نشریه زمین شناسی ژئوتکنیک
سال ۱۰(۱۳۹۳)، شماره۲ :۱۰۹-۱۰۰
WWW.appliedgeology.ir

برآورد ضریب مانینگ رسوبات رودخانه‌های استان گلستان در طبقه‌بندی متحد خاک

حامد رضایی[1*]، سیده اعظم تقوی[2]، سمیه قندهاری[3]

۱) گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه ، دانشگاه گلستان، Rezaiy.hamed@yahoo.com

۲) شرکت مهندسین مشاور جویا پارس شمال، a.taghavi720@gmail.com

۳) سازمان آموزش و پرورش استان گلستان، Somayeh-ghandhary@yahoo.com

*) عهده دار مکاتبات

دریافت: ۹۲/۱۱/۲۵؛دریافت اصلاح شده: ۹۳/۴/۱۵؛پذیرش: ۹۳/۶/۱۰؛قابل دسترس در تارنما: ۹۴/۸/۳۰

چکیده

ضریب مانینگ یکی از پارامترهای مهم در مطالعات مهندسی رودخانه و مباحث انتقال رسوب می‌باشد. تعیین این ضریب برای محاسبه دقیق عوامل مؤثر بر جریان هیدرولیکی کانال انتقال آب مثل عمق و سرعت جریان، ضروری است. ضریب مانینگ بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۷ در رسوبات طبیعی متغیر است، لذا انتخاب عدد درست و دقیق مهم می‌باشد. این ضریب با قطر رسوب بستر کانال رابطه دارد. سیستم طبقه‌بندی متحد خاک یکی از رایج‌ترین طبقه‌بندی‌ها در مهندسی ژئوتکنیک است که تابع منحنی توزیع دانه‌بندی خاک بوده و می‌تواند قطر رسوب را در هر درصد عبوری اندازه‌گیری نماید. با استفاده از این سیستم به‌راحتی و با دقت قابل قبولی می‌توان ضریب مانینگ هر نوع خاک دانه‌ای را برآورد نمود. در این تحقیق ضریب مانینگ ۱۸ نوع خاک دانه‌ای در سیستم طبقه‌بندی متحد محاسبه و برآورد گردید. اعتبارسنجی و صحت نتایج به‌دست آمده، بر پایه تحلیل پارامترهای آماری ۱۰۶ منحنی دانه‌بندی رسوبات ۱۳ رودخانه استان گلستان می‌باشد. این رودخانه‌ها از کوه‌های جنوبی استان به سمت شمال درحرکت بوده و از مواد مختلف زمین عبور می‌کنند. نمونه‌برداری انجام شده در پائیز سال ۹۱، مربوط به دپوی مصالح در معادن شن و ماسه کارخانه‌های منطقه می‌باشد که عموماً محل خروجی حوزه‌های آبریز مناطق کوهستانی است.

واژه‌های کلیدی: ضریب مانینگ، رسوبات رودخانه‌ای، طبقه‌بندی متحد خاک، مهندسی رودخانه، انتقال رسوب، استان گلستان.

۱- مقدمه

در مطالعات مهندسی رودخانه و در مباحث انتقال رسوب و طراحی کانال‌های آب‌رسانی، ضریب زبری یکی از پارامترهای وابسته زمین‌شناسی بستر جریان هیدرولیکی است که در این میان ضریب مانینگ یکی از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد. برای مدل‌سازی دوبعدی و سه‌بعدی جریان هیدرولیکی، روش‌های متعددی از جمله مدل‌های آزمایشگاهی وجود دارد (Ashiq & Doering 2006) تا بتوان ضرایب زبری بستر کانال‌ها با سطح آزاد را برآورد نمود.

حدود ۲۵۰ سال است که ضریب زبری وارد معادلات جریان کانال‌های آب شده و تحقیقات گسترده‌ای راجع به آن انجام شده است

(Khatua et al. 2007; Zheng 2012). روابط معروف تعیین ضریب زبری شامل رابطه شزی (Chezy 1932)، دارسی- ویسباخ (Darcy - Weisback 1926)، مانینگ (Manning1916)، رابطه سرعت بی‌بعد و روابط همبستگی بین دبی جریان و عوامل هیدرولیکی است (به نقل از امامی ۱۳۷۹). در تمامی این روابط، ضریب زبری تابع ویژگی‌های کانال بوده و معمولاً به‌صورت تجربی و با تقریب در ارتباط با نوع رسوب برآورد می‌گردد. یکی از روابط تعیین سرعت جریان کانال رابطه ویسباخ (Weisback 1891) می‌باشد (رابطه ۱).

رابطه (۱)
$$V = \frac{kn}{n} R^{2.3} S^{1.2}$$

همچنین ضریب زبری با دبی جریان (Q) به‌صورت رابطه زیر در ارتباط است ((Zheng 2012) رابطه ۲).

رابطه (۲)
$$Q = + \frac{1}{n} A R_n^{2.3} \sqrt{S}$$

در این رابطه n: ضریب مانینگ و K_n: ضریب تبدیل واحد بوده و مقدار آن در سامانه SI معادل واحد است. R: شعاع هیدرولیکی کانال برحسب متر و S: شیب خط جریان و بدون بعد است.

ضریب مانینگ (n) شامل دو ضریب مانینگ ناشی از زبری دانه‌ها (n') و ضریب زبری مانینگ ناشی از شکل بستر (n'') است (امامی ۱۳۷۹). n' تابع قطر ذرات بستر کانال است. n و n'' در ارتباط با نسبت ارتفاع برجستگی بستر کانال و عمق آب می‌باشند (Talebbeydokhti et al. 2006). همچنین عوامل مؤثر بر جریان کانال مثل آثار نامنظم سطح مقطع، چگونگی تغییرات سطح مقطع، وجود موانع در مسیر کانال، پوشش گیاهی و درجه مارپیچی بودن ازجمله ضرایب اصلاحی می‌باشند که به ضریب مانینگ تحمیل می‌شوند (هادیانی و همکاران ۱۳۸۸؛ غریب و همکاران ۱۳۸۴). بسیار تلاش شده است تا بین ضرایب زبری مانینگ با پارامترهای مؤثر بر جریان کانال رابطه برقرار گردد (Simoes 2010; Khrapov et al. 2013). ضریب زبری در کانال‌های طبیعی با لوله‌ها و مجاری مصنوعی متفاوت است (Devkota et al. 2012) و همچنین روابط تجربی و حتی قضاوت‌های کارشناسی در هر منطقه بین ضریب مانینگ با پارامترهای رسوب برقرار شده است که از جمله رابطه ضریب مانینگ با پارامترهای دانه‌بندی رسوب است (چوپانی و همکاران ۱۳۸۶). عوامل بسیاری مثل اثر قطر دانه‌های رسوب ۲۰۰۹ (Ferguson 2010; Doncker)، عمق جریان (Krebs et al. 2013; Jiang & Li 2010) ، لزجت جریان، اثر شکل بستر، ناهمواری سطح آبراهه، اثر تغییرات اندازه و شکل مقاطع رودخانه، اثر موانع و پوشش گیاهی، اثر پیچان‌رودی و اثر غلظت جریان بر زبری جریان مؤثر می‌باشند. برخی از این عوامل نیز تابع شرایط هیدرولیکی نظیر نوع رژیم جریان می‌باشند. در این میان، عامل قطر دانه‌های رسوب، نقش اساسی در زبری جریان کانال و آبراهه‌های اصلی و دشت سیلابی ایفا می‌کند که معمولاً ضرایب زبری مربوط به این عامل به‌صورت تجربی (Simoes 2010) و یا به‌صورت جدول در انواع بسترها ارائه می‌شود (غریب و همکاران ۱۳۸۴). این مقادیر معمولاً کلی بوده و اغلب مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط ارائه می‌شوند. علی‌رغم تمام شرایط ذکر شده، این تحقیق به دنبال روش‌های برآورد ضریب مانینگ در خاک‌های مختلف بر اساس سیستم طبقه‌بندی متحد خاک است که به‌سادگی با داشتن منحنی‌های دانه‌بندی طبقه‌بندی می‌شوند.

