بررسی واگرایی مصالح بدنه و معادن قرضه سدهای خاکی

محمد علی معروف[1]، جعفر بلوری بزاز[2*]،

1- **کارشناس ارشد مکانیک خاک و پی، شرکت آب پوی.**

2- **دانشیار گروه عمران دانشگاه فردوسی مشهد.**

* bolouri@ferdowsi.um.ac.ir

چکیده

پدیده‌ی واگرایی در اثر سست شدن پیوند بین ذرات رس و شسته شدن آن‌ها در اثر عبور آب اتفاق می‌افتد و در صورت وجود منافذ و جریان یافتن آب (طی مدت طولانی) با شسته شدن ذرات به مرور زمان سبب افزایش سرعت جریان آب و شدت یافتن فرسایش خاک می‌گردد. در تحقیق حاضر واگرایی مصالح قرضه و مصالح اجرا شده‌ی یند خاکی گلمندره با آزمایشات سوراخ سوزنی، هیدرومتری مضاعف و آزمایشات شیمیایی بررسی شده است. تعدادی از نمونه‌ها با آزمایش سوراخ سوزنی و هیدرومتری دوگانه غیر واگرا بوده و با توجه به آزمایشات شیمیایی واگرا می‌باشند. علت این امر ممکن است نشانگر درصد زیاد نمک‌های انحلال پذیر در خاک باشد. به منظور ارزیابی دقیق واگرایی مصالح با امتیازدهی به هر کدام از آزمایشات و معیارها، رتبه بندی واگرایی خاک‌ها پیشنهاد شده است.

کلمات کلیدی: خاک‌های واگرا، سدهای خاکی، معیارهای واگرایی، خاک‌های انحلال پذیر.

1- مقدمه

خاک‌های واگرا از جمله خاک‌های مساله دار در مهندسی ژئوتکنیک محسوب می‌شوند. خطر این پدیده برای سدهای خاکی که معمولاً در معرض ترک خوردگی و هجوم آب تحت فشار به داخل این ترک‌ها هستند، بسیار مهم بوده و طراح و متخصص ژئوتکنیک هر سد خاکی باید در مرحله‌ی اول بررسی‌ها بداند که وضعیت واگرایی خاک منبع قرضه چگونه است.

پدیده‌ی واگرایی در اثر حضور عامل ضعیف کننده‌ی پیوند بین ذرات رس مانند سدیم اتفاق افتاده و عواملی چون وجود مقادیر زیاد نمک‌های قابل حل در خاک و ریز شویی آن‌را تشدید می‌کند، گر چه باید دو پدیده‌ی نمک‌های انحلال پذیر و ریز شویی به طور مجزا بررسی شوند.

در این پژوهش واگرایی مصالح قرضه و مصالح اجرا شده‌ی یند خاکی گلمندره بجنورد با آزمایشات متعدد بررسی شده و در نهایت با رده بندی هر کدام از معیارها، رتبه بندی واگرایی خاک‌های مصالح قرضه و مصالح اجرا شده‌ی یند خاکی نقاط صورت گرفته است. بر اساس این رتبه بندی مصالح معدن 6 در رده کمی واگرا قرار گرفته و به علت اینکه میزان نمک‌های قابل انحلال آن (TDS) کمتر از مصالح معادن دیگر است، برای استفاده در بدنه‌ی بند مناسب‌تر می باشند.

2- ریزشویی، خاک‌های محتوی نمک‌های انحلال پذیر و واگرایی

2-1- ریز شویی

یکی از حالات فرسایش داخلی ریز شویی می‌باشد که عبارتست از فرسایش ذرات ریز توده‌ی خاک از میان منافذ بین ذرات درشت‌تر. در ریز شویی ذرات ریز خاک به واسطه‌ی نیروی هیدرو دینامیکی از میان ذرات درشت‌دانه فرسایش می‌یابند. فرسایش داخلی عبارتست از حمل تدریجی ذرات ریز خاک توسط جریان آب از میان ترک‌ها ، خلل و فرج و حفرات خاک. حمل تدریجی ذرات خاک در فرسایش داخلی باعث آبشستگی در سازه‌ی خاکی شده و در نهایت ممکن است به تخریب آن منجر شود. این پدیده یک پدیده‌ی فیزیکی بوده و غالباً در دانه‌بندی‌های منفصل (گسسته) روی می-دهد.

