



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۲-۲۰۰۸۷

چاپ اول

۱۳۹۴

INSO

20087-2

1st.Edition

2016

خصوصیات لجن - مشخصات صاف کردن -
قسمت ۲: تعیین مقاومت ویژه به صاف
کردن

**Characterization of sludges - Filtration
properties - Part 2: Determination of the
specific resistance to filtration**

ICS:13.030.20

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2- International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« خصوصیات لجن - مشخصات صاف کردن - قسمت ۲: تعیین مقاومت ویژه به صاف کردن »

رئیس:

بهروان، حمید رضا
(فوق لیسانس خاک‌شناسی)

سمت و / یا نمایندگی

معاون کشاورزی کشت و صنعت حکیم
فارابی

دبیر:

قمی، متینه
(فوق لیسانس شیمی)

شرکت زرگستر روبینا

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

آذریان، علی‌رضا
(فوق لیسانس محیط زیست)

کارشناس مسئول اداره کل حفاظت محیط
زیست استان خوزستان

آریز، افشین
(فوق لیسانس خاک‌شناسی)

مدیر مطالعات کاربردی کشت و صنعت
حکیم فارابی

آقامحمدی، حمید
(لیسانس گیاه‌پزشکی)

رییس اداره زراعت و گیاه‌پزشکی شرکت
کشت و صنعت حکیم فارابی

صفیرزاده، سعید
(فوق لیسانس خاک‌شناسی)

کارشناس آب و خاک کشت و صنعت حکیم
فارابی

فتاحی‌نیا، مهناز
(فوق لیسانس شیمی)

کارشناس اداره کل استاندارد خوزستان

کریمی، رویا
(لیسانس مهندسی شیمی)

سرپرست آزمایشگاه آب و خاک کشت و
صنعت حکیم فارابی

ملکانی‌نژاد اصفهانی، فرزاد
(لیسانس زراعت)

رییس اداره آب و خاک شرکت کشت و
صنعت حکیم فارابی

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ه	پیش گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۲	۴ اصول آزمون
۲	۵ وسایل
۳	۶ روش انجام آزمون
۵	۷ بیان نتایج
۷	۸ دقت آزمون
۷	۹ گزارش آزمون
۸	پیوست الف (اطلاعاتی) اطلاعات تکمیلی قانون داری
۱۰	پیوست ب (اطلاعاتی) وسایل صاف کردن
۱۲	پیوست پ (اطلاعاتی) جدول گرانی
۱۳	پیوست ت (اطلاعاتی) نتایج آزمون اعتبارسنجی
۱۸	پیوست ث (اطلاعاتی) کتابنامه

پیش گفتار

استاندارد " خصوصیات لجن- مشخصات صاف کردن - قسمت ۲: تعیین مقاومت ویژه به صاف کردن " که پیش نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است و در نود و هفتمین اجلاس کمیته ملی استاندارد محیط زیست مورخ ۹۴/۱۱/۱۹ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

EN 14701-2:2013, Characterization of sludges - Filtration properties - Part 2: Determination of the specific resistance to filtration

خصوصیات لجن - مشخصات صاف کردن - قسمت ۲: تعیین مقاومت ویژه به صاف کردن

هشدار ۱- این استاندارد تمام موارد ایمنی مربوط به کاربرد این روش را بیان نمی‌کند. بنابراین وظیفه کاربر این استاندارد است که در ارتباط با استفاده از آن موارد ایمنی و اصول بهداشتی را رعایت و قبل از استفاده محدودیت‌های اجرایی آن را مشخص کند.

هشدار ۲- این استاندارد مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها برای انجام یک یا چند عملیات ویژه را پیشنهاد می‌کند. بنابراین، نمی‌تواند جایگزین تجربه یا آموزش شده و به‌کارگیری آن باید با قضاوت حرفه‌ای همراه باشد. همه جنبه‌های این استاندارد نمی‌تواند در همه شرایط قابل کاربرد باشد، بلکه باید با توجه به جنبه‌های منحصر به فرد پروژه، به‌کار رود.

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روشی برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه به صاف کردن لجن‌های با شرایط تثبیت شده و تثبیت نشده، به شرط این که هیچ رسوب‌گذاری (یعنی سوسپانسیون تک فازی با ذرات موجود در سوسپانسیون) در حین صاف کردن رخ ندهد، است. این استاندارد برای لجن و سوسپانسیون‌های لجن حاصل از جابجایی روان‌آب، سیستم جمع‌آوری فاضلاب شهری، تصفیه‌خانه فاضلاب شهری، تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی با فرایند مشابه فاضلاب شهری و تصفیه‌خانه‌های تامین آب کاربرد دارد. این روش همچنین برای سوسپانسیون‌های لجن حاصل از منابع دیگر نیز کاربرد دارد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است. استفاده از مرجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 EN 12832:1999, Characterization of sludges - Utilization and disposal of sludges - Vocabulary

2-2 EN 12880, Characterization of sludges - Determination of dry residue and water content

3-2 CEN/TR 14742, Characterization of sludges - Laboratory chemical conditioning procedure

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاح و تعریف زیر به کار می‌رود:

۱-۳

مقاومت ویژه به صاف کردن

خصوصیتی که بیانگر مقاومت به صاف کردن یک لایه از ذرات با جرم واحد مواد جامد خشک رسوب شده روی واحد سطح صاف شده می‌باشد.

۴ اصول آزمون

این استاندارد بر پایه جریان مایع از طریق محیط متخلخل مطابق با قانون داریسی^۱ (به پیوست الف مراجعه شود) می‌باشد. مقاومت ویژه به صاف کردن به وسیله ریختن حجم مناسب از لجن به داخل یک وسیله صاف کننده اندازه‌گیری می‌شود، به طوری که مایع بتواند تحت فشار یا خلاء ثابت، صاف شود. مقدار مایع صاف شده نیز با گذشت زمان ثبت می‌شود.