در مطالعات هیدرولیک رودخانه‌ها به کمک علم سنجش از دور، ضریب زبری متوسط طول معینی از رودخانه برآورد می‌شود (Azamathulla et al. 2013). با استفاده از شبیه‌سازی عددی روی هیدروگراف سیل، مقدار ضریب زبری یک رودخانه تخمین زده می‌شود (Khrapov et al. 2013). با بررسی مکانیسم سرعت جریان رواناب در بافت شهری، محاسبات ضریب زبری به روشی دیگر پیش‌بینی گردید (Krebs et al. 2013). راه‌اندازی سیستم‌های هوشمند نرم‌افزاری برای تخمین و یا پیش‌بینی ضریب زبری مطالعات این بخش وارد عرصه جدیدی شده است. بر این اساس، می‌توان مقادیر ضریب مانینگ را در بسترهای مختلف و با نوع جریان متفاوت با دقت ±۱۰ درصد به دست آورد (Azamathulla et al. 2013).

۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش، با انتخاب ۱۰۶منحنی دانه‌بندی از رسوبات ۱۳ رودخانه استان گلستان، علاوه بر اندازه‌گیری قطر مشخصه رسوبات و طبقه‌بندی آنها و محاسبه ضریب مانینگ بر اساس روابط تجربی (جدول ۲)، پارامترهای آماری محاسبه و نرمال بودن جامعه آماری بررسی شده است. طبقه‌بندی رسوبات بر اساس منحنی دانه‌بندی در سیستم متحد خاک انجام‌شد (جدول ۳). رابطه تجربی کلی بین ضریب مانینگ (n) و قطر

جدول۲- عوامل تعیین ضریب زبری مانینگ دانه‌های رسوب(استاندارد صنعت آب و آبفا ۱۳۹۰)

ردیف	نام رابطه	d*	α	نوع رسوب
۱	استریکلر(Strickler 1923)	d_{50}	۰/۰۴۷۴	یکنواخت
۲	میر-پیتر و مولر(Meyer-Petter and Muller 1984)	d_{90}	۰/۰۳۸۴	غیریکنواخت
۳	لین و کارلسون(Lan and Carlson 1953)	d_{75}	۰/۰۴۷۳	غیریکنواخت
۴	بری(Bray 1923)	d_{65}	۰/۰۵۶۱	بستر شنی
۵	کیوی(Kivi 1976)	d_{65}	۰/۰۱۳	بستر شنی

*واحد d برحسب متر و در رابطه کیوی به میلی‌متر می‌باشد.

مشخصه (d) رسوب به‌صورت رابطه (۳) بیان می‌شود:

رابطه (۳)

$$n = ad^{\frac{1}{6}}$$

در این رابطه α ضریب تابع نوع رسوب می‌باشد که توسط محققین مختلف تعیین شده است(جدول۳).

در یک تقسیم‌بندی کلی، خاک‌ها به دو گروه خاک‌های درشت‌دانه (دانه‌ای) و ریزدانه (چسبنده) تقسیم می‌شوند. خاک‌های درشت‌دانه به دو رده شن (Gravel) و ماسه (Sand) و خاک‌های ریزدانه به دو رده لای (Silt) و رس (Clay) تفکیک می‌شوند. در مهندسی ژئوتکنیک، این رده‌بندی اساس طبقه‌بندی متحد خاک (Unified Soil Classification) است. در این سیستم خاک‌ها برحسب میزان فراوانی به چهار گروه شن (G)، ماسه (S)، لای (M) و رس (C) تقسیم می‌شوند و سپس برحسب میزان یکنواختی اندازه دانه‌ها پسوند "خوب دانه‌بندی شده" (W) برای رسوبات غیریکنواخت و "بد دانه‌بندی شده" (P) برای رسوبات یکنواخت به نام‌های چهارگروه فوق اضافه می‌شود. برای مثال رسوب GW به مفهوم شن خوب دانه‌بندی شده است. همچنین برحسب نوع ریزدانه موجود بین رسوبات، پسوند M و یا C به نام خاک اضافه می‌شود. مثلاً رسوب ماسه‌ای با داشتن لای به میزان بیش از ۱۲ درصد، SM نام دارد. به همین ترتیب خاک‌های درشت‌دانه به ۱۸ رده تقسیم می‌شوند (تصویر۱). در رسوبات رودخانه‌ای مورد مطالعه‌ی استان، تمامی نمونه‌ها فاقد ریزدانه رسی بوده و رسوبات با ریزدانه بالای ۱۲درصد، تماماً لای (M) می‌باشند. با توجه به آنکه در برآورد ضریب مانینگ بر اساس روابط موجود، ریزدانه‌ها نقشی ندارند، لذا در این تحقیق خاک‌های حاوی لای و رس در یک رده قرار گرفته‌اند.

۳- بحث

آب در بستر کانال طبیعی در هر جریان با دانه‌های رسوب اصطکاک جداره‌ای ایجاد کرده و باعث افزایش مقاومت در مقابل جریان می‌شود. این زبری تابع اندازه رسوب، شرایط جریان، شیب جریان و حتی بافت سطح دانه‌های رسوب می‌باشد (امامی ۱۳۷۹). علاوه بر آن، موانع مسیر جریان که به توپوگرافی بستر کانال و مقطع آن مربوط است، به زبری جریان می‌افزاید. همچنین عوامل ثانویه مانند پوشش گیاهی و غلظت جریان نیز بر زبری مؤثرمی‌باشند. قطر ذرات رسوب در بستر آبراهه‌ها و دشت‌های سیلابی نیز بر زبری جریان مؤثر بوده که روابط متعددی برای تعیین آن پیشنهاد شده است. استفاده از این روابط و انتخاب قطر مشخصه، مستلزم شناخت دقیق نوع رسوب است. یکی از طبقه‌بندی‌های رایج و آسان که مورد استفاده مهندسان ژئوتکنیک و زمین‌شناسی مهندسی قرار می‌گیرد، سیستم طبقه‌بندی متحد (یونیفاید) است که نوع رسوب را به نحو مطلوبی معرفی می‌کند. پارامترهای آماری آنالیز نوع رسوب (جدول۴)، نشان می‌دهند که ضریب مانینگ به دست آمده بین رسوبات مطالعه شده بین ۰/۰۱۰۳ تا ۰/۰۳۰۷ متغیر است و فاصله بین مقادیر حداقل و حداکثر حدود سه برابر است. بر اساس شاخص ضریب تغییرات، روابط میر و همکاران و کیوی برای رسوبات مطالعه شده پاسخ مناسبی داده و دارای کمترین تغییرات می‌باشند (۱/۲۴ و ۱/۲۷درصد). منحنی‌های نرمال نیز این نتیجه‌گیری را تأیید می‌کنند (تصویر ۲).