2-2- خاک‌های انحلال پذیر

خاک‌های انحلال پذیر گونه‌ای از خاک‌های مسئله دار بوده که در اثر انحلال نمک‌های موجود در خاک ساختار خاک متخلخل شده و سبب ناپایداری خاک می‌شود. وجود مواد انحلال پذیر نظیر نمک طعام (NaCl)، گچ، سولفات سدیم و آهک، موجب می‌شود که در اثر تماس آب با این خاک‌ها مواد انحلال پذیر در آب حل شده و قسمتی از ذرات موجود در توده‌ی خاک ضمن انحلال خارج شوند. وجود حلالیت کم در لابه‌های آهکی مانند ترکیبات مختلف کربنات (کربنات سدیم و کربنات کلسیم) دلیلی بر عدم انحلال آن‌ها در شرایط خاص نخواهد بود به طوریکه این ترکیبات در شرایط PH خنثی به صورت پیوند دهنده‌های شیمیایی غیر فعال عمل نموده که با ایجاد شرایط لازم مانند کاهش PH آب حفره‌ای و حل شدن آن‌ها امکان کاهش تخلخل خاک وجود دارد.

این پدیده در نهایت می‌تواند موجب افزایش تخلخل و پوک شدن خاک شده و وزن مخصوص آن را کاهش دهد. تغییرات ایجاد شده در تخلخل خاک تابعی از درصد نمک، میزان انحلال پذیری نمک و مشخصات شیمیایی آب حفره‌ای اشباع کننده از جمله PH می‌باشد.

در نمونه‌های حاوی سولفات سدیم با افزایش درصد رطوبت نمک‌های موجود سریعاً شروع به حل شدن کرده و در نتیجه سبب بیشتر شدن حفرات موجود در خاک خواهد گردید.

2-3- واگرایی

پدیده‌ی واگرایی ناشی از مقاومت ضعیف اتصال دانه‌ها در مقابل آب بوده که در صورت زه و یا تمرکز زه در بخش‌هایی از توده‌ی خاک سبب آب شستگی می‌گردد. بالا بودن درصد یون سدیم در آب منفذی از خصوصیات عمده این خاک-ها است؛ وجود بیش از اندازه یون سدیم در خاک‌های واگرا باعث افزایش ضخامت لایه آب دوگانه‌ای که ذرات رس را احاطه می‌کند، می‌گردد و در نتیجه نیروی جاذبه بین ذرات کاهش می یابد. دلیل اصلی فرسایش رس‌ها در اثر پدیده

واگرایی، بیشتر شدن نیروی دافعه الکتریکی بین ذرات از نیروی جاذبه واندروالسی در بین آن‌ها می‌باشد که نیروی دافعه از وجود لایه دوگانه در اطراف ذرات کانی‌های رسی ناشی می‌شوند.

مکانیسم فرسایش خاک‌های واگرا از یک طرف شامل ساختار خاک و از طرفی دیگر شامل ویژگی‌های اندرکنشی بین محلول‌های منفذی و فرساینده می‌باشد. ساختار خاک (غالباً کانی مونت مورلونیت) و اثرات اسمزی واقع در سطح ذرات رسی باعث تورم آن‌ها گشته و با واشدن ذرات از یکدیگر در اثر جریان آب خاک شسته خواهد شد.

3- شناسایی خاک‌های واگرا

روش‌های شناسایی خاک‌های واگرا شامل دو گروه مشاهدات عینی و آزمایشات آزمایشگاهی می‌باشد.

3-1- مشاهدات عینی

خاک‌های واگرا جز خاک‌های رسی می‌باشند و حداقل مقدار رس در آنها 10 درصد است. این خاک‌ها در طبقه‌بندی مهندسی خاک به روش یونیفاید در گروه‌های CL تا CH قرار می‌گیرند.