با توجه به این که برای لجن‌ها مقاومت ویژه به صاف کردن، تحت تأثیر مقدار فشار قرار می‌گیرد، این استاندارد برای تعیین مقاومت ویژه به صاف کردن، در مقادیر فشار (5.0 ± 0.5) kPa، (10.0 ± 1.5) kPa و (15.0 ± 3.0) kPa، همانگونه که در بند ۶ نشان داده شده است، اعتبارسنجی شده است.

در صورت لزوم، در آزمون‌های مربوط به اندازه یا صافی‌های صنعتی بهینه، می‌توان آزمون را در فشارهای دیگری نیز انجام داد، نتایج به دست آمده از پیش اعتبارسنجی شده است.

۵ وسایل

در این استاندارد وسایل زیر باید استفاده شوند:

۱-۵ وسایل صاف کردن با ظرفیت ۲۵۰ ml و قطر صافی‌ها بین ۶۰ mm و ۹۰ mm (به پیوست ب مراجعه شود).

۱-۱-۵ وسایل برای صاف کردن تحت فشار کاهش یافته، (شکل ب-۱ را ببینید).

۲-۱-۵ وسایل برای صاف کردن تحت فشار حداکثر ۱ MPa، (قسمت الف شکل ب-۲ را ببینید).

۳-۱-۵ وسایل برای صاف کردن تحت فشار حداکثر ۱ MPa با یک پیستون، (قسمت ب شکل ب-۲ را ببینید) که با یک حس‌گر فشاری زیر پیستون برای اندازه‌گیری فشار واقعی اعمال شده، تجهیز شده است. در صورت نبود این تجهیز، اصطکاک پیستون را در اندازه‌گیری فشار در نظر نگرفته و صاف کردن با هوا ترجیح داده می‌شود.

۲-۵ استوانه‌های مدرج، با ظرفیت‌های ۱۰۰ ml و ۲۵۰ ml

1- Darcy's law

۳-۵ پمپ خلاء یا سیستم فشار هوا یا سیستم هیدرولیک برای اعمال فشار، شامل سیستم تصحیح فشار (تنظیم کننده یا کاهنده) و سنج فشار

۴-۵ زمان سنج، (از قبیل ساعت با قابلیت توقف زمان و رایانه)

۵-۵ بشر، با ظرفیت ۵۰۰ ml

۶-۵ پیتها

۷-۵ محیط صاف کردن، کاغذ صافی (فوق سریع، عاری از خاکستر) با قابلیت نگه‌داری ذرات بین $20\ \mu\text{m}$ و $25\ \mu\text{m}$ و نرخ جریان صاف کردن حدود $100\ \text{ml/min}$ و ضخامت $0.22\ \text{mm}$ (به عنوان مثال، واتمن^۱ شماره ۴۱) توری‌های فلزی زنگ نزن یا سنتزی اگر نتایج یکسانی را نشان دهند، می‌تواند استفاده شود.

۸-۵ ابزار نگه‌دارنده محیط صاف کننده

۹-۵ وسایل، برای تعیین باقی مانده خشک لجن و مقدار آب (به استاندارد EN 12880 مراجعه شود)

۱۰-۵ سل دما پا^۲، برای آزمون در دماهایی غیر از دمای محیط

۶ روش انجام آزمون

۱-۶ کلیات

باقی مانده خشک لجن، C_0 ، مطابق با استاندارد EN 12880 اندازه‌گیری و فرض کنید که باقی مانده مواد خشک اندازه‌گیری شده برحسب گرم بر کیلوگرم معادل با غلظت اندازه‌گیری شده برحسب گرم بر لیتر است. قبل از اندازه‌گیری، مطمئن شوید که لجن در دمای آزمون یا دمای اتاق می‌باشد. اگر شرایط لجن باید تثبیت شود، این عملیات باید مطابق با استاندارد CEN TR14742 انجام شود.

۲-۶ فشار کاهش یافته (شکل ب-۱)

۱-۲-۶ برای نگه‌داری سیستم در فشار مطلق $(5 \pm 5)\ \text{kPa}$ شیر بین صافی و سیستم فشار/ خلاء (بند ۵-۳) را در حین آزمون ببندید (بند ۵-۱).

۲-۲-۶ محیط صاف کننده (بند ۵-۷) را در داخل قیف قرار دهید، آن را با آب مرطوب کنید و از هرگونه ورود هوا به داخل صافی جلوگیری کنید.

۳-۲-۶ دما را اندازه‌گیری کنید، $(1 \pm 10)\ \text{ml}$ لجن تثبیت نشده یا $(2 \pm 200)\ \text{ml}$ از لجن تثبیت شده یا لجن با قابلیت صاف شدن آسان را، بعد از همگن‌سازی تدریجی به وسیله ریختن لجن سه تا چهار مرتبه از یک

1- Whatman
2- Thermostatic

بشر به بشر دیگر (تنها در مورد لجن تثبیت نشده) به داخل قیف انتقال دهید، شیر را باز کنید و صاف کردن را شروع کنید.

۴-۲-۶ حجم مایع صاف شده، V ، و زمان متناظر، t ، را تنها بعد از جمع‌آوری حداقل ۱۰٪ حجم مایع صاف شده اولیه، ثبت کنید. ثبت داده‌ها بستگی به نرخ جریان دارد و می‌تواند از هر پنج ثانیه در شروع تا هر ۶۰ ثانیه یا بیشتر (برای لجن با قابلیت صاف شدن کم) در پایان، متغیر باشد. صاف کردن را زمانی که یکی از شرایط زیر رخ می‌دهد، متوقف کنید:

- افت فشار (شکسته شدن کیک)؛
- افت سریع نرخ جریان مایع صاف شده؛
- انحراف منحنی t/V در برابر V از حالت خطی؛
- زمان صاف کردن از ۶۰ دقیقه بیشتر شود.

۵-۲-۶ جرم خشک کیک را بعد از صاف کردن مطابق با استاندارد EN 12880 اندازه‌گیری کنید و گرانروی دینامیکی مایع صاف شده را نیز در دمای آزمون، اندازه‌گیری کنید.

