



سازمان ملی استاندارد ایران

Iran National Standards Organization

استاندارد ملی ایران ۲-۲۳۸۲۳: سال ۱۴۰۴

INSO 23823-2:2025

(ISO 4240-2:2024, IDT)

فناوری نانو - فناوری حباب ریز - کاربردهای محیط زیستی -
قسمت ۲: روش آزمون برای ارزشیابی عملکرد هوادهی افزاره‌های جت
حباب ریز

**Nanotechnologies - Fine bubble technology - Environmental
applications - Part 2: Test method for evaluating aeration performance
of fine bubble jet devices**

ICS: 07.030

استاندارد ملی ایران ۲-۲۳۸۲۳: سال ۱۴۰۴، فناوری نانو - فناوری حباب ریز - کاربردهای محیط زیستی -
قسمت ۲: روش آزمون برای ارزشیابی عملکرد هوادهی افزاره‌های جت حباب ریز

INSO 23823-2:2025, Nanotechnologies - Fine bubble technology - Environmental applications - Part 2: Test method for evaluating aeration performance of fine bubble jet devices

Published by:

**Iran National Standards Organization
(INSO)**

ناشر:

سازمان ملی استاندارد ایران

Tehran:

No. 2592, Valiasr Avenue, Vanak Square,
Tehran

Postal code: 1435694561

P.O. Box: 14155-6139

Tel: +98 21 88879461-5

Fax: +98 21 88887103

تهران:

تهران، میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

کد پستی: ۱۴۳۵۶۹۴۵۶۱

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹

تلفن: ۰۲۱ ۸۸۸۷۹۴۶۱-۵

دورنگار: ۰۲۱ ۸۸۸۸۷۱۰۳

Karaj:

Standard Square, Karaj

Postal code: 3174734563

P.O. Box: 31585-163

Tel: +98 26 32806031-8

Fax: +98 26 32808114

کرج:

کرج، میدان استاندارد

کد پستی: ۳۱۷۴۷۳۴۵۶۳

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳

تلفن: ۰۲۶ ۳۲۸۰۶۰۳۱-۸

دورنگار: ۰۲۶ ۳۲۸۰۸۱۱۴

standard@inso.gov.ir

www.inso.gov.ir



به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

اولین گام نظام‌مند در حوزه استانداردسازی در ایران در سال ۱۳۰۴ با تصویب قانون اوزان و مقیاس‌ها برداشته شد. در سال ۱۳۳۲ با توجه به نیاز کشور به تشکیلاتی خاص برای انجام فعالیت‌های مرتبط با نظارت و انطباق کالاها با استانداردهای مرتبط از جمله کالاهای صادراتی، مرحله مطالعاتی راه‌اندازی اداره استاندارد آغاز و در سال ۱۳۳۹ قانون تأسیس مؤسسه استاندارد مصوب شد.

در سال ۱۳۴۴ با افزایش توانمندی‌های مؤسسه در زمینه‌های مختلف از جمله تدوین استانداردهای ملی، نظارت بر کیفیت کالاهای تولید داخل، صادراتی و وارداتی، توسعه فعالیت‌های آزمایشگاهی و صدور گواهی‌نامه‌های مرتبط و پس از تأسیس آزمایشگاه‌های تخصصی، با تصویب اساسنامه مؤسسه در مجلس شورای ملی، نام مؤسسه استاندارد به مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران تغییر یافت.

در سال ۱۳۹۶ به موجب قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد و با هدف افزایش پوشش استاندارد به تمامی محصولات، روزآمدسازی، تقویت، توسعه و ترویج استانداردها و تحکیم جایگاه مؤسسه در سطح کشور، عنوان مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر یافت.

به موجب این قانون، سازمان ملی استاندارد ایران به عنوان یک دستگاه اجرایی مستقل زیر نظر مستقیم رئیس جمهور اداره می‌شود و مرجع رسمی حاکمیتی در زمینه سیاست‌گذاری، حسن نظارت و هدایت نظام استاندارد و اطمینان بخشی به کیفیت کالاها و خدماتی است که در داخل کشور تولید، ارائه و/یا به کشور وارد یا از کشور صادر می‌شود.

فعالیت‌های سازمان ملی استاندارد ایران در چهار محور انجام می‌شود، در اینجا به برخی از فعالیت‌های هر محور اشاره شده است:

۱- استانداردسازی: تعیین، تدوین، به‌روزرسانی و نشر استانداردهای ملی، مشارکت در تدوین استانداردهای منطقه‌ای و بین‌المللی از طریق عضویت فعال در کارگروه‌های فنی، آموزش و ترویج استانداردها و فراهم کردن امکان دسترسی مردم به مشخصات و اطلاعات مربوط به استانداردهای کالا و خدمات در سطح کشور؛

۲- اندازه‌شناسی: برنامه‌ریزی و نظارت بر امور اندازه‌شناسی قانونی کشور، ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها به عنوان سامانه رسمی اندازه‌شناسی قانونی در کشور و واسنجی وسایل سنجش؛

۳- تأیید صلاحیت: تأیید صلاحیت نهادهای ارزیابی انطباق مانند آزمایشگاه‌های آزمون و واسنجی، نهادهای بازرسی‌کننده داخلی و خارجی، نهادهای گواهی‌کننده محصول، گواهی‌کننده اشخاص حقیقی و حقوقی و گواهی‌کننده سامانه‌های مدیریتی؛

۴- ارزیابی انطباق: نظارت بر حسن اجرای استانداردها و تمام کالاها و خدمات دارای پروانه کاربرد نشان استاندارد، کنترل کیفیت کالاهای وارداتی به منظور جلوگیری از ورود کالاهای نامرغوب و حمایت از مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان داخلی، کنترل کیفیت کالاهای صادراتی به منظور فراهم کردن امکان رقابت با کالاهای مشابه خارجی و حفظ بازارهای بین‌المللی.

در حوزه تدوین استانداردهای ملی، سازمان ملی استاندارد ایران از طریق نیازسنجی و جمع‌آوری اطلاعات از وزارتخانه‌ها، سازمان‌ها، واحدهای تولیدی و خدماتی، مراکز علمی، دانشگاهی و پژوهشی، کارگروه‌های فنی، اتحادیه‌ها و انجمن‌های صنفی و صنعتی و دفاتر تخصصی سازمان نسبت به برگزاری کارگروه ملی برنامه‌ریزی استاندارد و تعیین اولویت‌های تدوین و تجدیدنظر استانداردها اقدام می‌کند.