معمولاً خاک‌های شور و قلیایی و در بعضی موارد خاک‌های شور و خنثی در گروه خاک‌های واگرا قرار می‌گیرند. وجود آبشستگی، چال‌ها و غارها نشانه‌هایی از حضور خاک‌های واگرا در محل می‌باشد.

3-2- آزمایشات آزمایشگاهی

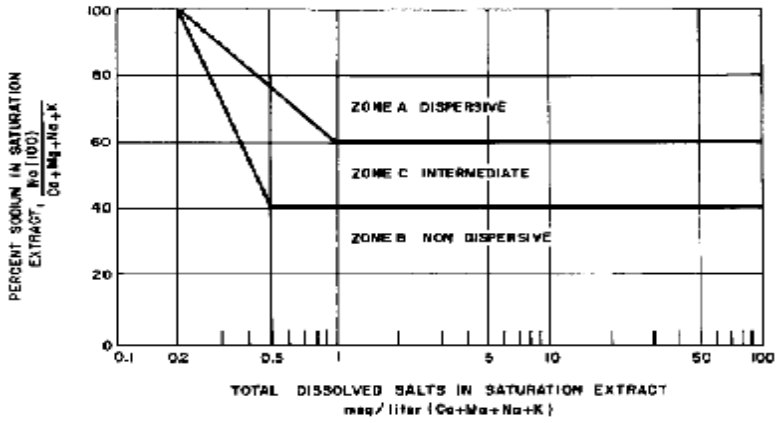
آزمایشات آزمایشگاهی به 2 گروه فیزیکی و شیمیایی تقسیم می‌شوند. آزمایشات فیزیکی شامل آزمایش کرامپ، هیدرومتری مضاعف و پین هول می‌باشد. آزمایشات شیمیایی شامل روش شرارد، نسبت SAR، ESP و غیره می‌باشند.

3-2-1- آزمایشات شیمیایی

به منظور ارزیابی واگرایی خاک در این مطالعات واگرایی خاک به دو روش شرارد و نسبت SAR بررسی شده است.

3-2-1-1- معیار شرارد

ارزیابی واگرایی بر اساس معیار شرارد بر اساس درصد سدیم (PS) و کل نمک‌های محلول (TDS) با استفاده از شکل 1 صورت می‌گیرد.



شکل 1 - تعیین واگرایی بر اساس معیار شراد

بر اساس این معیار خاک به سه گروه غیر واگرا، میانی و واگرا تقسیم می‌شود. برای خاک‌های ایران معیار شراد برای خاک‌های با TDS بیش از 100 میلی اکوالان بر لیتر دارای خطا می‌باشد.

3-2-1-2- معیار *SAR*

معیار SAR بر اساس نسبت $SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}}$ واگرایی خاک را ارزیابی می‌کند. براین اساس در صورتی که SAR بیش از 4 باشد خاک واگرا محسوب می‌شود. این معیار نیز برای خاک‌های با میزان نمک‌های آزاد زیاد و یا TDS بیش از 40 Ppm قابل استناد است. لازم به ذکر است در این آزمایشات میزان TDS از مجموع چهار عنصر Na، K،Ca،Mg بدست آمده است.

3-2-2- *آزمایشات فیزیکی*

در این مطالعات با استفاده از آزمایشات پین هول و هیدرومتری مضاعف واگرایی خاک محل مورد مطالعه قرار گرفته است. علاوه براین دو آزمایش می‌توان واگرایی خاک را به روش آزمایش کلوخه (آزمایش کرامپ) نیز بررسی کرد.

3-2-2-1- *آزمایش پین هول (سوراخ سوزنی)*

فوق آزمایش پین هول یکی از قابل اعتمادترین آزمایشات برای ارزیابی واگرایی خاک می‌باشد. این روش آزمایش، عمل جریان آب در امتداد یک ترک در خاکریز را مدل می نماید. این روش آزمایش برای اندازه گیری کیفی ودقیق واگرایی وفرسایش کلوییدی خاک های رسی می باشد؛ سوراخ کوچکی به قطر 1میلی متری(0.04 اینچ) را در یک نمونه با ابعاد مشخص ایجاد وسپس آب در این سوراخ جریان داده می شود. بر اساس دبی آب خروجی و رنگ آن خاک از نظر واگرایی به 6 گروه تقسیم بندی می‌شود. در این آزمایش سه شیوه‌ی A,B,C برای تعیین واگرایی خا ک‌های رسی وجود دارد.