۳-۶ تحت فشار (قسمت الف در شکل ب-۲)

۱-۳-۶ در حالی که شیر بین صافی (بند ۵-۱) و سیستم فشار هوا (بند ۵-۳) را بسته نگاه می‌دارید، فشار سیستم را تا 50 ± 5 kPa یا 150 ± 10 kPa یا 300 ± 15 kPa بالاتر از فشار اتمسفر تنظیم کنید. فشار باید در تمام مدت آزمون ثابت نگه داشته شود.

۲-۳-۶ محیط صاف کننده (بند ۵-۷) را درون سل صافی گذاشته، آن را با آب مرطوب کنید و از ورود هرگونه هوا به داخل صافی جلوگیری کنید.

۳-۳-۶ دما را اندازه‌گیری کنید و ۱۰۰ ml از لجن تثبیت نشده یا ۲۰۰ ml از لجن تثبیت شده یا از لجن با قابلیت صاف شدن آسان را، بعد از این که عمل یکنواخت‌سازی به آرامی به وسیله ریختن سه تا چهار مرتبه لجن از یک بشر به بشر دیگر انجام شد (فقط در مورد لجن تثبیت نشده)، به داخل دستگاه انتقال دهید.

۴-۳-۶ ورودی لجن را ببندید، شیر سیستم فشار هوا را باز کرده و فرآیند صاف کردن را شروع کنید.

۵-۳-۶ حجم مایع صاف شده، V ، را ثبت کرده و زمان متناظر، t ، را تنها بعد از جمع‌آوری حداقل ۱۰٪ حجم مایع صاف شده اولیه، ثبت کنید. ثبت داده‌ها بستگی به نرخ جریان دارد و می‌تواند از هر پنج ثانیه در شروع، تا هر ۶۰ ثانیه یا بیشتر (برای لجن با قابلیت صاف شدن کم) در پایان، متغیر باشد صاف کردن را زمانی که یکی از شرایط زیر رخ می‌دهد، متوقف کنید:

- افت فشار (شکسته شدن کیک)؛
- افت سریع نرخ جریان مایع صاف شده؛

- انحراف منحنی t/V در برابر V از حالت خطی؛
- زمان صاف کردن از ۶۰ دقیقه بیش تر شود.

۵-۳-۶ جرم خشک کیک را بعد از صاف کردن مطابق با استاندارد EN 12880 اندازه‌گیری کنید و گرانیوی دینامیکی مایع صاف شده را نیز در دمای آزمون، اندازه‌گیری کنید.

۴-۶ تحت فشار با یک پیستون (قسمت ب در شکل ب-۲)

۱-۴-۶ روش آزمون را مطابق با بندهای ۱-۳-۶ تا ۳-۳-۶ انجام دهید.

۲-۴-۶ ورودی لجن را ببندید.

۳-۴-۶ پیستون را داخل سل صافی قرار دهید و از تماس نزدیک پیستون با سطح لجن به وسیله عبور هوا، از طریق خروجی هوا، مطمئن شوید.

۴-۴-۶ خروجی هوا را بسته و سیستم صاف کردن را نیز ببندید.

۵-۴-۶ شیر سیستم فشار را باز کرده و صاف کردن را شروع کنید.

۶-۴-۶ حجم مایع صاف شده، V ، را ثبت کرده و زمان متناظر، t ، را تنها بعد از جمع‌آوری حداقل ۱۰٪ حجم مایع صاف شده اولیه، ثبت کنید. ثبت داده‌ها بستگی به نرخ جریان دارد و می‌تواند از هر پنج ثانیه در شروع، تا هر ۶۰ ثانیه یا بیش‌تر (برای لجن با قابلیت صاف شدن کم) در پایان، متغیر باشد صاف کردن را زمانی که یکی از شرایط زیر رخ می‌دهد، متوقف کنید:

- افت فشار اندازه‌گیری شده توسط حسگر (رسیدن به مرحله تراکم)؛

- انحراف منحنی t/V در برابر V از حالت خطی؛

- زمان صاف کردن از ۶۰ دقیقه بیش‌تر شود.

۷-۴-۶ جرم خشک کیک را بعد از صاف کردن مطابق با استاندارد EN 12880 اندازه‌گیری کنید و گرانیوی دینامیکی مایع صاف شده را نیز در دمای آزمون، اندازه‌گیری کنید.

یادآوری- در بندهای ۲-۶ تا ۴-۶ فرض می‌شود که از حجم کیک می‌توان صرف نظر کرد.

در بندهای ۲-۶ تا ۴-۶ نتایج آزمون که در فشارهای مختلف انجام می‌شود، باید از قبل اعتبارسنجی شوند.

۷ بیان نتایج

مقاومت ویژه به صاف کردن، r ، را با استفاده از رابطه ۱ محاسبه کنید.

$$r = \frac{2 \times \Delta p \times A^2 \times b}{\mu \times m} \quad (1)$$

که در آن:

Δp افت فشار در برابر صافی؛

- A سطح صاف کردن؛
- b شیب بخش خطی منحنی که به وسیله رسم t/V در مقابل V به دست می‌آید؛
- μ گرانروی مایع صاف شده در دمای لجن (اگر گرانروی مشخص نباشد، از گرانروی‌های آب به عنوان تابعی از دما مطابق با جدول پ-۱ با فرض این که گرانروی مایع صاف شده معادل با آب است، استفاده کنید)؛
- m جرم رسوب جامد روی محیط صاف کننده، در واحد حجم مایع صاف شده، می‌باشند.

یادآوری - فرض می‌شود که گرانروی مایع صاف شده معادل با گرانروی آب است.

در این استاندارد واحدهای اندازه‌گیری زیر به کار می‌روند:

جدول ۱- واحدهای اندازه‌گیری

واحد	نماد
m/kg	r
m ²	A
Pa · s	μ
Kg/m ³	m
Kg/m ³	C_o
s/m ⁶	b
Pa	Δp
s	t
m ³	V

شیب قسمت خطی منحنی با رسم t/V در مقابل V ، بین نقطه‌ای که خطی بودن شروع می‌شود (یعنی وقتی که ضریب رگرسیون $t/V = f(V)$ ثابت می‌شود) و نقطه‌ای که صاف کردن پایان می‌یابد، (به بندهای ۶-۲-۴ تا ۶-۳-۵ یا ۶-۴-۶ مراجعه کنید) تعیین می‌شود.