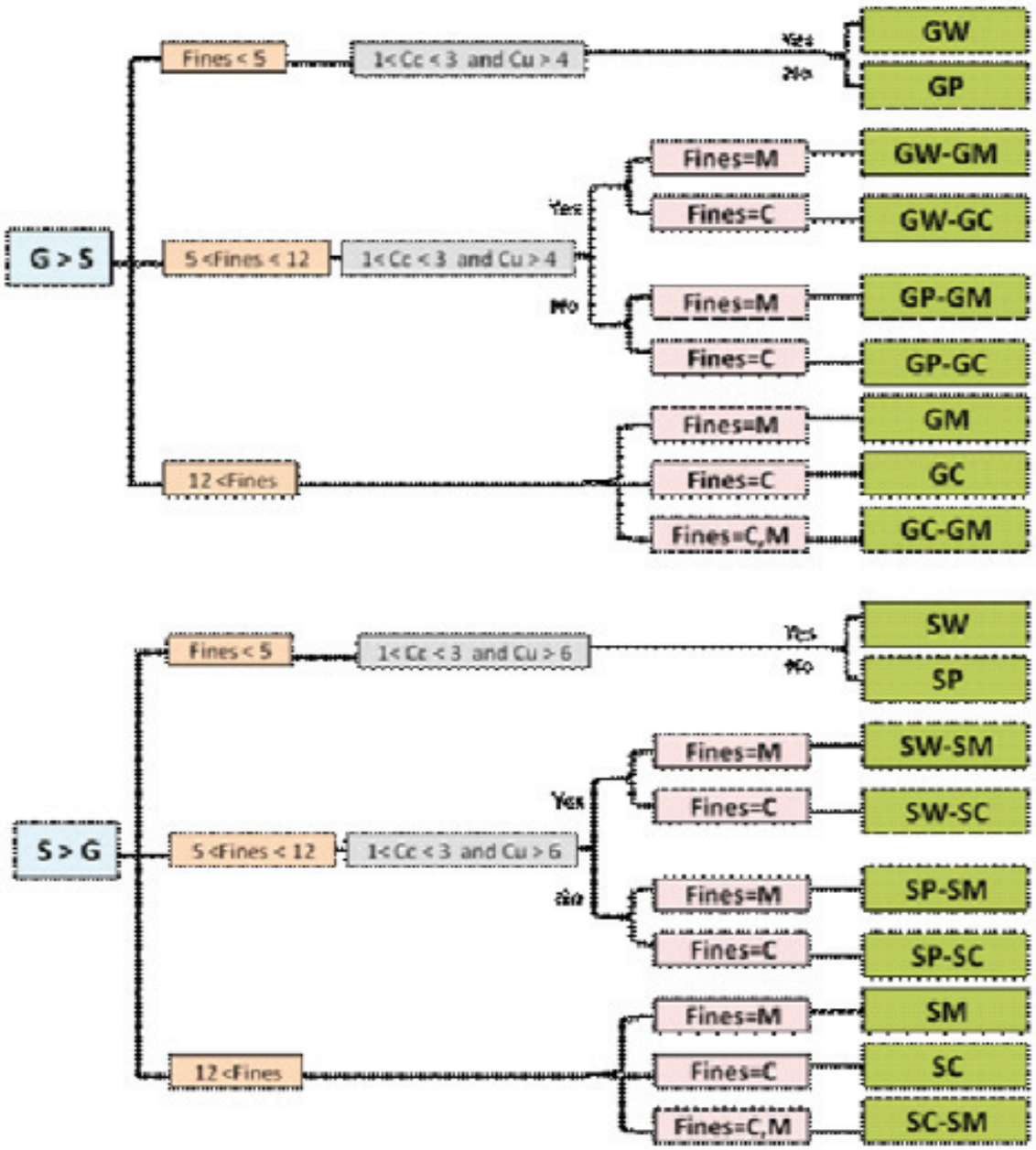
روابط ارائه‌شده در جدول ۲ برای رسوبات مختلف پیشنهادشده است، لذا بر اساس آن در تقسیم‌بندی متحد به اعتبارسنجی روابط مورد استفاده برای هر نوع خاک برمبنای پارامترهای آماری پرداخته می‌شود. با این حال نتایج این روابط دارای رابطه معنی‌داری با یکدیگر بوده و ضریب همبستگی بین برخی از آن‌ها بالا می‌باشد (جدول ۵).