3-2-2-2- آزمایش هیدرومتری مضاعف

در این روش دو آزمایش هیدرومتری یکی با مواد پراکنده ساز و دیگری بدون مواد پراکنده ساز انجام می‌شود. درصد پراکندگی عبارتست از نسبت ذرات کوچکتر از 5 میکرون(0.005 میلیمتر) در حالت بدون ماده‌ی پراکنده ساز به نسبت ذرات کوچکتر از 5 میکرون(0.005 میلیمتر) در حالت همراه با ماده‌ی پراکنده ساز. طبقه بندی واگرایی خاک‌ها بر اساس نسبت پراکندگی در جدول 1 آمده است.

جدول 1- طبقه بندی واگرایی خاک‌ها بر اساس نسبت پراکندگی

Percent dispersion	Degree of dispersion
<30	Non-dispersive
30 to 50	Intermediate
>50	Dispersive

4- ارزیابی واگرایی منابع قرضه و اجرا شده‌ی بند خاکی

بند خاکی گلمندره در منطقه‌ی شمال‌شرق ایران در حال احداث می‌باشد. با توجه به عدم مطالعه‌ی کافی در مورد واگرایی مصالح قرضه بند، تجربیاتی در خصوص واگرایی مصالح منطقه و مشکلات حین اجرا، واگرایی مصالح اجرا شده‌ی بند و مصالح محدوده‌ی بند به شعاع ده کیلومتری با دقت بیشتری بررسی شده است.

4-1- اقدامات انجام شده

به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی مصالح اجرا شده و منابع قرضه‌ی بند خاکی مورد مطالعه پس از نمونه برداری، انجام آزمایشات شیمیایی، دانه بندی، هیدرومتری مضاعف، سوراخ سوزنی و غیره صورت گرفته است.

4-1-1- نمونه برداری از نقاط مختلف پروژه

نمونه برداری از نقاط مختلف در محدوده‌ی بند و مصالح اجرا شده در دو مرحله صورت گرفته است. در مرحله‌ی اول نمونه برداری از نقاط اجرا شده‌ی بند و معادن قرضه‌ی یک تا 9 صورت گرفته است.

در مرحله‌ی دوم با توجه به نتایج آزمایشات مرحله‌ی قبل و کیفیت مطلوبتر مصالح معدن 3، نمونه برداری از این معدن و دو معدن جدید 10 و 11 انجام گرفته است.

4-1-2- انجام آزمایشات آزمایشگاهی

به منظور ارزیابی واگرایی خاک محل آزمایشات دانه بندی، تراکم، هیدرومتری مضاعف، آزمایشات شیمیایی و پین هول

بـر روی نمونـه‌هـای اخـذ شـده ازمحـل انجـام گرفتـه اسـت. جـدول 2 لیسـت آزمایشـات انجـام گرفتـه در مرحلـه‌ی اول بـر روی نمونـه‌هـای اخـذ شـده ازمحـل را نشـان مـی‌دهـد. همچنـین لیسـت آزمایشـات انجـام گرفتـه در مرحلـه‌ی دوم در جـدول 3 آمـده است.

جدول 2- آزمایشات انجام گرفته بر روی نمونه‌های اخذ شده ازمحل بند خاکی در مرحله اول