روش آزمون شرح داده شده برای مواد با قابلیت فشرده‌گی بالا، از قبیل لجن فاضلاب بیولوژیکی، محدودیت دارد. مقاومت ویژه تنها زمانی می‌تواند تعریف شود که رابطه ۱ معتبر باشد. به عبارتی هنگامی که منحنی $t/V = f(V)$ یک خط مستقیم بدون تغییر شیب باشد، یا در حین خارج کردن مهم‌ترین بخش از حجم صاف شده یک قسمت خطی وجود داشته باشد، یعنی:

- افت فشار در حین صاف کردن ثابت باقی بماند (Δp ثابت)؛
- هیچ رسوبگذاری (سرعت رسوب حداقل کمتر از ۱ mm/s) رخ ندهد (m ثابت)؛
- لخته شدن اولیه محیط صاف کننده، در حین صاف کردن افزایش نیابد (R_m ثابت)؛

- هیچ مهاجرتی از ذرات ریز، تغییر شکل ذرات یا ترک خوردن کیک در حین صاف کردن رخ ندهد (r ثابت).

در آزمون‌های سریع، امکان جایگزینی m با C_0 ، باقی‌مانده خشک اولیه لجن، وجود دارد به شرط این که غلظت لجن پایین بوده (جرم مواد جامد خشک کمتر از ۱٪ جرم لجن) و جرم آب در کیک کمتر از جرم مواد جامد باشد به طوری که جرم کیک در مقایسه با جرم لجن بسیار پایین باشد. همبستگی بین m و C_0 به وسیله رابطه ۲ ارائه شده است.

$$m = \frac{\frac{\rho_l}{\rho_{susp}} \times C_0}{1 - \left(1 + \frac{\rho_l}{\rho_s} \times \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \right) \times \frac{C_0}{\rho_{susp}}} \quad (2)$$

که در آن:

ρ_{susp} ، ρ_s ، ρ_l جرم‌های حجمی مربوط به هر سوسپانسیون (جامدات و مایعات)؛
 ε تخلخل کیک.

اگر مقاومت ویژه به صاف کردن لجن کمتر از 5×10^{12} m/kg در فشار ۵۰ kPa باشد، لجن در مقیاس صنعتی، می‌تواند به عنوان لجن با قابلیت صاف شدن در نظر گرفته شود.

۸ دقت آزمون

نتایج آزمون‌های اعتبارسنجی به طور خلاصه در پیوست ت ارائه شده است.

۹ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل اطلاعات زیر باشد:

- ۱-۹ گزارش روش آزمون استفاده شده مطابق با این استاندارد ملی؛
- ۲-۹ همه اطلاعات لازم برای شناسایی کامل نمونه لجن؛
- ۳-۹ شرایط عملیاتی (فشار، دما) محیط صاف کننده؛
- ۴-۹ نتایج آزمون به دست آمده با روش آزمون مورد استفاده؛
- ۵-۹ جزییات عملیاتی که در این استاندارد ملی مشخص نشده و یا به عنوان اختیاری آمده باشد، همراه با جزییات تمام رویدادهایی که بر روی نتایج آزمون ممکن است تاثیر داشته باشند؛
- ۶-۹ تاریخ انجام آزمون؛
- ۷-۹ نام و نام خانودگی و امضاء شخص آزمونگر.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

اطلاعات تکمیلی قانون داریسی

قانون داریسی به وسیله رابطه‌ای توضیح داده می‌شود که حاصل از توازن نیروی اندازه حرکت سیالی است که از میان یک کیک صافی یا محیط متخلخل جریان می‌یابد. این قانون بیان می‌کند که (برای جریان جانبی) جریان حجمی سیال، از قبیل نرخ جریان فوری (dV/dt) بر واحد سطح، مستقیماً متناسب با اختلاف فشار روی بستر بوده و نسبت عکس با ضخامت بستر و گرانشی سیال دارد.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A \times k \times \Delta p}{\mu \times L} = \frac{A \times \Delta p}{\mu \times R} \quad (\text{الف-۱})$$

$$R = R_m + R_c \quad (\text{الف-۲})$$

$$R_c = r \times \frac{m \times V}{A} \quad (\text{الف-۳})$$

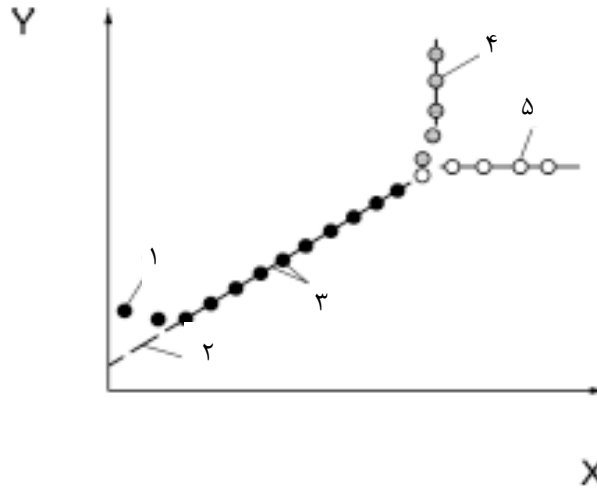
که در آن:

Δp	اختلاف فشار در سراسر بستر، برحسب پاسکال؛
A	سطح صاف کردن (تصفیه)، برحسب متر مربع؛
k	نفوذپذیری کیک، برحسب متر مربع؛
L	ضخامت کیک، برحسب متر؛
μ	گرانشی مایع صاف شده در دمای لجن، برحسب پاسکال در ثانیه؛
R	مقاومت تصفیه، برحسب متر معکوس؛
R_c	مقاومت کیک، برحسب متر معکوس؛
R_m	مقاومت محیط صاف کردن، برحسب متر معکوس؛
m	جرم مواد جامد رسوب کرده نسبت به واحد حجمی مایع صاف شده، برحسب کیلوگرم بر متر مکعب؛
V	حجم مایع صاف شده، برحسب متر مکعب؛
r	مقاومت ویژه به صاف کردن، برحسب متر بر کیلوگرم.