براساس روش اجرایی فرایند تدوین استانداردهای ملی، تهیه پیش‌نویس استانداردهای ملی به دبیران واجد شرایط واگذار می‌شود تا این پیش‌نویس‌ها را براساس منابع معتبر، دستاوردهای علمی، فناوری‌های نوآیند و تجربه جمعی، با هدف ارتقای منافع جامعه تدوین کنند. پیش‌نویس استانداردها سپس به منظور نظرسنجی برای مراجع ذی‌نفع و ذی‌ربط ارسال و در کارگروه ملی تصویب استاندارد، مطرح و در صورت تأیید به عنوان استاندارد ملی مصوب می‌شوند. استانداردهای مصوب پس از اختصاص شماره ملی از طریق درگاه اطلاع‌رسانی سازمان در دسترس عموم قرار می‌گیرند.

آشنایی با استانداردهای تخصصی دستگاههای اجرایی

در راستای قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ماده ۳، تبصره ۳ که به موجب آن تمامی دستگاههای اجرایی وظیفه دارند در راستای توسعه استانداردهای ملی، استانداردهای دستگاه اجرایی مربوط را در کمیسیونهای ذی ربط طرح و تدوین کرده و سپس برای بررسی و تصویب در کارگروههای ملی تصویب استاندارد به سازمان ملی استاندارد ارائه کنند، ستاد توسعه فناوریهای نانو و میکرو با بهره گیری از تخصص و توانمندی ذی ربطان نسبت به تهیه این استاندارد ملی اقدام کرده است.

برای آشنایی با فعالیتهای صورت گرفته در ستاد توسعه فناوریهای نانو و میکرو به وبگاه www.nano.ir مراجعه شود.

کمیسیون تدوین استاندارد

مشارکت‌کنندگان

رئیس:

صادق حسنی، صدیقه
دکتری شیمی تجزیه - الکتروشیمی

دبیر:

شاگری، روشنگ
کارشناسی ارشد فیزیک اتمی و مولکولی

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

اسلامی‌پور، الهه
کارشناسی ارشد زیست‌شناسی

تیزقدم غازانی، مصطفی
دکتری مهندسی محیط‌زیست

رستمی، اقبال
دکتری مهندسی محیط‌زیست

رشیدی مهرآبادی، عبدالله
دکتری مهندسی محیط‌زیست

سیفی، مهوش
کارشناسی ارشد مدیریت دولتی

فاضلی، مجتبی
دکتری مهندسی محیط‌زیست

سمت و محل اشتغال

عضو هیئت علمی بازنشسته پژوهشگاه صنعت نفت و مدیر تحقیق
و توسعه شرکت آرال تجهیز آزما

کارشناس سازمان ملی استاندارد ایران و دبیر کارگروه فنی فناوری
حباب ریز INSO/ISO/TC 281

کارشناس مسئول گروه استاندارد و ایمنی ستاد توسعه
فناوری‌های نانو و میکرو

عضو هیئت علمی و رئیس مرکز پژوهشی استحصال آب از منابع
غیرمتعارف دانشگاه شهید بهشتی

کارشناس دفتر حفاظت و مدیریت زیست محیطی آب و خاک
سازمان حفاظت محیط‌زیست

عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی

مشاور گروه استاندارد و ایمنی ستاد توسعه فناوری‌های نانو و
میکرو و نایب‌رئیس کارگروه فنی فناوری نانو
INSO/ISO/TC229

عضو هیئت علمی بازنشسته دانشگاه شهید بهشتی

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
و	پیشگفتار
ز	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۱	۳ اصطلاحات، تعاریف، نمادها و کوتاه‌نوشت‌ها
۳	۴ اصول آزمون عملکرد هوادهی
۶	۵ سامانه آزمون برای آزمون عملکرد هوادهی
۶	۱-۵ سامانه آزمون
۷	۲-۵ وسایل مورد نیاز برای آزمون
۸	۳-۵ آماده‌سازی برای آزمون
۸	۴-۵ آزمون مقدماتی برای تأیید تکرارپذیری
۸	۶ رویه‌های آزمون
۸	۱-۶ سدیم سولفیت
۸	۲-۶ واکنش یار کبالت
۹	۳-۶ بهره‌برداری از مولد حباب ریز
۹	۴-۶ ثبت غلظت اکسیژن محلول
۹	۵-۶ اندازه‌گیری توان ورودی
۱۰	۷ روش توضیح نتایج آزمون
۱۱	۸ گزارش آزمون
۱۲	پیوست «الف» (آگاهی‌دهنده) نمونه‌ای از روش آزمون برای ارزشیابی عملکرد هوادهی با اکسیژن خالص در افزاره جت حباب‌ریز
۲۰	کتابنامه
۲۱	فهرست الفبایی واژه‌های به‌کاررفته به‌ترتیب الفبای فارسی
۲۱	فهرست الفبایی واژه‌های به‌کاررفته به‌ترتیب الفبای انگلیسی

پیشگفتار

این استاندارد به استناد قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ماده ۷، بند ۱، مصوب ۱۳۹۶/۱۰/۰۲ منتشر می شود.

استانداردهای ملی ایران براساس استاندارد ملی ایران ۵ و روش اجرایی تدوین استانداردهای ملی ایران تدوین می شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفتهای ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم، فناوری و خدمات، استانداردهای ملی در صورت لزوم تجدیدنظر شده یا برای آنها اصلاحیه و/یا تصحیح نامه منتشر می شود.

این استاندارد در جلسه شماره ۱۶۲ مورخ ۱۴۰۴/۰۷/۲۸ کارگروه ملی تصویب استانداردهای فناوری نانو مصوب شده است.

این استاندارد بر مبنای پذیرش منبع زیر به روش «همسان» تهیه و تدوین شده است:

ISO 4240-2:2024, *Nanotechnologies - Fine bubble technology - Environmental applications - Part 2: Test method for evaluating aeration performance of fine bubble jet devices*

مقدمه

پیشرفت‌های اخیر در کاربرد فناوری حباب ریز، موفقیت آن را در زمینه‌های فنی گوناگون نشان می‌دهد. افزاره‌های جت حباب ریز به‌طور عمومی در فرآیند هوادهی با اکسیژن خالص به‌کار گرفته می‌شوند تا انتقال اکسیژن از فاز گاز به فاز مایع را در زمینه‌های مهندسی محیط زیست، مانند تصفیه فاضلاب و بازگردانی بوم‌شناختی^۱ آب، بهبود دهند. افزاره‌های جت با اندازه کوچک ($\leq 1 \text{ m}^3/\text{h}$)، اغلب برای تمیزکاری استفاده می‌شوند. افزاره‌های جت با اندازه میانه ($1-10 \text{ m}^3/\text{h}$)، اغلب در آبی‌پروری و زمینه‌های کشاورزی کاربرد دارند. دستگاه‌های جت با اندازه بزرگ ($\geq 10 \text{ m}^3/\text{h}$)، اغلب برای تصفیه آب و بازگردانی محیط زیست آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. افزاره‌های جت حباب ریز در حالت پرانه^۲ (خوددمنده)^۳ یا حالت پاشانه^۴ (منبع اکسیژن تحت فشار) کار می‌کنند. حالت عملیاتی، بر انتقال جرم قابل‌دسترسی و بازده انرژی دستگاه تأثیر مستقیم دارد. برای ارزشیابی عملکرد افزاره‌های هوادهی، به یک روش استاندارد برای اندازه‌گیری انتقال اکسیژن نیاز است که بتواند برای انواع افزاره‌های جت حباب ریز به‌کار برده شود.