جدول۳- ضرایب مانینگ و طبقه‌بندی متحد رسوبات جامعه آماری انتخابی

نام رودخانه	شماره نمونه	d50	d85	d75	d90	Strickler	Meyer et al.	Lan & Carlson	Bray	Kivi	نام رسوب
وطنا	1	0.08	0.25	0.55	10	0.0095	0.0176	0.0132	0.0137	0.0103	GM
	2	0.3	1.7	4.7	10	0.0119	0.0176	0.0190	0.0190	0.0142	GM
	3	1.2	4.8	13	40	0.0151	0.0222	0.0226	0.0226	0.0170	SW-SM
	4	5	13	17	25	0.0193	0.0205	0.0237	0.0268	0.0201	GM
	5	0.34	0.78	1.3	2.5	0.0122	0.0139	0.0153	0.0166	0.0125	SM
	6	1.6	3.5	6	14	0.0159	0.0186	0.0198	0.0215	0.0161	SM
	7	0.65	1.6	2.4	4.5	0.0136	0.0153	0.0170	0.0188	0.0141	SM
بالاجاده	8	1.2	4.3	13	32	0.0151	0.0214	0.0226	0.0222	0.0167	SP-SM
	9	2.8	5.5	8	22	0.0174	0.0201	0.0208	0.0232	0.0174	SP-SM
	10	2.8	4	5	7.2	0.0174	0.0166	0.0192	0.0219	0.0165	SW
	11	0.2	1.3	5.5	30	0.0111	0.0212	0.0195	0.0181	0.0136	SM
	12	3.5	10	15	25	0.0181	0.0205	0.0232	0.0256	0.0192	SP
	13	3.8	5.5	6.5	15	0.0184	0.0188	0.0201	0.0232	0.0174	SP
	14	0.8	7	18	64	0.0141	0.0241	0.0239	0.0241	0.0181	SP
	15	0.62	14	34	50	0.0135	0.0231	0.0266	0.0272	0.0204	SP-SM
	16	0.8	1.3	1.7	3.2	0.0141	0.0145	0.0160	0.0181	0.0136	SP
میاندره	17	1.3	2.6	4.5	10	0.0153	0.0176	0.0189	0.0204	0.0153	SW
	18	2.9	6.5	11	25	0.0176	0.0205	0.0220	0.0238	0.0179	SW
	19	2.5	3.8	6	60	0.0171	0.0238	0.0198	0.0218	0.0163	SW
	20	7.6	15	19	32	0.0207	0.0214	0.0241	0.0275	0.0206	GW
	21	2.8	3.4	4	5.8	0.0174	0.0160	0.0185	0.0213	0.0160	SP
	22	7.5	12	17	35	0.0206	0.0217	0.0237	0.0264	0.0198	GP
شصت کلا	23	1.5	4.5	17	23	0.0157	0.0202	0.0237	0.0224	0.0168	SP
	24	1.2	2.8	5.5	50	0.0151	0.0231	0.0195	0.0207	0.0155	SP
	25	0.36	0.58	0.85	3	0.0123	0.0143	0.0142	0.0158	0.0119	SP-SM
	26	0.6	0.9	1.3	2.2	0.0134	0.0136	0.0153	0.0170	0.0128	SW
	27	0.9	9	30	100	0.0144	0.0260	0.0261	0.0252	0.0189	GM
	28	1.4	2.5	4	16	0.0155	0.0190	0.0185	0.0203	0.0152	SP-SM
	29	4	5.8	7	14	0.0185	0.0186	0.0203	0.0234	0.0175	SP
	30	4.5	8.5	15	26	0.0189	0.0206	0.0232	0.0249	0.0187	GM
	31	18	25	32	55	0.0239	0.0235	0.0263	0.0300	0.0225	GP
زیارت	32	7	18	28	50	0.0204	0.0231	0.0258	0.0283	0.0212	GM
	33	0.4	10	40	80	0.0125	0.0250	0.0274	0.0256	0.0192	GW-GM
	34	12	17	19	27	0.0223	0.0208	0.0241	0.0281	0.0210	GW
	35	0.9	1.7	3.8	27	0.0144	0.0208	0.0183	0.0190	0.0142	SP-SM
	36	22	29	35	58	0.0248	0.0237	0.0268	0.0307	0.0230	GP
	37	14	18	21	28	0.0229	0.0209	0.0245	0.0283	0.0212	GP-GM
	38	0.7	1.3	1.8	5	0.0138	0.0156	0.0162	0.0181	0.0136	SM
	39	0.35	1.6	7.8	45	0.0123	0.0227	0.0207	0.0188	0.0141	SW-SM
	40	3	6.8	9.5	14	0.0177	0.0186	0.0214	0.0240	0.0180	GP
	41	10	15	21	38	0.0217	0.0220	0.0245	0.0275	0.0206	GP
تقی آباد	42	2.8	4.9	7.2	20	0.0174	0.0197	0.0204	0.0227	0.0170	SP-SM
	43	1.3	2.9	5.5	25	0.0153	0.0205	0.0195	0.0208	0.0156	SP-SM
	44	0.52	1.5	4.4	25	0.0131	0.0205	0.0188	0.0186	0.0139	SP-SM
	45	0.4	0.8	1.8	12	0.0125	0.0181	0.0162	0.0167	0.0125	SP-SM
	46	0.3	0.6	1.5	18	0.0119	0.0194	0.0157	0.0159	0.0119	SM
	47	2.2	5.5	10	31	0.0167	0.0213	0.0216	0.0232	0.0174	SM
محمد آباد	48	3.4	4.5	5.4	17	0.0180	0.0192	0.0195	0.0224	0.0168	SM
	49	2.9	6.1	9.2	19	0.0176	0.0196	0.0213	0.0236	0.0177	GM
	50	2.2	5.5	10	31	0.0167	0.0213	0.0216	0.0232	0.0174	GM
	51	1.3	2	2.9	6.2	0.0153	0.0162	0.0175	0.0195	0.0146	SM
	52	2.7	3.8	4.5	9.5	0.0173	0.0174	0.0189	0.0218	0.0163	SP-SM
	53	18	23	29	35	0.0239	0.0217	0.0259	0.0295	0.0222	GW-GM
	54	3.4	3.8	3.5	4.5	0.0180	0.0153	0.0181	0.0218	0.0163	SP-SM