انتگرال‌گیری از رابطه فوق، با فرض ثابت بودن r و m و R_m و Δp منجر به شکل خطی و عملی قانون داریسی به صورت زیر می‌شود:

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu \times m \times r}{2 \times \Delta p \times A^2} \times V + \frac{\mu \times R_m}{\Delta p \times A} \quad (\text{الف-۴})$$

رسم $t/V = f(V)$ با نتایج آزمایشی، مطابق شکل الف-۱، به طور تئوریک در یک خط قرار دارد که شیب آن



محاسبه مقاومت ویژه میانگین را امکان پذیر می‌سازد.

راهنما:

- ۱ روش آزمایش ضعیف یا طراحی وسایل یا نفوذ انسداد روی پل‌بندی
- ۲ فاصله مورد استفاده برای محاسبه مقاومت محیط
- ۳ بخش خطی مورد استفاده برای محاسبه مقاومت کیک
- ۴ آزمون تخلیه خوراک (خارج کردن آب کیک)
- ۵ نفوذ از طریق یک کیک رسوب
- X حجم مایع صاف شده
- Y حجم مایع صاف شده/ زمان صاف کردن

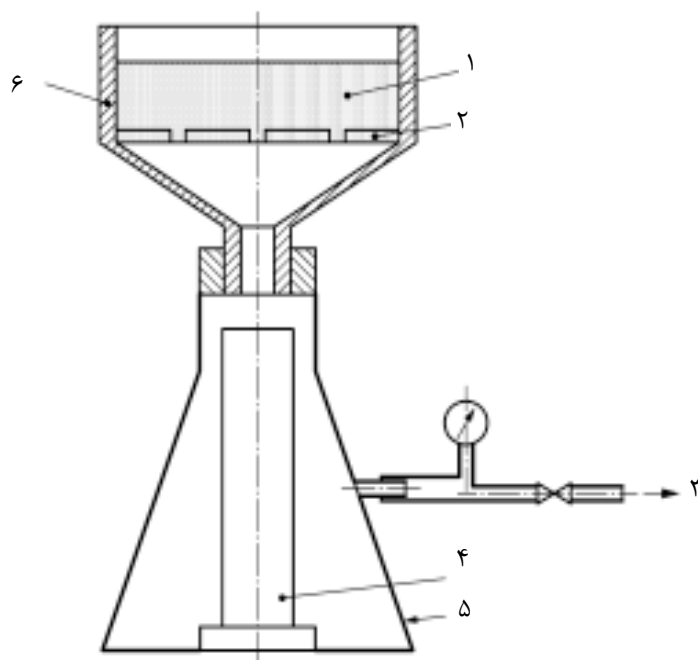
شکل الف - ۱ - تفسیر گرافیکی قانون دارسی: رسم نقاط مشخص برای تصفیه فشار ثابت

پیوست ب

(اطلاعاتی)

وسایل صاف کردن

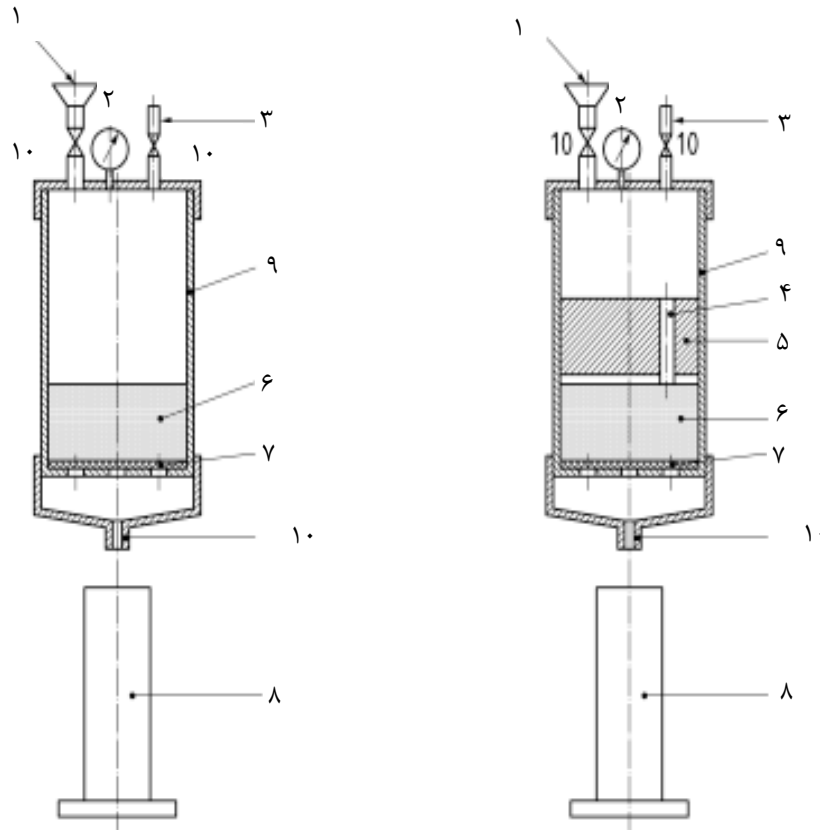
وسایل صاف کردن در شکل‌های ب-۱ و ب-۲ نشان داده شده است.