این استاندارد با هدف مشخص کردن رویه آزمون مشخص روی افزاره‌های جت حباب ریز برای استفاده‌های هوادهی اکسیژن تدوین شده است. مهندسان طراح فرآیند هوادهی، براساس داده‌های عملکردی ارائه‌شده توسط هر سازنده مولد حباب، لازم است تعداد مولدهایی که به‌کار گرفته می‌شوند را برای برآورده ساختن الزامات استفاده، محاسبه کنند.

¹ ecological restoration

² ejector

³ self-aspiration

⁴ injector

فناوری نانو - فناوری حباب ریز - کاربردهای محیط زیستی - قسمت ۲: روش آزمون برای ارزشیابی عملکرد هوادهی افزاره‌های جت حباب ریز

۱ هدف و دامنه کاربرد

این استاندارد، روش‌شناسی آزمون برای ارزشیابی عملکرد هوادهی افزاره‌های جت حباب ریز براساس ارزشیابی ضریب انتقال جرم اکسیژن از حالت گاز به آب را توصیف می‌کند.

این استاندارد برای ارزشیابی عملکرد افزاره‌های جت حباب ریز برای اهداف هوادهی کاربرد دارد.

۲ مراجع الزامی

مراجع زیر، مدارکی هستند که در متن این استاندارد به کل یا بخشی از محتوای آن‌ها به صورت الزامی ارجاع داده شده است؛ بنابراین، محتوای ارجاع داده شده، جزئی از الزامات این استاندارد محسوب می‌شود. درخصوص مراجع دارای تاریخ، فقط همان ویراست کاربرد دارد. درخصوص مراجع بدون تاریخ، آخرین ویراست آن مرجع (شامل هرگونه اصلاحیه/تصحیح‌نامه) کاربرد دارد.

– ISO 20480-1, *Fine bubble technology - General principles for usage and measurement of fine bubbles - Part 1: Terminology*

نکته: استاندارد ملی ایران ۱-۱۵۵۸۸، فناوری حباب ریز - اصول کلی برای استفاده و اندازه‌گیری حباب‌های ریز - قسمت ۱: واژگان، براساس ISO 20480-1 تدوین شده است.

– ISO 20480-2, *Fine bubble technology - General principles for usage and measurement of fine bubbles - Part 2: Categorization of the attributes of fine bubbles*

۳ اصطلاحات، تعاریف، نمادها و کوتاه‌نوشت‌ها

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استانداردهای ISO 20480-1 و ISO 20480-2 اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌رود.^۱

۱-۳

هوادهی

اکسیژن‌رسانی

aeration
oxygenation

فرآیند وارد کردن هوا یا اکسیژن به یک حجم آب برای افزایش سطح اشباع اکسیژن آن

^۱ اصطلاحات و تعاریف به کاررفته در استانداردهای IEC و ISO در وبگاه‌های زیر قابل دسترسی است.

۲-۳

اکسیژن خالص

pure oxygen

گازی شامل بیش از ۹۰٪ اکسیژن

۳-۳

افزاره جت حباب ریز

fine bubble jet device

افزاره‌ای شامل سامانه جریان چرخشی، سامانه پُرانه و سامانه ونتوری^۱ که سیال را با حباب‌های ریز شتاب داده و رها می‌کند.

۴-۳

ضریب انتقال جرم اکسیژن

oxygen mass transfer coefficient

 $K_{L,a}$

پارامتری که برای ارزیابی نرخ انتقال اکسیژن از هوا به آب استفاده می‌شود.

نکته ۱ مدخل: برحسب h^{-1} یا min^{-1} بیان می‌شود.

۵-۳

اکسیژن محلول

DO

مقدار اکسیژن محلول در آب یا سایر مایعات

نکته ۱ مدخل: برحسب mg/l بیان می‌شود.

۶-۳

بازده استاندارد انتقال اکسیژن

بازاک

standard oxygen transfer efficiency

SOTE

مقدار اکسیژن وارد شده که تحت شرایط استاندارد در آب حل می‌شود.

نکته ۱ مدخل: شرایط استاندارد عبارتند از: دما، $293/15\text{ K}$ (20°C)، فشار $101/325\text{ kPa}$ ، (درصد جرمی)

¹ venture

۷-۳

نرخ استاندارد انتقال اکسیژن

standard oxygen transfer rate
SOTR

نرخ انتقال جرم اکسیژن در شرایط استاندارد

نکته ۱ مدخل: شرایط استاندارد عبارتند از: دما، ۲۹۳/۱۵ K (۲۰°C)، فشار ۱۰۱/۳۲۵ kPa، (kg-O₂/kW-h)

۸-۳

بازده استاندارد هوادهی

standard aeration efficiency
SAE

جرم اکسیژن منتقل شده به ازای واحد انرژی در شرایط استاندارد

نکته ۱ مدخل: شرایط استاندارد عبارتند از: دما، ۲۹۳/۱۵ K (۲۰°C)، فشار ۱۰۱/۳۲۵ kPa، (kg-O₂/kW-h) کیلوگرم اکسیژن بر کیلو وات ساعت

۹-۳

بسامد چرخه

cycle frequency

نسبت دبی آب در گردش به حجم مخزن

نکته ۱ مدخل: برحسب h⁻¹ بیان می شود.