موقعیت	مشخصات نمونه	نوع آزمایش	موقعیت	مشخصات نمونه	نوع آزمایش
مصالح اجرا شده	مخلوط نمونه های 1 الی 7 که از محل‌های مختلف در امتداد محور اخذ شده است	TDS	معدن شماره 4	نمونه 1	TDS
		دانه بندی		نمونه 2	TDS
		پین هول		نمونه 3	TDS
معدن شماره 2	نمونه 1	TDS		مخلوط نمونه های 1،2و3	دانه بندی با هیدرومتری مضاعف
	نمونه 2	TDS	معدن شماره 6	مخلوط مصالح اخذ شده از نقاط 1 و 2 داخل مخزن	دانه بندی و هیدرومتری مضاعف
	نمونه 3	TDS			TDS
	مخلوط نمونه 1و2	دانه بندی			پین هول
	نمونه 3	دانه بندی	معدن شماره 7	نمونه 1	دانه بندی و هیدرومتری مضاعف
معدن شماره 3	نمونه 1	دانه بندی و هیدرومتری مضاعف			تراکم
		TDS			TDS
معدن شماره 5	نمونه 1	دانه بندی		نمونه 2	TDS
		TDS	معدن شماره 8	نمونه 1	دانه بندی
	نمونه 2	دانه بندی			TDS
		TDS		نمونه 2	دانه بندی
	نمونه 3	دانه بندی			TDS
	مخلوط نمونه های 1و2و3 (نمونه A)	TDS	معدن شماره 9	نمونه 1	دانه بندی
		دانه بندی و هیدرومتری مضاعف			TDS
	مخلوط نمونه های 1و2و3 (نمونه B)	دانه بندی و هدرومتری مضاعف		نمونه 2	دانه بندی
					TDS
		پین هول		نمونه 3	دانه بندی
					TDS

جدول 3- آزمایشات انجام گرفته بر روی نمونه‌های اخذ شده ازمحل بند خاکی در مرحله دوم

موقعیت	مشخصات نمونه	نوع آزمایش
معدن شماره 10	نمونه شماره 1	دانه بندی و هیدرومتری مضاعف
		پین هول
	نمونه شماره 2	دانه بندی و هیدرومتری مضاعف
		پین هول
	نمونه مخلوط 1و2	دانه بندی و هیدرومتری مضاعف
		پین هول
		تراکم
		CBR
معدن شماره 3	نمونه 1	دانه بندی و هیدرومتری مضاعف
	نمونه 2	دانه بندی وهیدرومتری مضاعف
	نمونه 3	دانه بندی هیدرومتری مضاعف
	مخلوط نمونه 2،1و3	دانه بندی و هیدرومتری مضاعف
		پین هول
		CBR
	نمونه 4	دانه بندی و هیدرومتری مضاعف
		پین هول
معدن شماره 11	نمونه 1	دانه بندی
		هیدرومتری مضاعف

4-2- *تعیین واگرایی مصالح با آزمایشات شیمیایی*

به منظور تعیین واگرایی مصالح منابع قرضه ابتدا آزمایشات شیمیایی شامل تعیین درصد گچ، درصد آهک، درصد کل نمک‌های محلول، میزان عناصر سدیم، کلسیم، منیزیم و پتاسیم بر روی نمونه‌های اخذ شده از محل صورت گرفته و واگرایی خاک به دو روش شرارد و نسبت SAR بررسی شده است.

نتایج این آزمایشات نشان می‌دهد که اکثر نمونه‌ها بجز چند مورد محدود واگرا می‌باشند. نتایج بررسی واگرایی خاک با آزمایشات شیمیایی در جدول 4 ارائه شده است.