راهنما:

- ۱ لجن
- ۲ محیط صاف کردن
- ۳ فشار کاهش
- ۴ استوانه مدرج
- ۵ ارلن خلاء
- ۶ قیف بوختر

شکل ب-۱- صافی آزمایشگاهی فشار کاهش



راهنما:

- ۱ ورودی لجن
- ۲ فشارسنج
- ۳ فشار هوا
- ۴ خروجی هوا
- ۵ پیستون
- ۶ لجن
- ۷ محیط صافی
- ۸ استوانه مدرج
- ۹ سل صاف کردن
- ۱۰ شیر

الف) صافی آزمایشگاهی فشاری بدون پیستون

ب) صافی آزمایشگاهی فشاری با پیستون

شکل ب ۲- صافی آزمایشگاهی فشاری

پیوست پ

(اطلاعاتی)

جدول گرانیروی

گرانیروی آب در گستره دمای °C ۰ تا °C ۴۰ در جدول پ ۱ نشان داده شده است.

جدول پ ۱- گرانیروی دینامیکی آب از °C ۰ تا °C ۴۰

گرانیروی (10 ⁻³ Pa.s)	دما (°C)	گرانیروی (10 ⁻³ Pa.s)	دما (°C)
۱,۰۰۰۰	۲۰٫۲	۱,۷۹۲۱	۰
۰,۹۸۱۰	۲۱	۱,۷۳۱۳	۱
۰,۹۵۷۹	۲۲	۱,۶۷۲۸	۲
۰,۹۳۵۸	۲۳	۱,۶۱۹۱	۳
۰,۹۱۴۲	۲۴	۱,۵۶۷۴	۴
۰,۸۹۳۷	۲۵	۱,۵۱۸۸	۵
۰,۸۷۳۷	۲۶	۱,۴۷۲۸	۶
۰,۸۵۴۵	۲۷	۱,۴۲۸۴	۷
۰,۸۳۶۰	۲۸	۱,۳۸۶۰	۸
۰,۸۱۸۰	۲۹	۱,۳۴۶۲	۹
۰,۸۰۰۷	۳۰	۱,۳۰۷۷	۱۰
۰,۷۸۴۰	۳۱	۱,۲۷۱۳	۱۱
۰,۷۶۷۹	۳۲	۱,۲۳۶۳	۱۲
۰,۷۵۲۳	۳۳	۱,۲۰۲۸	۱۳
۰,۷۳۷۱	۳۴	۱,۱۷۰۹	۱۴
۰,۷۲۲۵	۳۵	۱,۱۴۰۴	۱۵
۰,۷۰۸۵	۳۶	۱,۱۱۱۱	۱۶
۰,۶۹۴۷	۳۷	۱,۰۸۲۸	۱۷
۰,۶۸۱۴	۳۸	۱,۰۵۵۹	۱۸
۰,۶۶۸۵	۳۹	۱,۰۲۹۹	۱۹
۰,۶۵۶۰	۴۰	۱,۰۰۵۰	۲۰

یادآوری- 10⁻³Pa.s = 10⁻²g/cm.s = 1 centipoise

پیوست ت

(اطلاعاتی)

نتایج آزمون اعتبارسنجی

از آنجایی که گردش نمونه‌های واقعی لجن با مقدار مواد آلی زیاد به علت مشکلات مربوط به تغییرات در خصوصیات فیزیکی آن‌ها در طی حمل و جابجایی امکان پذیر نیست، روش "آزمون اصلاح شده مشارکتی"^۱ ابلاغ شده توسط TG3 از CEN/TC 308/WG1 و گزارش شده در سند CEN/TR15175، استفاده شد. در حین این روش آزمونگرها از آزمایشگاه‌های شرکت کننده در یک آزمایشگاه نزدیک به محل نمونه‌گیری جمع می‌شوند و بر روی نمونه‌های یکسان کار می‌کنند هر کدام از وسایل خودشان استفاده می‌کنند. در آزمون‌های اعتبارسنجی در تسهیلات تجهیزات آزمایشگاهی، در آزمایشگاهی در ایتالیا^۲ در سال ۲۰۰۵، سه نوع لجن مختلف زیر آزمون شدند:

- نمونه ۱: لجن تاسیسات آبرسانی، غلظت مواد جامد: ۲/۸۴۰ g/l؛

- نمونه ۲: لجن فاضلاب- ضخیم‌شده، غلظت مواد جامد: ۲۳/۱۸۱ g/l؛

- نمونه ۳: لجن فاضلاب- فعال شده، غلظت مواد جامد: ۳/۰۷۴ g/l.

آزمون‌های اندازه‌گیری غلظت مواد جامد در آزمایشگاه تجزیه اکودوتو^۳ ایتالیا انجام شد.

نتایج آزمون‌ها برای ارزیابی دقت بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۲-۷۴۴۲، مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و انحراف استاندارد تجدیدپذیری، s_R ، محاسبه شد.

جدول ت-۱ تا ت-۴ نتایج مقادیر b (s/cm^6)، شیب قسمت خطی منحنی حاصل از رسم t/V در مقابل V (بند ۷) را نشان می‌دهند. این جدول‌ها شامل نمادهای زیر هستند:

i شماره آزمونگر؛

j شماره نمونه؛

k شماره آزمون؛

s_R انحراف استاندارد تجدیدپذیری؛

\bar{u}_{ij} مقدار میانگین اندازه‌گیری‌های آزمونگرها؛

y مقدار اندازه‌گیری؛

y_{ijk} نتیجه اندازه‌گیری‌های آزمونگر، i ، در نمونه، j .