ادامه جدول۳- ضرایب مانینگ و طبقه‌بندی متحد رسوبات جامعه آماری انتخابی

نام رودخانه	شماره نمونه	d_{50}	d_{65}	d_{75}	d_{90}	Strickler	Meyer et al.	Lan & Carlson	Bray	Kivi	نام رسوب
	55	3	4	4.5	8.4	0.0177	0.0170	0.0189	0.0219	0.0165	SP
	56	10	24	38	75	0.0217	0.0247	0.0271	0.0298	0.0223	GW
	57	2.3	3	3.8	5.5	0.0169	0.0159	0.0183	0.0209	0.0157	SP
زرین گل	58	2.4	3.2	4	8	0.0170	0.0169	0.0185	0.0211	0.0158	SP
	59	18	21	25	35	0.0239	0.0217	0.0253	0.0291	0.0218	GP-GM
	60	14	18	19	30	0.0229	0.0212	0.0241	0.0283	0.0212	GP-GM
	61	5.9	9	12	18	0.0198	0.0194	0.0223	0.0252	0.0189	GP
	62	5.9	12	14	20	0.0198	0.0197	0.0229	0.0264	0.0198	GW-GM
	63	6	15	18	26	0.0199	0.0206	0.0239	0.0275	0.0206	GW-GM
	64	12	14	17	25	0.0223	0.0205	0.0237	0.0272	0.0204	GP-GM
	65	6.1	10	14	22	0.0199	0.0201	0.0229	0.0256	0.0192	GW
قره چای	66	5.9	11	16	27	0.0198	0.0208	0.0234	0.0261	0.0195	GW
	67	1.7	4	7	22	0.0160	0.0201	0.0203	0.0219	0.0165	SM
	68	5.5	16	28	60	0.0196	0.0238	0.0258	0.0278	0.0208	GW
	69	4.2	8.1	11	25	0.0187	0.0205	0.0220	0.0247	0.0186	GW
	70	5.5	7.8	13	28	0.0196	0.0209	0.0226	0.0246	0.0184	GW
	71	1.8	2.8	4	15	0.0162	0.0188	0.0185	0.0207	0.0155	SM
	72	3.8	8	12	23	0.0184	0.0202	0.0223	0.0247	0.0185	GM
	73	2.6	3.8	5	12	0.0172	0.0181	0.0192	0.0218	0.0163	SW
	74	2.7	4.4	6.4	14	0.0173	0.0186	0.0200	0.0223	0.0167	SW
دوغ	75	2.3	4.1	5.9	13	0.0169	0.0184	0.0198	0.0220	0.0165	SW-SM
	76	2.7	4	5.4	11	0.0173	0.0178	0.0195	0.0219	0.0165	SW
	77	1.9	2.4	2.9	6.4	0.0163	0.0163	0.0175	0.0201	0.0151	SP-SM
	78	1.4	2.4	3.2	12	0.0155	0.0181	0.0178	0.0201	0.0151	SM
	79	2.5	3.9	6	16	0.0171	0.0190	0.0198	0.0218	0.0164	SP
	80	2.8	5.1	7.1	13	0.0174	0.0184	0.0204	0.0229	0.0171	SM
	81	0.17	3.2	6.5	13	0.0108	0.0184	0.0201	0.0211	0.0158	GM
	82	0.68	4.1	7	14	0.0137	0.0186	0.0203	0.0220	0.0165	GM
	83	1.4	6.2	9.2	18	0.0155	0.0194	0.0213	0.0236	0.0177	GM
نرماب	84	2.7	7	11	22	0.0173	0.0201	0.0220	0.0241	0.0181	GM
	85	11	14	17	30	0.0220	0.0212	0.0237	0.0272	0.0204	GP-GM
	86	14	16	19	30	0.0229	0.0212	0.0241	0.0278	0.0208	GP-GM
	87	13	15	17	22	0.0227	0.0201	0.0237	0.0275	0.0206	GP
	88	12	14	17	31	0.0223	0.0213	0.0237	0.0272	0.0204	GP
	89	13	17	23	38	0.0227	0.0220	0.0249	0.0281	0.0210	GP-GM
	90	8	12	14	17	0.0209	0.0192	0.0229	0.0264	0.0198	GP-GM
	91	1.3	2.4	4	14	0.0153	0.0186	0.0185	0.0201	0.0151	SP
	92	0.32	1.4	7.1	42	0.0121	0.0224	0.0204	0.0184	0.0138	SW-SM
چهل چای	93	3.1	5.9	10	25	0.0178	0.0205	0.0216	0.0234	0.0176	SP
	94	15	16	17	21	0.0232	0.0199	0.0237	0.0278	0.0208	GP
	95	12	14	16	22	0.0223	0.0201	0.0234	0.0272	0.0204	GP
	96	8.1	10	12	19	0.0209	0.0196	0.0223	0.0256	0.0192	GP
	97	6.7	9	12	20	0.0202	0.0197	0.0223	0.0252	0.0189	GW
	98	4	4.8	5.2	7.1	0.0185	0.0166	0.0193	0.0226	0.0170	SP
	99	3	4.2	5	7	0.0177	0.0165	0.0192	0.0221	0.0166	SP-SM
	100	1.4	5.1	14	43	0.0155	0.0225	0.0229	0.0229	0.0171	SW-SM
	101	11.2	13.6	16.7	25.3	0.0221	0.0206	0.0236	0.0270	0.0203	GP-GM
دوغان	102	2.4	4.3	6.2	15	0.0170	0.0188	0.0199	0.0222	0.0167	SW-SM
	103	1.56	4.2	6.3	12.5	0.0158	0.0182	0.0200	0.0221	0.0166	SW-SM
	104	13.5	17.6	20.3	31.2	0.0228	0.0213	0.0244	0.0282	0.0212	SW-SM
	105	11	18.3	18.7	28.3	0.0220	0.0209	0.0240	0.0284	0.0213	GP-GM
	106	12.2	15.2	16.5	32.1	0.0224	0.0214	0.0235	0.0275	0.0206	GP-GM



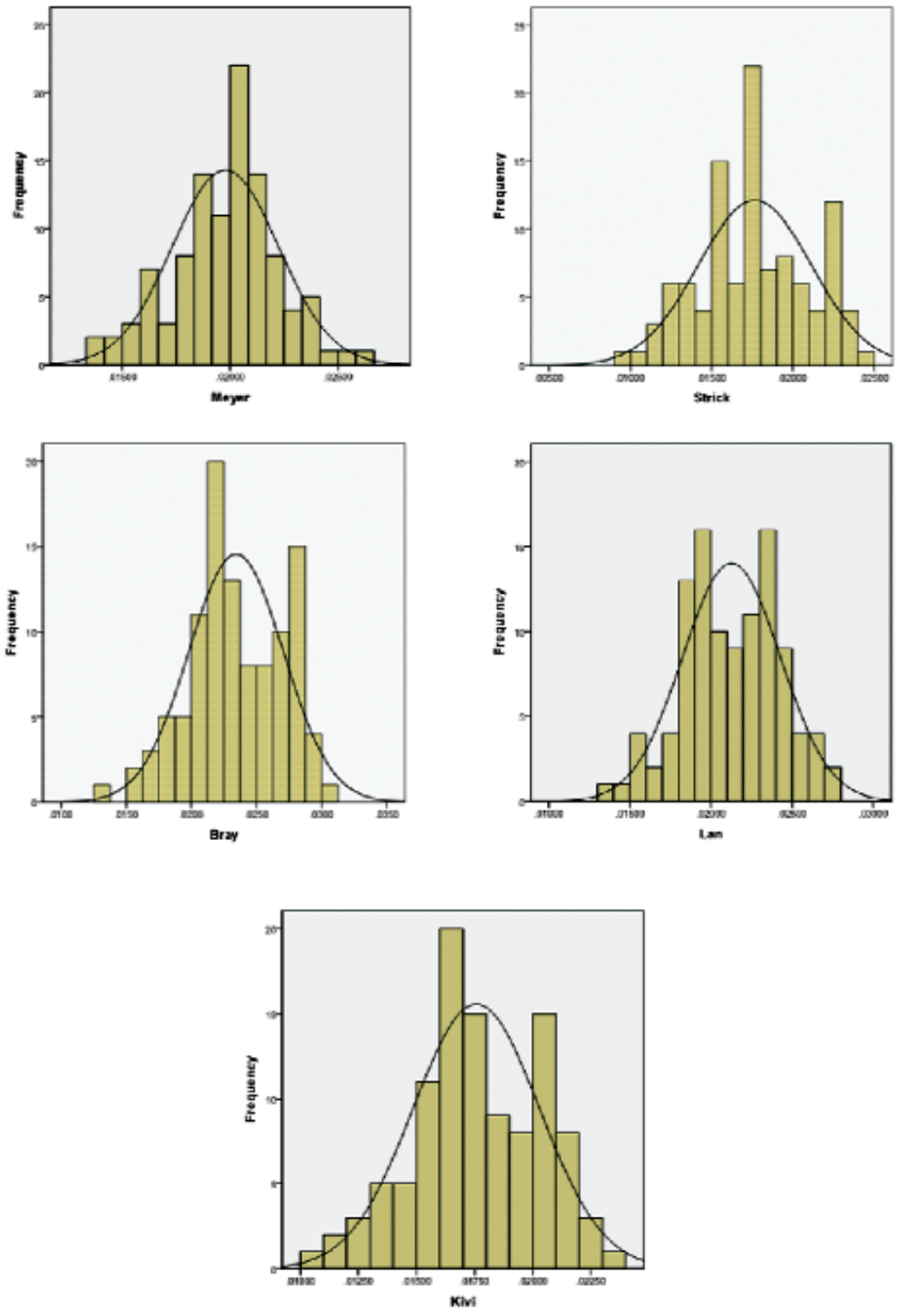
تصویر ۱- رده‌بندی خاک‌ها بر اساس سیستم طبقه‌بندی متحد (Bell 2007)