جدول 4- نتایج آزمایشات تعیین واگرایی خاک با آزمایشات شیمیایی

ردیف	محل نمونه برداری	Na	Ca+Mg+k	TDS (Meq/Lit)	PS (%)	معیار شراد	SAR	واگرایی طبق SAR
1	مصالح اجرا شده	112	85	198	57	میانی	17.2	واگرا
2	معدن 2 (نمونه 1)	116	56	173	67	واگرا	21.9	واگرا
3	معدن 2 (نمونه 2)	120	59	179	67	واگرا	22.1	واگرا
4	معدن 2 (نمونه 3)	77	36	113	68	واگرا	18.1	واگرا
5	معدن 3	82	20	102	81	واگرا	26.2	واگرا
6	معدن 4 (نمونه 1)			227		-		
7	معدن 4 (نمونه 2)			153		-		
8	معدن 4 (نمونه 3)	435	312	747	58	میانی	34.8	واگرا
9	معدن 5 (نمونه 1)	29	40	69	42	میانی	6.4	واگرا
10	معدن 5 (نمونه 2)	70	49	118	59	میانی	14.1	واگرا
11	معدن 5 (نمونه 3)	24	46	70	34	غیر واگرا	4.9	واگرا
12	معدن 6	20	25	45	45	میانی	5.7	واگرا
13	معدن 7 (نمونه 1)	121	44	165	74	واگرا	26.0	واگرا
14	معدن 7 (نمونه 2)	32	20	52	62	واگرا	10.1	واگرا
15	معدن 8 (نمونه 1)	8	4	13	67	واگرا	5.7	واگرا
16	معدن 8 (نمونه 2)	13	6	19	69	واگرا	7.5	واگرا
17	معدن 9 (نمونه 1)	21	9	31	70	واگرا	9.9	واگرا
18	معدن 9 (نمونه 2)	7	5	12	57	میانی	4.3	واگرا
19	معدن 9 (نمونه 3)	21	13	35	61	واگرا	8.2	واگرا

4-3- *تعیین واگرایی مصالح با آزمایشات هیدرومتری مضاعف و پین هول*

همان‌گونه که بیان شد، نتایج آزمایشات شیمیایی در مرحله‌ی اول نشان می‌دهد که اکثر نمونه‌ها در هر دو روش معیار شرارد و SAR واگرا می‌باشند. لذا جهت بررسی بیشتر و اطمینان از عدم واگرایی نمونه‌هایی که در روش شرارد میانی یا غیر واگرا تشخیص داده شده و عدد SAR آن در کمتر از 6 بوده است مجدداً آزمایشات شیمی، هیدرومتری مضاعف و پین هول انجام گرفته است. آزمایشات شیمی تکرار شده تفاوت چندانی با نتایج اولیه نشان نمی‌دهد. نتایج کلی بررسی واگرایی خاک با این آزمایشات در جداول 5 و 6 آورده شده است.

جدول 5- نتایج آزمایشات واگرایی مصالح با آزمایش هیدرومتری دوگانه

ردیف	محل نمونه برداری	نوع خاک	LL	PI	درصد ریزتر از 0.005 میلیمتر با ماده پراکنده ساز (A)	درصد ریزتر از 0.005 میلیمتر بدون پراکنده ساز (B)	نسبت واگرایی% (B/A)	رده بندی
1	معدن 11	CL	26	8.2	21	1	4.76	خاک غیرواگرا
2	معدن 3 (نمونه شماره 1)	CL	26	8.6	16	2	12.50	خاک غیرواگرا
3	معدن 3 (نمونه شماره 2)	SC-SM	25.5	5.7	10	0	0	خاک غیرواگرا
4	معدن 3 (نمونه شماره 3)	SC	24.6	8.3	10	0	0	خاک غیرواگرا
5	معدن 3 (مخلوط نمونه 1، 2و 3)	SC	25.4	7.6	12	1	8.33	خاک غیرواگرا
6	معدن 10 (نمونه شماره 1)	GC	27.2	10.1	14	2	14.29	خاک غیرواگرا
7	معدن 10 (نمونه شماره 2)	GC	27.1	9.8	15	2	13.33	خاک غیرواگرا
8	معدن 10 (مخلوط 1و2)	GC	27.2	10	15	1	6.67	خاک غیرواگرا
9	معدن 8	SC	24.3	9.8	8	0.5	6.25	خاک غیرواگرا
10	معدن 7	CL	38.6	17.5	45	1	2.22	خاک غیرواگرا
11	معدن 5 (مخلوط نمونه های 1و2و3)	GC-GM	26.2	6.6	6.5	2.5	38.46	خاک بطور متوسط واگرا
12	معدن 4 (مخلوط نمونه های 1و2و3)	CL-ML	19.6	6.2	17	2	11.76	خاک غیرواگرا