1- Modified Round Robin Tests

2- Turi (Bari , Italy)

3- Acquedotto Pugliese

جدول ت- ۱- قرائت b (s/cm⁶) در $\Delta p = 50$ kPa

نمونه ۳		نمونه ۲		نمونه ۱		شماره آزمونگر (i)
میانگین (\bar{u}_{ij}) s/cm ⁶	مقدار (y_{ijk}) s/cm ⁶	میانگین (\bar{u}_{ij}) s/cm ⁶	مقدار (y_{ijk}) s/cm ⁶	میانگین (\bar{u}_{ij}) s/cm ⁶	مقدار (y_{ijk}) s/cm ⁶	
۰٫۱۱۳	۰٫۱۱۳	۱٫۳۲۶	۱٫۳۲۶	۰٫۱۲۶	۰٫۱۲۷ ۰٫۱۲۴	۱
۰٫۱۱۴	۰٫۱۱۹ ۰٫۱۰۸	۱٫۴۷۴	۱٫۴۷۴	۰٫۱۰۵	۰٫۱۰۹ ۰٫۱۰۰	۲
۰٫۱۵۱	۰٫۱۵۱	۱٫۴۱۸	۱٫۴۱۸	۰٫۱۱۵	۰٫۱۱۵	۳
۰٫۱۱۶	۰٫۱۱۶	۱٫۵۴۰	۱٫۵۴۰	۰٫۱۱۲	۰٫۱۰۸ ۰٫۱۱۵	۴
۰٫۱۰۵	۰٫۱۰۵	۱٫۵۲۹	۱٫۵۲۹	۰٫۰۹۵	۰٫۰۸۷ ۰٫۱۰۳	۵
۰٫۱۲۷	۰٫۱۲۷	۱٫۴۹۵	۱٫۴۹۵	۰٫۱۱۷	۰٫۱۱۸ ۰٫۱۱۵	۶
۰٫۱۲۳	۰٫۱۲۳	۱٫۶۴۰	۱٫۶۴۰	۰٫۱۱۳	۰٫۱۱۶ ۰٫۱۱۰	۷
۰٫۱۰۸	۰٫۱۰۸	۱٫۴۸۷	۱٫۴۸۷	۰٫۱۱۸	۰٫۱۱۳ ۰٫۱۲۲	۸
---	---	---	---	۰٫۱۱۷	۰٫۱۱۸ ۰٫۱۱۶	۹
---	---	---	---	۰٫۱۲۴	۰٫۱۲۴	۱۰
۰٫۱۱۴	۰٫۱۱۴	۱٫۴۹۲	۱٫۴۹۲	---	---	۱۱
۰٫۱۱۹	---	۱٫۴۸۹	---	۰٫۱۱۴	میانگین در سطح (j)	

یادآوری- مرتبه‌های مختلف بزرگی برای مقادیر b برای ۳ نمونه به دست آمده است گستره ۱ تا ۱۰۰ راسته از مقدار به وسیله این آزمون‌ها پوشش داده شده است.

جدول ت-۲- قرائت b (s/cm⁶) در $\Delta p = 150$ kPa

نمونه ۳		نمونه ۲		نمونه ۱		شماره آزمونگر (i)
میانگین (\bar{u}_{ij}) s/cm ⁶	مقدار (y_{ijk}) s/cm ⁶	میانگین (\bar{u}_{ij}) s/cm ⁶	مقدار (y_{ijk}) s/cm ⁶	میانگین (\bar{u}_{ij}) s/cm ⁶	مقدار (y_{ijk}) s/cm ⁶	
۰٫۱۳۲	۰٫۱۳۲	۱٫۲۷۴	۱٫۲۷۴	۰٫۰۰۹۸	۰٫۰۰۹۹ ۰٫۰۰۹۶	۱
۰٫۱۰۳	۰٫۱۰۳	۱٫۱۰۷	۱٫۱۰۷	۰٫۰۰۷۱	۰٫۰۰۷۱ ۰٫۰۰۷۰	۲
۰٫۱۲۹	۰٫۱۲۹	۱٫۳۸۰	۱٫۳۸۰	۰٫۰۱۰۱	۰٫۰۰۹۹ ۰٫۰۱۰۲	۳
۰٫۱۲۸	۰٫۱۲۸	۱٫۳۴۴	۱٫۳۴۴	۰٫۰۰۹۹	۰٫۰۰۹۸ ۰٫۰۱۰۰	۴
۰٫۱۰۸	۰٫۱۰۸	۱٫۳۰۳	۱٫۳۰۳	۰٫۰۰۷۷	۰٫۰۰۷۰ ۰٫۰۰۸۳	۵
۰٫۰۷۵	۰٫۰۷۵	۱٫۳۴۹	۱٫۳۴۹	۰٫۰۱۰۱	۰٫۰۱۰۲ ۰٫۰۰۹۹	۶
۰٫۰۷۹	۰٫۰۷۹	۱٫۲۶۲	۱٫۲۶۲	۰٫۰۰۸۴	۰٫۰۰۷۰ ۰٫۰۰۹۸	۷
۰٫۰۹۸	۰٫۰۹۸	۱٫۱۸۹	۱٫۱۸۹	۰٫۰۰۹۳	۰٫۰۰۸۹ ۰٫۰۰۹۶	۸
---	---	---	---	۰٫۰۰۹۸	۰٫۰۰۹۸ ۰٫۰۰۹۷	۹
---	---	---	---	۰٫۰۰۷۶	۰٫۰۰۷۱ ۰٫۰۰۸۰	۱۰
۰٫۱۴۶	۰٫۱۴۶	۱٫۳۴۷	۱٫۳۴۷	---	---	۱۱
۰٫۱۱۱	---	۱٫۲۸۴	---	۰٫۰۰۹۰	میانگین در سطح (j)	

یادآوری ۱- مرتبه‌های مختلف بزرگی برای مقادیر b برای نمونه ۳ به دست آمده است گستره ۱ تا ۱۰۰ راسته از مقدار به وسیله این آزمون‌ها پوشش داده شده است.

یادآوری ۲- تجزیه آماری انجام شده مقادیر b آزمون‌های ۶ و ۱۱ را در نمونه ۳ مورد توجه قرار نداده است چون آن‌ها از ٪ ۳۰ مقادیر میانگین مربوط بیش‌تر بوده‌اند.

