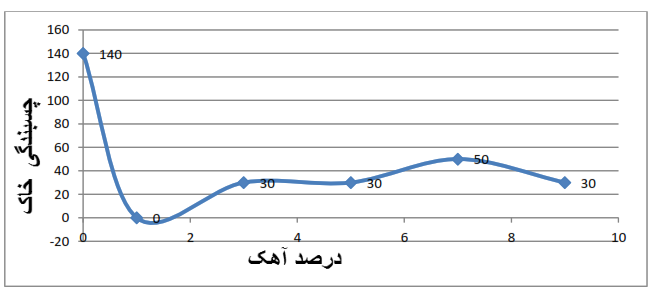




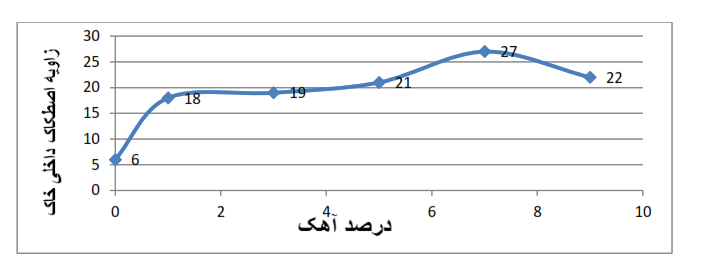
شکل7ـ نمودار تاثیر میزان آهک اضافه شده بر مقاومت برشی خاک رس واگرا در تنش های قائم (خالقیان، 1396)

تاثیر آهک اضافه شده، بر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی خاک:

به طور کلی همانطور که در جدول و شکل ها مشاهده می­گردد، تاثیر آهک بر خصوصیات مکانیکی خاک بیشتر از الیاف است. زمانی که آهک اضافه شده به خاک ،7 % وزن خشک خاک میگردد، میزان کاهش چسبندگی خاک،2.8 برابر خاک تثبیت نشده است. هم چنین افزایش بسیار چشمگیر در زاویه داخلی خاک اتفاق می افتد، به طوری که پس از اضافه نمودن 1% آهک، میزان زاویه اصطکاک داخلی خاک از6 به 27 میرسد (خالقیان، 1396).

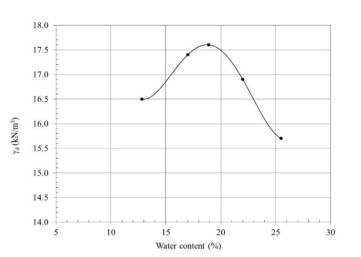


شکل8ـ نمودار تاثیر آهک اضافه شده، بر چسبندگی خاک رس واگرا (خالقیان، 1396)



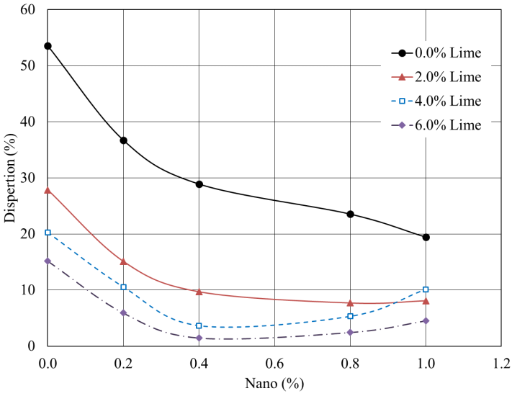
شکل9ـ نمودار تاثیر آهک اضافه شده بر زاویه اصطکاک داخلی خاک رس واگرا (خالقیان، 1396)

همچنین آزمایش تراکم استاندارد براساس استاندارد ASTM جهت تعیین مقادیر وزن مخصوص حداکثر خاک و رطوبت بهینه انجام گردیده و نتایج آن در شکل(10) نشان داده شده است. براساس این شکل برای نمونه مورد مطالعه، حداکثر وزن مخصوص خشک خاک حدود 17.6 کیلونیوتن بر متر مکعب و رطوبت بهینه 18.9درصد بدست آمده است.

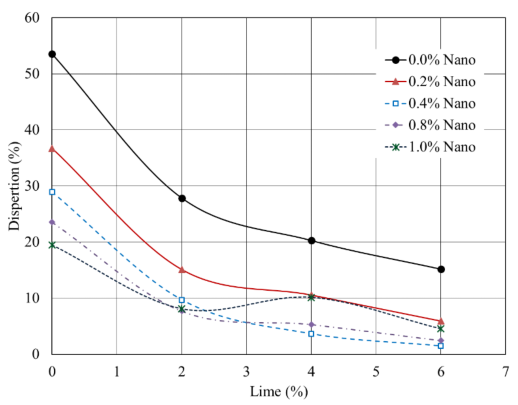


شکل10ـ نتایج آزمایش تراکم بر روی خاک مورد مطالعه (خالقیان، 1396)