۴ اصول آزمون عملکرد هوادهی

هوادهی (اکسیژن رسانی)، یک فرآیند انتقال جرم اکسیژن است. انتقال جرم گاز مایع به شدت تحت تأثیر ایجاد فصل مشترک گاز و مایع قرار دارد. طی انتقال اکسیژن از فاز گاز به فاز مایع، مقاومت اصلی مربوط به فیلم مایع، لازم است ضریب انتقال جرم اکسیژن ($K_{L,a}$) با فرمول (۱) ارائه شود. با انتگرال گیری و مرتب سازی فرمول (۱)، فرمول (۲) به دست می آید.

$$\frac{dC}{dt} = K_{L,a}(C_{\infty}^* - C) \quad (۱)$$

$$\ln(C_{\infty}^* - C) = \ln(C_{\infty}^* - C_0) - K_{L,a} \cdot t \quad (۲)$$

که در آن:

C غلظت اکسیژن محلول در آب در زمان هوادهی t (mg/l)؛

t مدت زمان هوادهی (min)؛

C_0 مقدار غلظت اکسیژن محلول در نقطه آزمون در زمان صفر (mg/l)؛

C_{∞}^* مقدار غلظت اکسیژن محلول در حالت پایدار در نقطه آزمون (mg/l).

بنابراین، مقدار $K_{L,a}$ را می‌توان از طریق یک آزمایش هوادهی در آب پاک و با اندازه‌گیری‌های اکسیژن محلول طی زمان به‌دست آورد.

با توجه به مقدار $K_{L,a}$ به‌دست‌آمده از آزمایش هوادهی، لازم است مقدار $K_{L,as}$ در دماهای مختلف با استفاده از فرمول (۳) محاسبه شود.

$$K_{L,as} = K_{L,a} \times \theta^{20-T} \quad (۳)$$

که در آن:

$K_{L,as}$ ضریب انتقال جرم اکسیژن در شرایط استاندارد است، شرایط استاندارد عبارتند از: دما، 293.15 K (20°C)، فشار 101.325 kPa ($1/\text{min}$);

θ ضریب تجربی تصحیح دما که می‌تواند 1.024 در نظر گرفته شود؛

T دمای آب که متوسط دما طی آزمون ($^{\circ}\text{C}$).

نرخ استاندارد انتقال جرم اکسیژن (SOTR, kg/h)، لازم است مطابق با فرمول‌های (۴) تا (۸) محاسبه شود.

$$O_{\text{TR},S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_{\text{TR},S,i} \quad (۴)$$

$$O_{\text{TR},S,i} = 0.06 \times K_{L,as,i} \cdot C_{\infty 20i}^* \cdot V \quad (۵)$$

$$C_{\infty 20i}^* = \frac{C_{\infty i}^*}{\tau \cdot \eta} \quad (۶)$$

$$\tau = \frac{C_{st}^*}{C_{s20}^*} \quad (۷)$$

$$\eta = \frac{P_b}{P_{b0}} \quad (۸)$$

که در آن:

$O_{\text{TR},S,i}$ نرخ استاندارد انتقال جرم اکسیژن (SOTR) در آزمون i ام یا نقطه آزمون (kg/h);

$K_{L,as,i}$ ضریب انتقال جرم اکسیژن استاندارد در آزمون i ام یا نقطه آزمون ($1/\text{min}$);

$C_{\infty 20i}^*$ غلظت اشباع اکسیژن محلول در آزمون i ام یا نقطه آزمون است تحت شرایط استاندارد، شرایط استاندارد عبارتند از: دما، 293.15 K (20°C)، فشار 101.325 kPa (mg/l);

V حجم آب در مخزن هوادهی اکسیژن (m^3);

$C_{\infty i}^*$	غلظت اکسیژن محلول اشباع در حالت پایدار در آزمون i ام یا نقطه آزمون (mg/l)؛
τ	ضریب تصحیح دما؛
η	ضریب تصحیح فشار؛
C_{st}^*	مقدار غلظت اشباع اکسیژن محلول در فشار جوّی ۱۰۱٫۳۲۵ kPa و در دمای آب مورد آزمون (mg/l)؛
C_{s20}^*	مقدار غلظت اشباع اکسیژن محلول تحت شرایط استاندارد. شرایط استاندارد عبارتند از: دما، ۲۹۳٫۱۵ K (۲۰°C)، فشار ۱۰۱٫۳۲۵ kPa (mg/l)؛
P_b	فشار مطلق گاز طی آزمون.
P_{b0}	فشار استاندارد جو، ۱۰۱٫۳۲۵ kPa.
بازده استاندارد هوادهی (SAE, kgO ₂ /kWh) لازم است مطابق فرمول (۹) محاسبه شود:	
$A_{E,s} = \frac{O_{TR,S}}{P} \quad (9)$	
که در آن:	
$O_{TR,S}$	نرخ استاندارد انتقال اکسیژن (kg/h)؛
A_{ES}	بازده استاندارد هوادهی (SAE) [kgO ₂ /kWh]؛
P	توان ورودی مؤثر ناخالص (kW)، و برای افزاره جت خوددمنده، شامل توان پمپ می‌شود؛ درحالی‌که برای دستگاه جت حباب ریز که با دمنده کار می‌کند، توان مصرفی (kW) شامل توان اعمال‌شده به‌وسیله هم جریان آب و هم جریان گاز می‌شود.
بازده استاندارد انتقال اکسیژن توضیح می‌دهد که چه میزان اکسیژن تزریق‌شده در آب حل می‌شود. این پارامتر با فرمول (۱۰) به صورت درصد بیان می‌شود. بازده استاندارد انتقال اکسیژن با استفاده از نرخ استاندارد انتقال اکسیژن و دبی اکسیژن تزریق‌شده تعیین می‌شود.	
$O_{TE,S} = \frac{O_{TR,S}}{W_{O_2}} \quad (10)$	
در آن:	
$O_{TE,S}$	بازده استاندارد انتقال اکسیژن (%/.)؛
W_{O_2}	نرخ جرمی جریان اکسیژن (kg/h) است که لازم است با استفاده از فرمول‌های (۱۱) تا (۱۳) محاسبه شود.
$W_{O_2} = a \cdot q \quad (11)$	

$$a = y \cdot \frac{P_b \cdot M}{8,314 \cdot T_b} \quad (۱۲)$$

$$q = \frac{q_b \cdot P_b \cdot T_{b0}}{T_b \cdot P_{b0}} \quad (۱۳)$$

که در آن:

a چگالی گاز در شرایط استاندارد (kg/m^3)؛

y یا سهم اکسیژن (برای هوا، ۰/۲۱).