جدول 6- نتایج آزمایشات واگرایی مصالح با آزمایش پین هول

ردیف	محل نمونه برداری	توصیف واگرایی
1	معدن 3	(ND2)غیر واگرا
2	معدن 3	(ND2)غیر واگرا
3	معدن 2 (نمونه 1)	(ND1)غیر واگرا
4	معدن 5 (نمونه 1)	(ND1)غیر واگرا
5	معدن 1	(ND2)غیر واگرا
6	معدن 10 (نمونه 1)	(ND1)غیر واگرا
7	معدن 10 (نمونه 2)	(ND1)غیر واگرا
8	معدن 10 (مخلوط نمونه های 1 و 2)	(ND1)غیر واگرا

5- ارزیابی نتایج آزمایشات

همان‌گونه که توضیح داده شد، مصالح اخذ شده از معادن قرضه، با آزمایشات متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفته است. در

حالی‌که نتایج آزمایشات شیمیایی نشانگر واگرایی برخی نمونه‌ها بوده، آزمایشات هیدرومتری مضاعف و پین هول انجام گرفته بر روی تعدادی از این نمونه‌ها نشانگر غیر واگرا بودن آن‌ها می‌باشد. به منظور قضاوت درست در این موارد باید مشابه جدول 7 به هر کدام از معیارها نمره‌ای اختصاص داده و بر اساس مجموع رتبه‌ها در مورد واگرایی و یا عدم واگرایی مصالح قضاوت کرد.

جدول 7- رتبه دهی هر کدام از معیارها و قضاوت در مورد واگرایی خاک

آزمایش	رده و وزن آیتم	توصیف واگرایی					
پین هول (سوراخ سوزنی)	رده	ND1	ND2	ND3	ND4	D1	D2
	رتبه	0	1	2	3	4	5
هیدرومتری مضاعف	رده	غیر واگرا		میانی		واگرا	
	رتبه	0		2		3	
معیار شراد(TDS vs %Na)	رده	غیر واگرا		میانی		واگرا	
	رتبه	0		1		2	
SAR	رده	<4		4-8		>8	
	رتبه	0		1		2	
تشخیص واگرایی		غیر واگرا	کمی واگرا		نسبتاً واگرا	واگرا	شدیداً واگرا
رتبه کل		<3	3 تا 5		5 تا 8	8 تا 10	>10

با توجه به حجم و کیفیت مصالح معادن قرضه، بر اساس رتبه بندی جدول 8 واگرایی مصالح معادن قرضه‌ی3، 5، 6 و 10 طبق جداول 13 تا 16 بررسی شده است.

جدول 8- ارزیابی واگرایی مصالح بر اساس نتایج کلیه‌ی آزمایشات

معدن قرضه	آزمایش	پین هول	هیدرومتری مضاعف	معیار شراد	SAR
معدن 3	رتبه	1	0	2	2
	رتبه کل	5			
معدن 5	رتبه	0	1	1	2
	رتبه کل	4			
معدن 6	رتبه	1	0	1	1
	رتبه کل	3			
معدن 10	رتبه	0	0	1	2
	رتبه کل	3			

با توجه به جداول 7 و 8 مصالح مصالح معادن قرضه‌ی 5،6 و 10 در رده‌ی خاک‌های با واگرایی کم و مصالح معدن 3 در رده‌ی خاک‌های نسبتاً واگرا قرار می‌گیرند.

6- نتیجه گیری

عدم واگرایی تعدادی از نمونه‌ها با آزمایش هیدرومتری دوگانه و واگرایی آن با توجه به آزمایشات شیمیایی ممکن است نشانگر درصد زیاد نمک‌های انحلال پذیر در خاک باشد.

بر اساس نمره‌دهی جدول 8 مصالح معدن 6 در رده کمی واگرا قرار گرفته و به علت اینکه میزان نمک‌های قابل انحلال آن (TDS) کمتر از مصالح معادن دیگر است، برای استفاده در بدنه‌ی بند مناسب‌تر بوده و استفاده از این مصالح در اجرای ادامه‌ی بدنه‌ی بند پیشنهاد می‌گردد.

با توجه به وجود نمک در قسمت ریزدانه و شاخص خمیری کم مصالح محل، وجود درصد بیشتر مصالح درشت دانه در آن مطلوب‌تر بوده که مصالح معدن 6 این مورد را برآورده می‌کند.