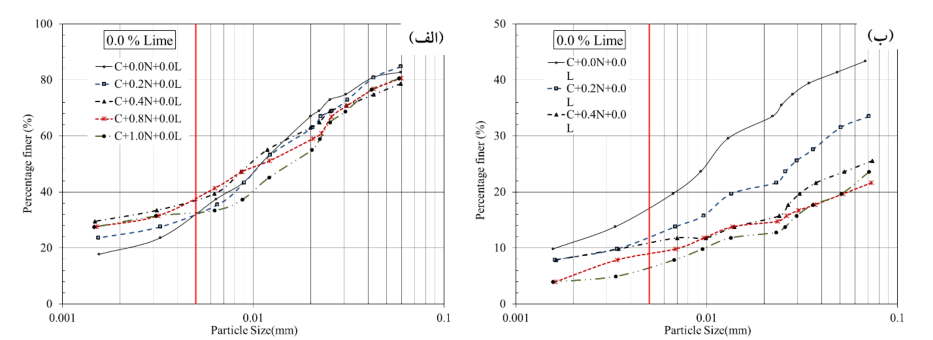
آهک و سولفات آلومینیوم به دلیل ایجاد جایگزینی مناسب یون های کلسیم یا آلومینیوم بجای سدیم، از افزودنی­های سنتی و رایج در بهسازی خاک­های واگرا به شمار می­روند. با توجه به پیشرفت تکنولوزی نانو و استفاده ار آن در بهسازی خاک­ها، از نانواکسی آلومینیوم جهت بهسازی خاک واگرا استفاده شده است. برای این منظور ترکیبات مختلفی از ماده نانو به مقدار وزنی مختلف به رس واگرا و رس واگرای مخلوط شده با درصد­های مختلف آهک افزوده شده و تاثیر آن در واگرایی خاک­ها از طریق آزمایش هیدرومتری دوگانه بررسی شده است.



شکل11ـ تغییرات درصد واگرایی برحسب تغییرات مقدار نانو اکسید آلومینیوم(خالقیان،1396).



شکل12ـتغییرات درصد واگرایی برحسب تغییرات مقدار نانواکسید آلومینیوم(خالقیان،1396).



شکل13ـ نتایج هیدرومتری دوگانه بر روی نمونه های دارای 4 درصد وزنی آهک و مقادیر مختلف نانو آلومینیوم الف) با ماده پراکنده سازی ب) بدون ماده پراکنده ساز(خالقیان،1396).

نتایج نشان داده است که با افزایش نانو اکسید آلومینیوم، درصد واگرایی به شدت کاهش می­یابد. بطوریکه برای رس واگرایی مورد آزمایش، ماده نانواکسید آلومینیوم به تنهایی تا 64 درصدی پتانسیل واگرایی را کاهش داده است و در نمونه­های دارای 2 درصد آهک، با افزودن تنها 0.2 درصد ماده نانو، خاک مورد نظر در رده خاک­های واگرا قرار گرفته است(خالقیان،1396).

**نتيجه­گيري**

تمایل به واگرایی در یک خاک مشخص، بستگی به فاکتورهای مختلفی از جمله؛ ساختار شیمیایی و کانی شناسی رس، و همچنین نمک­های نامحلول در آب موجود در حفرات خاک دارد. شناسایی این خاک ها با بررسی های محلی شروع می شود و پس از آن با روش های آزمایشگاهی با دقت بالا مشخص می گردند. از طرف دیگر ﺑﺮاي ﭘﺎﯾﺪارﺳﺎزي ﺧﺎك­ﻫﺎي ﻣﺴﺌﻠﻪ­دار روش های گوناگونی همانند اﻓﺰودنی هاي ﺷﯿﻤﯿﺎﯾﯽ، ﺟﺎﺑﺠﺎ ﮐﺮدن ﺧﺎك، ﮐﻨﺘﺮل ﺗﺮاﮐﻢ، ﮐﻨﺘﺮل رﻃﻮﺑﺖ، ﺑﺎر اﺿﺎﻓﯽ و روش های ﺣﺮارﺗﯽ وجود دارد. با ﺗﺤﻘﯿﻖ و ﺑﺮرﺳﯽ برای غلبه بر مشکلات ناشی از خاک های واگرا مشخص گردید که دراﺻﻼح و ﺑﻬﺒﻮد ﺧﺎك واﮔﺮا ﺑﺎ اﺳﺘﻔﺎده از ﻣــﻮاد اﻓﺰودﻧــﯽ، به طور کلی تاثیر آهک بر خصوصیات مکانیکی خاک بیشتر از الیاف است. هم چنین افزایش بسیار چشمگیر در زاویه داخلی خاک اتفاق می افتد.