P_b مقدار فشار مطلق گاز که به وسیله فشارسنج در محل آزمون نمایش داده می شود (kPa)؛

M جرم مولی گاز (g/mol)؛

T_b دمای گاز در محل آزمون که طی آزمون با دماسنج مطلق اندازه گیری شده و ($T_b = T + 273 \text{ (K)}$) است؛

T دمای گاز در محل طی آزمون ($^{\circ}\text{C}$)؛

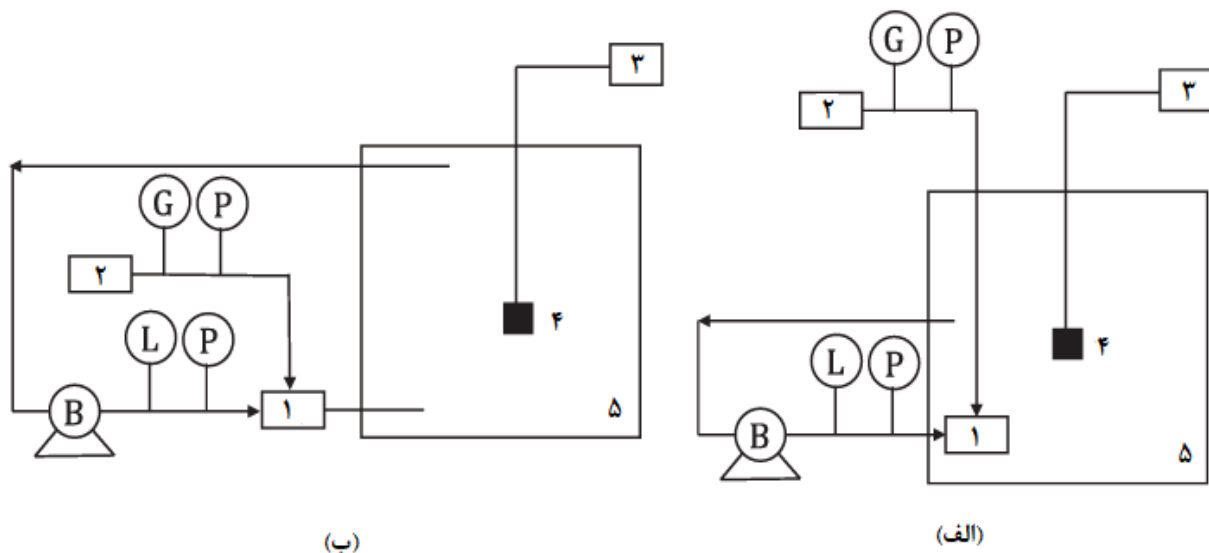
q در حالت استاندارد، دبی حجمی اکسیژن که وارد محفظه مکش افزاره جت حباب ریز می شود (m^3/h)؛

T_{b0} دمای مطلق 273 K .

۵ سامانه آزمون برای آزمون عملکرد هوادهی

۱-۵ سامانه آزمون

سامانه آزمون در شکل ۱ نشان داده شده است.



راهنما:

B	پمپ	۱	افزاره جت حباب ریز
L	شارش سنج (دبی سنج) آب	۲	اکسیژن
G	شارش سنج اکسیژن	۳	پایشگر اکسیژن محلول
P	پیمانه فشار	۴	حسگر اکسیژن محلول
		۵	مخزن

شکل ۱: پیکربندی سامانه آزمون

یک نمونه از سامانه آزمون در شکل الف-۱ در پیوست «الف» نشان داده شده است.

۲-۵ وسایل مورد نیاز برای آزمون

لازم است حجم مخزن آزمون براساس بسامد چرخه تعیین شود و بزرگتر از 10 h^{-1} باشد. بنابراین، لازم است حجم آب آزمون (m^3) بزرگتر از $1/10$ (یک‌دهم) دبی گردش آب (m^3/h) باشد. عمق آب نیز لازم است کمتر از 1 m باشد.

لازم است دقت حسگر اکسیژن محلول $\pm 0.5\%$ باشد و زمان پاسخ آن کمتر از $0.2 \text{ K}_{L,a}$ باشد.

لازم است میزان اکسیژن محلول با روش حسگر نوری اندازه‌گیری شود و محدوده بالای اندازه‌گیری برای هوادهی با اکسیژن، معادل 500% سطح اشباع هوا باشد.

لازم است حجم گاز اکسیژن به‌وسیله یک شارش‌سنج گاز با دقت $\pm 2\%$ اندازه‌گیری شود.

لازم است دمای آب به‌وسیله یک دماسنج با دقت $\pm 0.1\%$ اندازه‌گیری شود.

لازم است دبی گاز به‌وسیله یک شارش‌سنج جرمی اندازه‌گیری شود. اگر از شارش‌سنج حجمی استفاده شود، لازم است مقدار آن به دبی جرمی تبدیل شود.

۳-۵ آماده‌سازی برای آزمون

حسگرهای اکسیژن محلول را در موقعیت مشخص نصب و غلظت اکسیژن محلول را آزمون کنید. اگر اختلاف متوسط غلظت در موقعیت‌های مختلف کمتر از ۱٪ باشد، مرکز مخزن را برای انجام آنالیز انتخاب کنید. پایشگر اکسیژن محلول را ۰/۵ h قبل روشن کنید تا گرم شود و حسگر اکسیژن محلول را واسنجی کنید. افزاره را تا سطح مورد نیاز با آب پر کنید. آب مورد استفاده در آزمون باید فراخالص^۱ یا آب یون‌زدایی‌شده^۲ باشد. لازم است دمای آب آزمون برابر با $23.5 \pm 3.5^{\circ}\text{C}$ باشد.

۴-۵ آزمون مقدماتی برای تأیید تکرارپذیری

لازم است آزمایش‌ها سه بار تکرار^۳ شوند و مقدار متوسط ضریب انتقال جرم اکسیژن $K_{L,a}$ گزارش شود.

۶ رویه‌های آزمون

۱-۶ سدیم سولفیت

در روش آشکارسازی، روش اندازه‌گیری حالت غیرپایدار به کار گرفته می‌شود و آب در مخزن هوادهی نمی‌تواند وارد یا خارج شود. کبالت کلرید به عنوان واکنش‌یار (کاتالیست) و سدیم سولفیت به عنوان عامل اکسیژن‌زدا استفاده می‌شود.

از سدیم سولفیت تجاری بدون آب (Na_2SO_3) استفاده می‌شود که به وسیله اکسیژن محلول در آب اکسید شده و به سدیم سولفات (Na_2SO_4) تبدیل می‌شود. برای پیوند ۱ kg اکسیژن، ۸ kg از Na_2SO_3 مورد نیاز است. حلالیت Na_2SO_3 در دمای $T = 10^{\circ}\text{C}$ تقریباً 195 kg/m^3 است. لازم است محلول Na_2SO_3 با حل کردن ۱۰۰ kg از Na_2SO_3 در 1.0 m^3 آب تهیه شود.