جدول۴- پارامترهای آماری ضریب ماننگ رسوبات رودخانه‌های استان گلستان

پارامتر آماری	Strickler 1923	Meyer et al 1984	Lan & Carlson 1953	Bray 1923	Kivi 1976
میانه	۰/۰۱۷۴	۰/۰۲۰۱	۰/۰۲۱۳	۰/۰۲۳۲	۰/۰۱۷۴
میانگین	۰/۰۱۷۶	۰/۰۱۹۷	۰/۰۲۱۲	۰/۰۲۳۴	۰/۰۱۷۵
نما(مد)	۰/۰۱۷۴	۰/۰۲۰۵	۰/۰۲۳۷	۰/۰۲۱۸	۰/۰۱۶۵
انحراف معیار	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۲۷
ضریب تغییرات	۰/۰۱۵۳	۰/۰۱۲۴	۰/۰۱۴۲	۰/۰۱۷۰	۰/۰۱۲۷
کج شدگی	۰/۰۰۶	-۰/۲۱۰	-۰/۲۱۲	-۰/۱۹۰	-۰/۱۹۳
کشیدگی	-۰/۶۷۹	۰/۱۱۶	-۰/۳۵۱	-۰/۵۰۷	-۰/۵۰۹
حداقل	۰/۰۰۹۵	۰/۰۱۳۶	۰/۰۱۳۲	۰/۰۱۳۷	۰/۰۱۰۳
حداکثر	۰/۰۲۴۸	۰/۰۲۶۰	۰/۰۲۷۴	۰/۰۳۰۷	۰/۰۲۳۰

جدول۵- ضریب همبستگی بین روابط تعیین ضریب ماننگ در رسوبات مطالعه شده

ضریب همبستگی (r)	Strickler	Meyer et al	Lan and Carlson	Bray	Kivi
Strickler 1923	۱				
Meyer et al 1984	۰/۳۳۲	۱			
Lan and Carlson 1953	۰/۶۷۷	۰/۸۰۹	۱		
Bray 1923	۰/۸۸۰	۰/۶۱۳	۰/۹۲۷	۱	
Kivi 1976	۰/۸۸۰	۰/۶۱۲	۰/۹۲۷	۱	۱



تصویر ۲- منحنی‌های نرمال ضرایب ماننگ به‌دست‌آمده رسوبات مطالعه شده از روابط پیشنهادی

رابطه استریکلر (Strickler 1923) برای خاک‌های یکنواخت پیشنهادشده است، لذا در طبقه‌بندی متحد، خاک‌های با پسوند P، مناسب می‌باشند. این رابطه برای رسوبات SP-SC , GP-GC , GP, GP-GM , SP ,SP-SM استفاده شده و اعتبار سنجی می‌شود (جدول۶).

با مقایسه مقادیر انحراف معیار و ضریب تغییرات رابطه استریکلر (Strickler 1923) ، مشاهده می‌شود که این دو پارامتر کاهش یافته و به‌طور متوسط انحراف معیار ۰/۰۰۱۶ و ضریب تغییرات ۰/۵۲ درصد است (جداول ۴ و ۵). همچنین مقادیر میانه، میانگین و نما خیلی به یکدیگر نزدیک شده و نشان‌دهنده توزیع متقارن منحنی نرمال است. بنابراین مقادیر حداقل، میانگین و حداکثر به‌عنوان مقادیر ضریب مانینگ این رسوبات پیشنهاد می‌گردند. این روش را می‌توان برای رسوبات غیریکنواخت (با پسوند W) نیز بکار برد. روابط لن و کرلسون، مییر و همکاران (Lan & Carlson 1953 & Meyer et al. 1984). برای رسوبات غیریکنواخت پیشنهادشده است. روابط بری و کیوی (Kivi 1976 & Bray 1923) نیز دارای همبستگی بالایی با این روابط می‌باشند (جدول۷).

برای هریک از رسوبات غیریکنواخت با مقایسه انحراف معیار و ضریب تغییرات و میزان نزدیکی میانه، میانگین و نما رابطه مناسب انتخاب و ضریب مانینگ آن پیشنهاد می‌شود (جدول۸).

انحراف معیار و ضریب تغییرات رابطه Kivi دارای کمترین مقدار است، بنابراین ضریب مانینگ به دست آمده آن برای GW پیشنهاد می‌شود (جدول ۵). بدین ترتیب برای سایر رسوبات غیریکنواخت، ضریب مانینگ مورد نظر پیشنهاد شده است (جدول‌های ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱و ۱۲). برای رسوباتی که پارامترهای آماری نتوانند یک رابطه مناسبی را معرفی کنند، متوسط تمامی روابط به‌عنوان ضریب مانینگ پیشنهاد

جدول۶- پارامترهای آماری رابطه استریکلر (Strickler 1923) برای رسوبات یکنواخت مطالعه شده

پارامتر آماری	GP	GP-GM GP-GC	SP	SP-SM SP-SC
میانه	۰/۰۲۱۸	۰/۰۲۲۴	۰/۰۱۶۷	۰/۰۱۵۶
میانگین	۰/۰۲۲۳	۰/۰۲۲۴	۰/۰۱۷۱	۰/۰۱۵۵
نما(مد)	۰/۰۲۳۲	۰/۰۲۲۹	۰/۰۱۴۱	۰/۰۱۷۴
انحراف معیار	۰/۰۰۱۹۹	۰/۰۰۰۷۵	۰/۰۰۱۵۴	۰/۰۰۲۰۹
ضریب تغییرات	۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۶۲
کج شدگی	-۰/۶۲۴	-۰/۱۹۵	-۰/۶۵۰	-۰/۲۸۵
کشیدگی	۰/۵۶۶	۱/۶۶۲	-۰/۹۱۴	-۱/۳۲۹
حداقل	۰/۰۱۷۷	۰/۰۲۰۹	۰/۰۱۴۱	۰/۰۱۲۳
حداکثر	۰/۰۲۴۳	۰/۰۲۳۹	۰/۰۱۸۵	۰/۰۱۸۵

جدول۷- پارامترهای آماری روابط تعیین ضریب مانینگ برای رسوبات GW مطالعه شده

پارامتر آماری	Meyer et al	Lan and Carlson	Bray	Kivi
میانه	۰/۰۲۱۴	۰/۰۲۳۸	۰/۰۲۵۳	۰/۰۱۹۹
میانگین	۰/۰۲۰۸	۰/۰۲۳۴	۰/۰۲۴۹	۰/۰۱۹۵
نما(مد)	۰/۰۲۰۸	۰/۰۲۴۱	۰/۰۲۴۵	۰/۰۱۸۴
انحراف معیار	۰/۰۰۱۶۹	۰/۰۰۱۶۹	۰/۰۰۱۴۲	۰/۰۰۱۳۱
ضریب تغییرات	۰/۰۰۵۰	۰/۰۰۵۱	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۳۹
کج شدگی	۱/۳۳۸	۱/۰۴۱	۰/۷۷۹	۰/۵۸۷
کشیدگی	۰/۶۷۹	۰/۳۵۲	۰/۲۲۲	-۰/۶۴۸
حداقل	۰/۰۱۹۷	۰/۰۲۲۰	۰/۰۲۳۴	۰/۰۱۸۴
حداکثر	۰/۰۲۴۷	۰/۰۲۷۱	۰/۰۲۸۰	۰/۰۲۲۳