به منظور تعیین خواص دراز مدت خاک در مجاورت آب به بررسی و انجام آزمایشات بیشتری نیاز می‌باشد. احداث یک خاکریز آزمایشی در محل می‌تواند به تصمیم گیری صحیح‌تر منجر شود.

با توجه به نفوذ پذیری کم مصالح بدنه، با اجرای مناسب بدنه‌ی سد و تراکم یکنواخت و کافی می‌توان خطر ناشی از انحلال نمک‌ها و واگرایی را به حداقل رساند. همچنین به دو دلیل زیر نگرانی در زمینه‌ی نمک‌های قابل انحلال کاهش می‌یابد: اول این‌که در صورت احداث سد در منطقه‌ای که خاک آن حاوی نمک‌های محلول باشد معمولاً آب رودخانه به علت عبور از همان سازندها، از نمک‌های موجود نسبتاً اشباع شده و هنگام نفوذ در بدنه‌ی خاکی سد، چندان توانایی انحلال نمک‌های موجود را ندارد و دلیل دوم این‌که، به علت اضافه نمودن آب در حین تراکم خاک، درصد زیادی از نمک‌های موجود در همان آب تراکمی حل می‌شود.

مراجع

بازرگان،ج. و اسماعیلی،د.، (1389). "ارزیابی و اصلاح معیار شیمیایی تشخیص پتانسیل واگرایی خاک‌های رسی" نشریه‌ی زمین شناسی مهندسی، جلد 4، شماره2.

پویان نژاد، ا. محمودی، ش. و رحیمی،ح. (1379). " بررسی نفوذ پذیری خاک‌های گچی طی فرایند آبشویی" مجله علوم کشاورزی ایران، جلد1، شماره2.

تدین،ا. و فرزانه،ف. (1385). "شناسایی و کاربرد خاک‌های واگرا در سدهای خاکی" انتشارات وزارت نیرو، کمیته‌ی ملی سدهای بزرگ ایران.

خامه چیان، م. رحیمی،ا. لشکری پور،غ. و سلوکی،ح.، (1384). "بررسی علل فرسایش خاک دشت سیستان از دیدگاه زمین شناسی مهندسی با نگرشی خاص به پدیده‌ی واگرایی" مجله دانشکده علوم دانشگاه تهران، جلد31، شماره1.

ASTM D4221-99, (2000). “Standard Test method for dispersive haracteristics of clay soil by Double Hydrometer”.

ASTM D4647-93 “Standard Test Method for the identification and classification of Dispersive Clay Soils by the Pinhole Test”.

Dixit, M., S. L. Gupta, (2011). “Problems in characterization and identification of dispersive soils - a case study” International Journal of Earth Sciences and Engineering, Volume 04, No 06 SPL, pp. 143-146.

“Dispersive Clays”, (1991). U.S. Department of Agriculture Soil onservation Service Engineering Division Soil Mechanics Note, NO. 13.

"Dispersive Soils in Embankment Dams", ICOLD Bulletin 77, (1990). prepared by the Icold Committee on Materials for Fill Dams.

Marion, G.M., Verburg, P.S.J., McDonald, E.V. and Arnone, J.A., (2008). "Modeling salt movement through a Mojave Desert soil" Journal of Arid Environments, No. 72, PP.1012–1033.

Sherard, J.I. Dunnigan, L.P.and Decher, R.S. (1977). "Some engineering problems with dispersive soil" ASTM STP, Vol.623, PP. 3-12.

Sherard, J.I. Dunnigan, L.P.and Decher, R.S. (1976). "Identification and nature of dispersive soil", Journal of Geotechnical Engineering Division, Vol.102, PP.287-301.

V.R. Ouhadi, A.R. Goodarzi, (2006). "Assessment of the stability of a dispersive soil treated by alum", Engineering Geology, No.85, PP. 91–101.

Umesh, T. S., Dinesh, Puvvadi, S. V. and Sivapullaiah, V. (2011). "Characterization of Dispersive Soils", Materials Sciences and Applications, No. 2, PP. 629-633.