هنگامی که استفاده از مواد شیمیایی محدود باشد، غلظت اکسیژن محلول را نیز می‌توان با دمش (حباب‌دهی) گاز نیتروژن تا زمانی که غلظت اکسیژن محلول کمتر از 0.5 mg/l برسد، کاهش داد. همزمان، مجموع جامدات محلول لازم است کمتر از 600 mg/l باشد.

۲-۶ واکنش‌یار کبالت

کبالت به شکل یک نمک کبالت، مثلاً $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ، به عنوان یک واکنش‌یار برای تسریع اکسایش سدیم سولفیت اضافه می‌شود. غلظت کبالت در آب لازم است 0.5 g/m^3 باشد، اما در بسیاری از موارد یک دهم این غلظت کافی است.

^۱ ultra-pure^۲ deionized^۳ triplicate

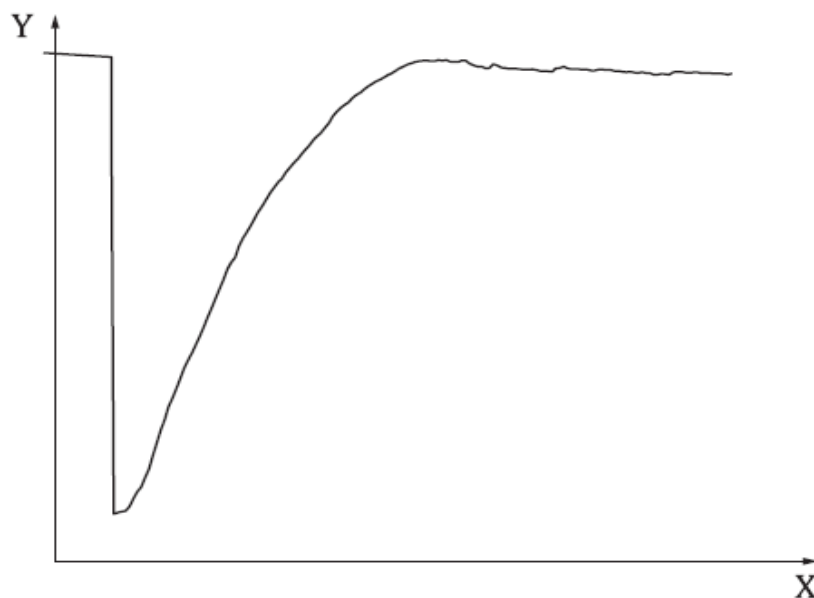
اگر چندین آزمون قرار است در یک مخزن هوادهی با آب مشابه انجام شود، نمک کبالت فقط یک بار لازم است اضافه شود. لازم است ابتدا مقدار مورد نیاز کبالت حل شده در آب گرم اضافه شود تا در زمان افزودن سدیم سولفیت، به طور یکنواخت در کل مخزن توزیع شده باشد.

۳-۶ بهره‌برداری از مولد حباب ریز

پمپ را روشن و دبی گاز را تا مقدار مشخص تنظیم کنید.

۴-۶ ثبت غلظت اکسیژن محلول

طی مرحله هوادهی در زمان‌های مختلف، غلظت اکسیژن محلول در آب را ثبت کنید و در هر نقطه آزمون رابطه بین غلظت اکسیژن محلول با گذشت زمان را به دست آورید. سیگنال‌های حاصل از تمام کاوندهای اکسیژن محلول باید به صورت پیوسته در هنگام انجام اندازه‌گیری‌های جذب، ثبت شوند. منحنی‌های افزایشی اکسیژن محلول باید بدون پیش‌اجرا^۱ به مدت حداقل $5/K_{L,a}$ (برحسب دقیقه) ثبت شوند (به شکل ۲ مراجعه شود). در هر صورت، محاسبه مقدار $K_{L,a}$ باید براساس حداقل ۳۰ مقدار هم‌فاصله از C انجام گیرد.



راهنما:

۱ زمان (min)

۲ غلظت اکسیژن محلول (mg/l)

شکل ۲: تغییرات اکسیژن محلول طی آزمون

۵-۶ اندازه‌گیری توان ورودی

در هر آزمون، لازم است توان ورودی حداقل دو بار، در شروع و در پایان آزمون، اندازه‌گیری شود. دبی جرمی گاز و مایع و همچنین فشار گاز را آزمون کنید (منبع اکسیژن را تحت فشار قرار دهید). در افزاره‌های جت

¹ pre-run

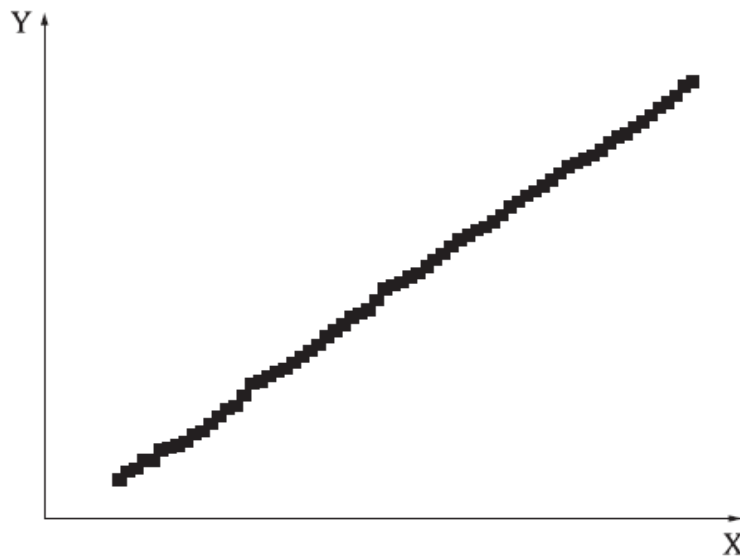
مختلف، میزان توان مصرفی می‌تواند متفاوت باشد؛ برخی از افزاره‌های جت به اندازه‌گیری‌ها در دفعات بیشتر یا به‌کارگیری یک دستگاه ثبت‌کننده توان نیاز دارند. خوانش‌های مجزا باید در پروتکل آزمون ثبت شوند. در هر مورد، برای محاسبه بازده هوادهی از مقدار میانگین استفاده می‌شود.