جدول۸ - پارامترهای آماری روابط تعیین ضریب مانینگ برای رسوبات GW-GM مطالعه شده

پارامتر آماری	Meyer et al.	Lan and Carlson	Bray	Kivi
میانه	۰/۰۲۱۷	۰/۰۲۵۰	۰/۰۲۳۸	۰/۰۲۰۴۵
میانگین	۰/۰۲۱۱	۰/۰۲۴۹	۰/۰۲۴۸	۰/۰۲۰۲
نما(مد)	۰/۰۱۹۷	۰/۰۲۲۹	۰/۰۱۵۷	۰/۰۱۹۲
انحراف معیار	۰/۰۰۲۳۱	۰/۰۰۲۰۱	۰/۰۰۵۹۵	۰/۰۰۱۳۰
ضریب تغییرات	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۱۴۳	۰/۰۰۳۰
کج شدگی	۱/۲۹۸	۰/۲۴۸	-۰/۹۷۰	۰/۹۵۱
کشیدگی	۱/۶۷۸	-۲/۵۱۴	۲/۰۳۱	۰/۵۰۴
حداقل	۰/۰۱۹۷	۰/۰۲۲۹	۰/۰۱۵۷	۰/۰۱۹۲
حداکثر	۰/۰۲۵۰	۰/۰۲۷۴	۰/۰۳۰	۰/۰۲۲۲

جدول۹- پارامترهای آماری روابط تعیین ضریب مانینگ برای رسوبات GM مطالعه شده

پارامتر آماری	Meyer et al.	Lan and Carlson	Bray	Kivi	متوسط
میانه	۰/۰۱۵۷	۰/۰۲۰۲	۰/۰۲۱۵	۰/۰۲۳۰	۰/۰۲۰۱
میانگین	۰/۰۱۶۷	۰/۰۲۰۱	۰/۰۲۱۶	۰/۰۲۳۶	۰/۰۲۰۵
نما(مد)	۰/۰۰۹۵	۰/۰۱۷۶	۰/۰۲۱۳	۰/۰۲۳۶	۰/۰۱۸
انحراف معیار	۰/۰۰۳۴۴	۰/۰۰۲۳۰	۰/۰۰۳۲۵	۰/۰۰۳۶۸	۰/۰۰۳۱
ضریب تغییرات	۰/۰۰۸۴	۰/۰۱۲۹	۰/۰۱۴۶	۰/۰۱۰۹	۰/۰۱۱۷
کج شدگی	۱/۳۵۹	-۱/۱۷۶	-۱/۳۶۶	-۱/۳۵۹	۰/۶۳۵
کشیدگی	۲/۳۶۸	۳/۰۵۶	۲/۸۴۴	۲/۷۶۹	۲/۷۵۹
حداقل	۰/۰۱۷۶	۰/۰۱۳۲	۰/۰۱۳۷	۰/۰۱۰۳	۰/۰۱۳۷
حداکثر	۰/۰۲۶۰	۰/۰۲۶۱	۰/۰۲۸۳	۰/۰۲۱۲	۰/۰۲۵۴

شده است.

با جمع‌بندی توضیحات فوق، مقادیر حداقل، میانگین و حداکثر ضریب‌مانینگ برای کلیه رسوبات بر اساس طبقه‌بندی متحد خاک پیشنهاد گردید (جدول۱۳).

جدول۱۰- پارامترهای آماری روابط تعیین ضریب مانینگ برای رسوبات SW مطالعه شده

پارامتر آماری	Meyer et al.	Lan & Carlson	Bray	Kivi
میانه	۰/۰۱۸۳	۰/۰۱۹۲	۰/۰۲۰۷	۰/۰۱۶۰۳
میانگین	۰/۰۱۷۹	۰/۰۱۹۳	۰/۰۲۱۶	۰/۰۱۶۴۰
نما(مد)	۰/۰۱۳۶	۰/۰۱۹۲	۰/۰۲۱۷	۰/۰۱۶۳
انحراف معیار	۰/۰۰۲۹۵	۰/۰۰۱۸۶	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱۴۸۷
ضریب‌تغییرات	۰/۰۱۰۲	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۵۱
کج شدگی	۰/۴۶۹	-۱/۱۶۵	-۱/۸۸۸	-۱/۵۸۱
کشیدگی	۱/۵۶۴	۳/۶۶۶	۲/۹۷۰	۳/۶۶۶
حداقل	۰/۰۱۳۶	۰/۰۱۵۳	۰/۰۱۶۸	۰/۰۱۲۸
حداکثر	۰/۰۲۳۸	۰/۰۲۲۰	۰/۰۲۲۰	۰/۰۱۷۹

جدول۱۱- پارامترهای آماری روابط تعیین ضریب مانینگ برای رسوبات SM مطالعه شده

پارامتر آماری	Meyer et al.	Lan & Carlson	Bray	Kivi
میانه	۰/۰۱۸۱	۰/۰۱۸۳۹	۰/۰۱۸۶	۰/۰۱۴۹۸
میانگین	۰/۰۱۸۶	۰/۰۱۸۵	۰/۰۱۹۴	۰/۰۱۵۱
نما(مد)	۰/۰۱۳۹	۰/۰۱۹۵	۰/۰۱۳۹	۰/۰۱۳۶
انحراف معیار	۰/۰۰۲۲۸	۰/۰۰۱۹۸	۰/۰۰۲۷۴	۰/۰۰۱۷۷
ضریب‌تغییرات	۰/۰۰۷۴	۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۸۷	۰/۰۰۵۵
کج شدگی	-۰/۴۵۶	-۱/۱۲۳	-۰/۴۲۹	-۰/۲۸۵
کشیدگی	-۰/۶۳۸	۳/۶۶۶	-۰/۹۵۵	-۱/۰۴۳
حداقل	۰/۰۱۳۹	۱/۱۱۹	۰/۰۱۳۹	۰/۰۱۱۹
حداکثر	۰/۰۲۱۳	۰/۰۱۵۳	۰/۰۲۲۶	۰/۰۱۷۴