جدول ت-۳- قرائت b (s/cm⁶) در $\Delta p = 300$ kPa

نمونه ۳		نمونه ۲		نمونه ۱		شماره آزمونگر (i)
میانگین (\bar{u}_{ij}) s/cm ⁶	مقدار (y_{ijk}) s/cm ⁶	میانگین (\bar{u}_{ij}) s/cm ⁶	مقدار (y_{ijk}) s/cm ⁶	میانگین (\bar{u}_{ij}) s/cm ⁶	مقدار (y_{ijk}) s/cm ⁶	
۰٫۱۱۰	۰٫۱۱۰	۱٫۱۱۲	۱٫۱۱۲	۰٫۱۰۵۲	۰٫۱۰۰۵۱ ۰٫۱۰۰۵۲	۱
۰٫۰۸۷	۰٫۰۸۷	۰٫۸۴۸	۰٫۸۴۸	۰٫۱۰۰۵۴	۰٫۱۰۰۵۱ ۰٫۱۰۰۵۶	۲
۰٫۱۱۴	۰٫۱۱۴	۱٫۰۷۲	۱٫۰۷۲	۰٫۱۰۰۷۴	۰٫۱۰۰۸۳ ۰٫۱۰۰۶۵	۳
۰٫۱۲۲	۰٫۱۲۲	۰٫۹۱۶	۰٫۹۱۶	۰٫۱۰۰۶۳	۰٫۱۰۰۶۵ ۰٫۱۰۰۶۰	۴
۰٫۰۷۴	۰٫۰۷۴	۰٫۸۸۴	۰٫۸۸۴	۰٫۱۰۰۶۶	۰٫۱۰۰۶۶ ۰٫۱۰۰۶۵	۵
۰٫۰۷۰	۰٫۰۷۰	۰٫۸۲۳	۰٫۸۲۳	۰٫۱۰۰۶۵	۰٫۱۰۰۶۳ ۰٫۱۰۰۶۷	۶
۰٫۰۷۹	۰٫۰۷۹	۱٫۱۹۰	۱٫۱۹۰	۰٫۱۰۰۶۷	۰٫۱۰۰۶۹ ۰٫۱۰۰۶۵	۷
۰٫۰۸۳	۰٫۰۸۳	۰٫۹۱۲	۰٫۹۱۲	۰٫۱۰۰۶۸	۰٫۱۰۰۵۷ ۰٫۱۰۰۷۹	۸
---	---	---	---	۰٫۱۰۰۵۶	۰٫۱۰۰۵۷ ۰٫۱۰۰۵۵	۹
---	---	---	---	۰٫۱۰۰۶۵	۰٫۱۰۰۶۱ ۰٫۱۰۰۶۸	۱۰
۰٫۱۲۹	۰٫۱۲۹	۰٫۹۹۴	۰٫۹۹۴	---	---	۱۱
۰٫۰۹۶	---	۰٫۹۷۲	---	۰٫۱۰۰۶۳	میانگین در سطح (j)	

یادآوری ۱- مرتبه‌های مختلف بزرگی برای مقادیر b برای نمونه ۳ به دست آمده است گستره ۱ تا ۱۰۰ راسته از مقدار به وسیله این آزمون‌ها پوشش داده شده است.

یادآوری ۲- آنالیز آماری انجام شده مقادیر b آزمون‌های ۱۱ را در نمونه ۳ مورد توجه قرار نداده است چون آن‌ها از ٪ ۳۰ مقادیر میانگین مربوط بیش‌تر بوده‌اند.

جدول ت-۴- انحراف استاندارد تجدیدپذیری، SR

SR (%) در (50; 150; 300) kPa	SR (10^{-3} s/cm ⁶) در (50; 150; 300) kPa	نمونه
۱۱/۰ ؛ ۱۲/۹ ؛ ۷/۶ ۱۰/۵	۰/۶۹۱ ؛ ۱/۱۶۵ ؛ ۰/۸۷۲ ۰/۹۱	۱- لجن سیستم آبرسانی مقدار میانگین
۱۳/۱ ؛ ۶/۹ ؛ ۵/۸ ۸/۶	۱۲۷/۳ ؛ ۸۸/۲ ؛ ۸۵/۸ ۱۰۰/۴	۲- - لجن فاضلاب - ضخیم شده مقدار میانگین
۲۰/۷ ؛ ۱۷/۷ ؛ ۱۱/۶ ۱۶/۷	۱۹/۹ ؛ ۱۹/۷ ؛ ۱۳/۸ ۱۷/۸	۳- - لجن فاضلاب - فعال مقدار میانگین

پیوست ث

(اطلاعاتی)

کتابنامه

۱- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۷۴۲۴، درستی (صحت و دقت) روش‌ها و نتایج اندازه‌گیری - قسمت دوم: روش پایه برای تعیین تکرارپذیری و تجدیدپذیری

2- EN 14701-4, Characterization of sludges - Filtration properties - Part 4: Determination of the drainability of flocculated sludges

3- CEN/TR 15175, Characterization of sludges - Protocol for organizing and conducting inter-laboratory tests of methods for chemical and microbiological analysis of sludges

4- ISO 565, Test sieves - Metal wire cloth, perforated metal plate and electroformed sheet - Nominal sizes of openings

5- 91/271/EEC, COUNCIL DIRECTIVE of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment

6- BASKERVILLE, R. C. and GALE R. S., A simple automatic instrument for determination of the filterability of sewage sludges, Journal of the Institute of Water Pollution Control, Vol. 67, No 2 (1968), 233-241

7- BOCKSTAL, F., FOUARGE, L., HERMIA, J., Constant pressure cake filtration with simultaneous sedimentation, Filtration and Separation, July/August, 255-257 (1985)

8- RAYNAUD, M., BAUDEZ, J. C, VAXELAIRE, J., HERITIER, P., Activated sludge dewatering in filtration compression cell: Deviations in comparison to classical theory, Asia Pacific Journal of Chemical Engineering (2009)

9- SPINOSA L., LOTITO V. and INFUSINO E., Relationships between sludge rheology and dewaterability parameters, Fluid/Particle Sep. J., 4,3,176 (1991)

10- TILLER, F. M., Theory and practice of solid-liquid separation, University of Houston, A 72, 544 pp., Houston Texas (1975)

11- YETIS, J., WILLIS, M. S., CHASE, G., Specific cake resistance: Myth or reality, Wat. Sci. Tech. 28, 1, 91-101. (1993)