۷ روش توضیح نتایج آزمون

برای تمامی شرایط تجربی ارزشیابی‌شده، غلظت اکسیژن محلول در رآکتور تا زمانی که به حالت پایدار برسد، به‌طور پیوسته پایش و ثبت می‌شود (به شکل ۲ مراجعه شود). مقادیر غلظت اکسیژن محلول در بازه ۲۰٪ تا ۸۰٪ غلظت اشباع (C_{∞}^*) برای محاسبه $K_{L,a}$ استفاده می‌شوند. سپس مقدار $K_{L,a}$ با به‌کارگیری وایزش^۱ غیرخطی و استفاده از فرمول (۱)، با کمک نرم‌افزار پردازش داده‌ها و به‌دست آوردن بهترین برازش میان مقادیر اندازه‌گیری‌شده اکسیژن محلول و زمان محاسبه می‌شود (به شکل‌های الف-۲ و الف-۳ مراجعه شود). آزمایش‌ها سه بار تکرار و مقدار متوسط $K_{L,a}$ گزارش می‌شود.

سپس نرخ استاندارد انتقال اکسیژن، بازده استاندارد هوادهی و بازده استاندارد انتقال اکسیژن به‌ترتیب با استفاده از فرمول‌های (۴)، (۹) و (۱۰) محاسبه می‌شوند.

یک نمونه از مقادیر بازده استاندارد هوادهی در دبی‌های مختلف گاز در شکل الف-۵ نشان داده شده است.



راهنما:

$$\begin{array}{ll} X & \text{زمان (min)} \\ Y & -\ln\left(\frac{C_{\infty}^* - C}{C_{\infty}^* - C_0}\right) \end{array}$$

شکل ۳: رابطه میان غلظت و Y و زمان

¹ regression

۸ گزارش آزمون

گزارش می‌تواند به صورت جدول تهیه شود.

اطلاعات زیر باید در آن ذکر شود:

الف) ارجاع به این استاندارد، (شامل سال انتشار آن)؛

ب) تاریخ آزمون؛

پ) نام نمونه شامل سازنده و شماره مدل؛

ت) شرح مشخصات مخزن و نحوه نصب افزاره جت که با نقشه‌ها نشان داده شده است. به گونه‌ای که در آن

نحوه چیدمان نقاط اندازه‌گیری و نقاط تزریق مواد شیمیایی نمایش داده شده باشد؛

ث) فشار در جلوی محل تزریق افزاره جت و دبی مایع، شرحی از چگونگی اندازه‌گیری توان ورودی، فشار خط تزریق گاز و دبی جرمی جریان گاز، شرحی از چگونگی تعیین دبی هوا و نیز توصیفی از نسبت دبی اکسیژن به دبی آب؛

ج) با استفاده از Na_2SO_3 ، شرح کیفیت آب با جزئیات محتوای نمک در آغاز و پایان هر آزمون، کل جامدات حل شده (TDS)^۱ در آغاز آزمون، شرحی از تعیین نیاز به کبالت و شرحی از انحلال، دُزبندی^۲ و اختلاط سدیم سولفیت و جرم سدیم سولفیت اضافه شده برای هر آزمون یا جزئیات متناظر با عاری سازی اکسیژن با استفاده از نیتروژن؛

چ) دمای آب و هوا و همچنین فشار هوای محیط در آغاز و پایان هر آزمون؛

ح) حجم آب، سطح آب ساکن در آغاز و پایان هر آزمون؛

خ) جدول مقادیر اکسیژن محلول بر حسب زمان برای هر آزمون؛

د) محاسبه مقادیر $K_{L,a}$ برای هر آزمون و محاسبه مقدار میانگین برای تمام نقاط اندازه‌گیری هر آزمون، با وزن دهی بر اساس حجم مرتبط در صورت نیاز؛

ذ) نتیجه (نتایج)، شامل ارجاع به بندی که نحوه محاسبه را توضیح می‌دهد؛

ر) هرگونه انحراف از رویه و هرگونه خصیصه غیرمعمول مشاهده شده؛

ز) واحد اندازه‌گیری و مسئول، کارکنان، تاریخ و مهر.

^۱ total dissolved solid

^۲ dosing

پیوست «الف» (آگاهی دهنده)

نمونه‌ای از روش آزمون برای ارزشیابی عملکرد هوادهی با اکسیژن خالص در افزاره جت حباب‌ریز

الف-۱ کلیات

این پیوست یک روش آزمون برای ارزشیابی عملکرد هوادهی اکسیژن افزاره جت حباب ریز و نتایج آن را بر پارامترهای مختلف تشریح می‌کند.

الف-۲ آماده‌سازی

الف-۲-۱ سامانه آزمون

سامانه آزمون در شکل الف-۱ نشان داده شده است.

دبی آب طی تولید حباب ریز $10 \text{ m}^3/\text{h}$ نگه داشته می‌شود، درحالی‌که دبی گاز به ترتیب روی 3 l/min ، 5 l/min ، 10 l/min و 15 l/min تنظیم می‌شود. حجم مخزن 1 m^3 است.



شکل الف-۱: پیکربندی سامانه آزمون

الف-۲-۲ آماده‌سازی برای آزمون

سنجشگر اکسیژن محلول را در مرکز مخزن مورد استفاده برای آنالیز، نصب کنید.

سنجشگر اکسیژن محلول را نیم ساعت قبل از شروع آزمون روشن کنید تا گرم شود و آن را واسنجی کنید.

افزاره را تا سطح موردنیاز با آب پر کنید.

آب مورد استفاده برای آزمون، آب لوله‌کشی و دمای آن بین 20°C تا 25°C است.

الف-۳ رویه‌های آزمون

الف-۳-۱ بهره‌برداری از مولد حباب ریز

پمپ را روشن کنید و دبی گاز را روی یک مقدار مشخص تنظیم کنید. نسبت گاز به آب لازم است تقریباً ۱/۸ (به ۸ باشد).

الف-۳-۲ ثبت غلظت اکسیژن محلول

روش آشکارسازی، از روش اندازه‌گیری حالت غیرپایدار^۱ استفاده می‌کند و آب در مخزن هوادهی نمی‌تواند وارد یا خارج شود. کبالت کلرید به‌عنوان واکنش‌یار (غلظت کبالت در آب 0.5 g/m^3) و سدیم سولفیت به‌عنوان عامل اکسیژن‌زدا استفاده می‌شود.

مقادیر غلظت اکسیژن محلول در بازه ۲۰٪ تا ۸۰٪ غلظت اشباع (C_{∞}^*) برای محاسبه استفاده می‌شود. مقدار $K_{L,a}$ سپس با انجام یک وایازش غیرخطی با استفاده از فرمول نشان داده‌شده در شکل الف-۳ و به کمک افزونه نرم‌افزاری SOLVER در مایکروسافت اکسل^۲، با به‌دست آوردن بهترین برازش بین اکسیژن محلول اندازه‌گیری و محاسبه می‌شود.