جدول۱۲- پارامترهای آماری روابط تعیین ضریب مانینگ برای رسوبات SW-SM مطالعه شده

پارامتر آماری	Meyer et al.	Lan & Carlson	Bray	Kivi
میانه	۰/۰۲۰۸	۰/۰۲۱۳	۰/۰۱۹۹	۰/۰۱۶۶۲
میانگین	۰/۰۲۱۷	۰/۰۲۰۵	۰/۰۱۹۶	۰/۰۱۶۶۵
نما(مد)	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۹۸	۰/۰۱۵۱	۰/۰۱۳۸
انحراف معیار	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۷۲	۰/۰۰۴۱۸	۰/۰۰۲۲۵
ضریب‌تغییرات	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۴۶	۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۷۴
کج شدگی	-۰/۵۲۳	۰/۹۰۲	۱/۰۹۴	۰/۹۴۸
کشیدگی	-۲/۱۲۰	۰/۶۵۹	۲/۲۴۳	۲/۲۶۱
حداقل	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۹۸	۰/۰۱۵۱	۰/۰۱۳۸
حداکثر	۰/۰۲۲۷	۰/۰۲۴۴	۰/۰۲۸۵	۰/۰۲۱۲

جدول۱۳- مقادیر پیشنهادی ضرایب‌مانینگ رسوبات بر اساس سیستم طبقه‌بندی متحد

پارامتر آماری	حداقل	میانگین	حداکثر
GP	0/0177	0/0223	0/0248
GP - GM	0/0209	0/0224	0/0239
GP-GC	0/0209	0/0224	0/0239
SP	0/0141	0/0171	0/0185
SP - SM	0/0123	0/0155	0/0185
SP-SC	0/0123	0/0155	0/0185
GW	0/0184	0/0195	0/0223
GW - GM	0/0192	0/0202	0/0222
GW - GC	0/0192	0/0202	0/0222
GM	0/0137	0/0205	0/0254
SW	0/0128	0/01640	0/0179
SM	0/0119	0/0151	0/0174
SW - SM	0/0198	0/0205	0/0244
SW - SC	0/0198	0/0205	0/0244

۴- نتیجه‌گیری

برای برآورد ضریب‌مانینگ رسوبات SP-SM GP-GC, SP-SC GP, GP-GM, SP, استفاده از رابطه استریکلر (Strickler) پیشنهاد می‌شود. از رابطه کیوی (Kivi) برای محاسبه ضریب مانینگ رسوبات GW, GW-GM , SW, SM استفاده می‌شود. رابطه لن و کارلسون (Lan & Carlson) نیز برای تعیین ضریب‌مانینگ خاک‌های SW-SM مناسب‌تر می‌باشد. بررسی شاخص‌های آماری، استفاده از رابطه میر و همکاران (Meyer & Quintelier 2009) را برای تعیین ضریب مانینگ هیچ‌کدام از رسوبات نشان نمی‌دهد.

نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق با توصیه‌های استاندارد صنعت آب و آبفا جهت استفاده از روابط مختلف برای تعیین ضریب مانینگ مطابقت دارد، اما در این نشریه نوع خاک توصیفی است و روشی را برای طبقه‌بندی و یا اندازه‌گیری پیشنهاد نکرده است. لذا برای تعیین ضریب زبری رسوبات یک منطقه، ابتدا آن را دانه‌بندی کرده و سپس از مقادیر پیشنهادی در این مقاله، ضریب مانینگ برآورد گردد.

مراجع

استاندارد صنعت آب و آبفا، ۱۳۹۰. راهنمای تعیین زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها. نشریه شماره ۳۳۱ - الف، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی، ۹۲ صفحه.

امامی، س.ا.، ۱۳۷۹. انتقال رسوب . ترجمه و تصنیف، انتشارات جهاد دانشگاهی

صنعتی امیر کبیر، ۷۱۶ صفحه.

چوپانی، س.، عباسی، ع.ا.، پرورش،ا.، رستگار،ح.، ۱۳۸۶. بررسی فاکتورهای مؤثر بر عملکرد انواع مختلف اپی های موجود در رودخانه میناب. مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۴، ۶۶-۷۸.

غریب، م.، مساعدی، ا.، نجفی نژاد، ع.، ۱۳۸۴. انتخاب مناسب ترین روش تعیین ضریب مانینگ با استفاده از دو روش آماری RMSE و RME. دومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب. ۴۰۳-۴۱۰.

هادیانی، م.ا.، غلامی، و.،نژاد آذر، ز.، ۱۳۸۸. بررسی تأثیر تغییرات فصلی ضریب زبری مانینگ در پیش‌بینی رفتار هیدرولیکی سیلاب (مطالعه موردی: رودخانه هراز). مجله محیط شناسی، سال سی و پنجم، شماره ۵۱،

Ashiq, M., Doering, J.C., 2006. How incipient motion determination judgment affects different Parameters in sediment transport investigation. *Proceedings of the Eighth Federal Interagency Sedimentation Conference (8thfisc), Reno, NV, USA, 264-271.*

Azamathulla, H. Md., Ahmad, Z.,Ghani, A.A.B., 2013. An expert system for predicting Manning's roughness coefficient in open channels by using gene expression programming.*Neural Comput ., Applic,Vol. 23:1343-1349.*

Bell, F.G., 2007. Engineering geology. *Second Edition,Elsevier,213*

Devkota, J.P., Baral, D., Rayamajhi, B., Tritico, H.M., 2012. Variation in Manning's Roughness coefficient with diameter, discharge and slope in partially filled HDPE culverts. *World Environmental and Water Resources Congress,PP.1716-1726.*

Doncker, L.De., Troch, P., Verhoeven, R., Bal, K., Meyer, P., Quintelier, J., 2009. Determination of the Manning roughness coefficient influenced by vegetation in the river Aa and Biebrza river. *Environ Fluid Mech,Vol.9:549-567.*

Ferguson, R., 2010. Time to abandon the Manning equation?. *Earth Surface Processes and Landforms, Department of Geogeraphy, Durham Univercity, UK 35, PP.1873-1876.*

Jiang, M., Li, L.X., 2010. An improved two-point velocity method for estimating the roughness coefficient of natural channels. *Physics and Chemistry of the Earth Vol.35,PP. 182-186.*

Khatua, K.K., Patra, K.C., Tripathi, B., Harish, S., 2007. roughness characteristics in two stage Meandering and straight compound channels. *Published in the Conference Proceeding on CEAC.Engineering College Mullana,Ambala.*

Khrapov, S.S., Pisarev, A.V., Kobelev, I.A., Zhumaliev, A.G., Agafonnikova, E.O., Losev, A.G., Khoperskov, A.V., 2013. The Numerical Simulation of Shallow Water: Estimation of the Roughness Coefficient on the Flood Stage. *Advances in Mechanical Engineering, Article ID 787016, 11 pages.*

Krebs, G., Kokkonen, T., Valtanen, M., Koivusalo, H., Setala, H., 2013. A high resolution application of a stormwater management model (SWMM) using genetic parameter optimization. *Urban Water Journal, Vol. 10, No. 6, PP.394-410*

Simoes, J.M.F., 2010. Flow resistance in open channels with fixed and movable bed. *2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV.*

Talebbeydokhti1, N., Hekmatzadeh, A.A., Rakhshandehroo, G.R., 2006. Experimental modeling of dune bed Form in a sand-bed channel Iranian. *Journal Of Science and Technology, transaction B, Engineering, vol.30, No. B4.503-516.*

Zheng, H., 2012. Hydrodynamics - Theory and Model. *University Campus STeP Ri., Slavka Krautzeka 83/A,306P.*