**مراجع**

1. خامه‌چیان، م؛ رحیمی، ا؛ لشکری‌پور، غ؛ سلوکی، ح.،1394، بررسی علل فرسایش خاک های دشت سیستان از دیدگاه زمین شناسی مهندسی با نگرشی خاص به پدیده واگرایی، مجله علوم دانشگاه تهران، دوره31، شماره 1، 253-268 صفحه
2. خالقیان، م.، 1396. بررسی پارامترهای خاک های رسی واگرا تثبیت شده با آهک و تسلیح شده با الیاف مصنوعی، رساله کارشناسی ارشد دانشگاه تفرش، 70 صفحه.
3. رضایی، ح ،1392،بررسی اثر تراکم دینامیکی و بارهای استاتیکی بر مقاومت برشی خاک های لسی استان گلستان، رساله دکتری تخصصی دانشگاه فردوسی مشهد، 85 صفحه.
4. سهرابی بیدار، ع.، عسگری، ف.، 1379. پهنه بندی زمین شناسی مهندسی استان لرستان (مطالعه موردی پهنه بندی خاک های واگرا)، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، دوره 3، شماره 3، 7-24.
5. طباطبایی، ا. م.، 1389. روسازی راه، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ شانزدهم، 566 صفحه.
6. عسگری، ف.، فاخر، ع.، 1373. تورم و واگرایی خاک ها از دید مهندس ژئوتکنیک، موسسه انتشارات جهاد دانشگاهی (ماجد)، چاپ اول، 245 صفحه.
7. معماریان، ح.، 1392. زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران، موسسه چاپ و انتشارات داشگاه تهران، چاپ ششم، 992 صفحه.
8. Akbulut, S., Arasan, S., & Kalkan, E. (2007). Modification of clayey soils using scrap tire rubber and synthetic fibers. Applied Clay Science, 38(1-2), 23-32.
9. Campodonico, V. A., Rouzaut, S., & Pasquini, A. I. (2019). Geochemistry of a Late Quaternary loess-paleosol sequence in central Argentina: Implications for weathering, sedimentary recycling and provenance. Geoderma, 351, 235-249.
10. Craft, C. D., & Acciardi, R. G. (1984). Failure of pore-water analyses for dispersion. Journal of Geotechnical Engineering, 110(4), 459-472.
11. Consoli, N. C., Vendruscolo, M. A., Fonini, A., & Dalla Rosa, F. (2009). Fiber reinforcement effects on sand considering a wide cementation range. Geotextiles and Geomembranes, 27(3), 196-203.
12. Das, B. M. (1983). Fundamentals of soil dynamics (No. Sirsi) i9780444007056).
13. Eads, J. L., & Grim, R. E. (1960). Reaction of hydrated lime with pure clay minerals in soil stabilization. Highway Research Board Bulletin, (262).
14. Haeri, M. (1965). Physico – Chemical Erosion of Natural and Compacted Earth Embankments. Issue Unpublished paper.
15. Hu, S., Qiu, H., Wang, N., Cui, Y., Wang, J., Wang, X., ... & Cao, M. (2020). The influence of loess cave development upon landslides and geomorphologic evolution: A case study from the northwest Loess Plateau, China. Geomorphology, 107167
16. Ingles, O. G., & Aitchison, G. D. (1969). Soil-water disequilibrium as a cause of subsidence in natural soils and earth embankments. Division of Soil Mechanics, CSIRO.
17. Knodel, P. C. (1991). Characteristics and problems of dispersive clay soils (Vol. 9). US Bureau of Reclamation.
18. Moore, W. L., & Masch Jr, F. D. (1962). Experiments on the scour resistance of cohesive sediments. Journal of Geophysical Research, 67(4), 1437-1446.
19. Ouhadi, V. R., & Goodarzi, A. R. (2006). Assessment of the stability of a dispersive soil treated by alum. Engineering geology, 85(1-2), 91-101.
20. Rahmanadji, D. (2007). Sejarah, teori, jenis, dan fungsi humor. Jurnal bahasa dan seni, 35(2), 213-221.
21. Reddy, N. G., Rao, B. H., & Reddy, K. R. (2019). Chemical Analysis Procedures for Determining the Dispersion Behaviour of Red Mud. In Recycled Waste Materials (pp. 19-26). Springer, Singapore.
22. Sheraed, J. L., Dunnigan, L. P., & Decker, R. S. (1976). Identification and nature of dispersive soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 102(Proc. Paper# 12052).
23. Sherard, J. L., Decker, R. S., & Ryker, N. L. (1972). Piping in earth dams of dispersive clay. In Performance of Earth and Earth-Supported Structures (p. 589). ASCE.