الف-۳-۳ اندازه‌گیری توان ورودی

توان ورودی را در آغاز و پایان آزمون اندازه‌گیری کنید. دبی جرمی گاز و مایع و همچنین فشار گاز را آزمون کنید (منبع اکسیژن را تحت فشار قرار دهید). در هر مورد، مقدار میانگین برای محاسبه بازده هوادهی استفاده می‌شود.

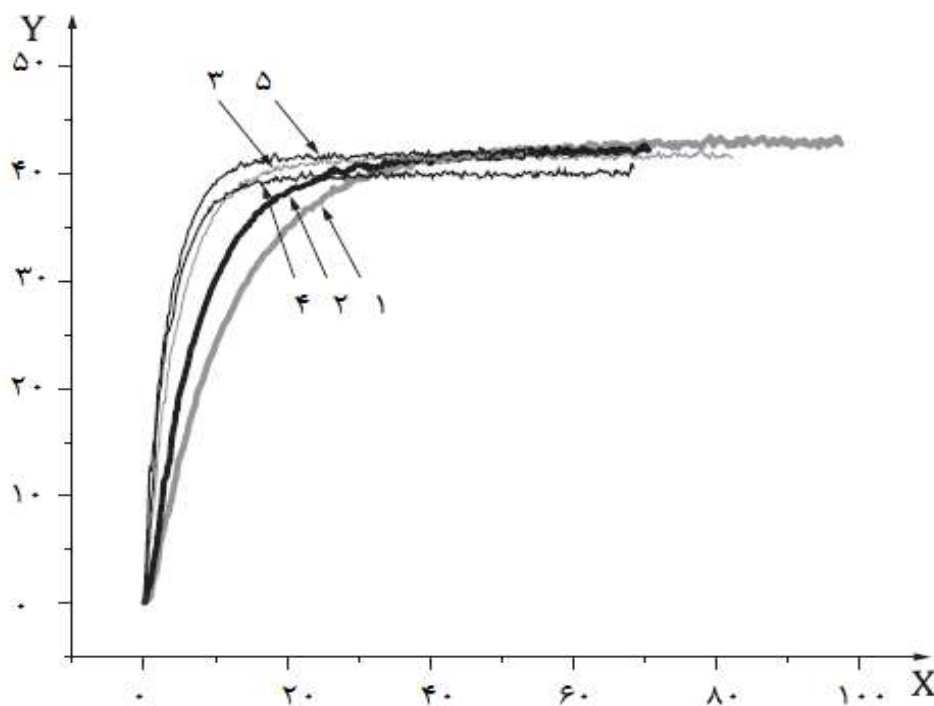
الف-۴ نتایج آزمون

الف-۴-۱ غلظت اکسیژن محلول

غلظت اکسیژن محلول برحسب زمان مطابق با شکل الف-۲ نشان داده شده است.

^۱ non-steady-state

^۲ Microsoft Excel یک علامت تجاری از محصولی است که توسط شرکت Microsoft عرضه می‌شود. این اطلاعات صرفاً به‌منظور سهولت استفاده‌کنندگان از این استاندارد ارائه شده و به معنای تأیید محصول نامبرده توسط سازمان ملی استاندارد نیست. محصولات معادل نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند، مشروط بر اینکه نشان داده شود نتایج مشابهی را ارائه می‌دهند.



راهنما:

X زمان (min)
Y غلظت اکسیژن محلول (mg/l)

۱ (l/min) ۳

۲ (l/min) ۵

۳ (l/min) ۱۰

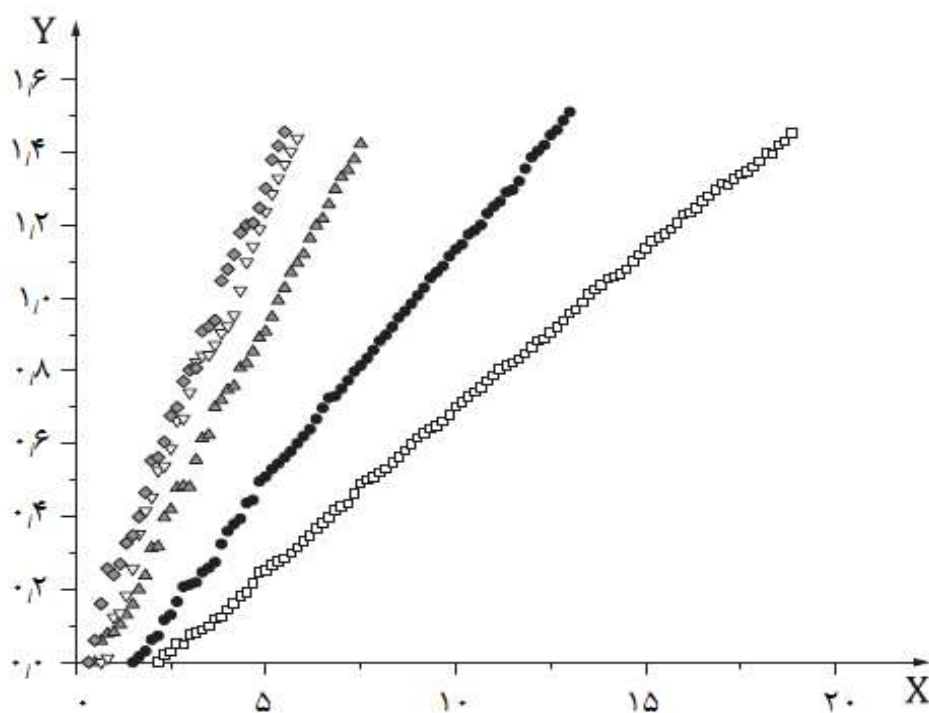
۴ (l/min) ۱۵

۵ (l/min) ۲۰

نکته: دبی آب ۱۰ m³/h است.

شکل الف-۲: غلظت اکسیژن محلول بر حسب زمان

فرایند تحلیل داده‌ها برای به‌دست آوردن $k_{L,a}$ در شکل الف-۳ نشان داده شده است.



راهنما:

X	زمان (min)
Y	$-\ln\left(\frac{C_{\infty}^* - C}{C_{\infty}^* - C_0}\right)$
$\square$	۳ (l/min)
$\bullet$	۵ (l/min)
$\blacktriangle$	۱۰ (l/min)
∇	۱۵ (l/min)
$\blacklozenge$	۲۰ (l/min)

نکته: دبی آب $10 \text{ m}^3/\text{h}$ است.

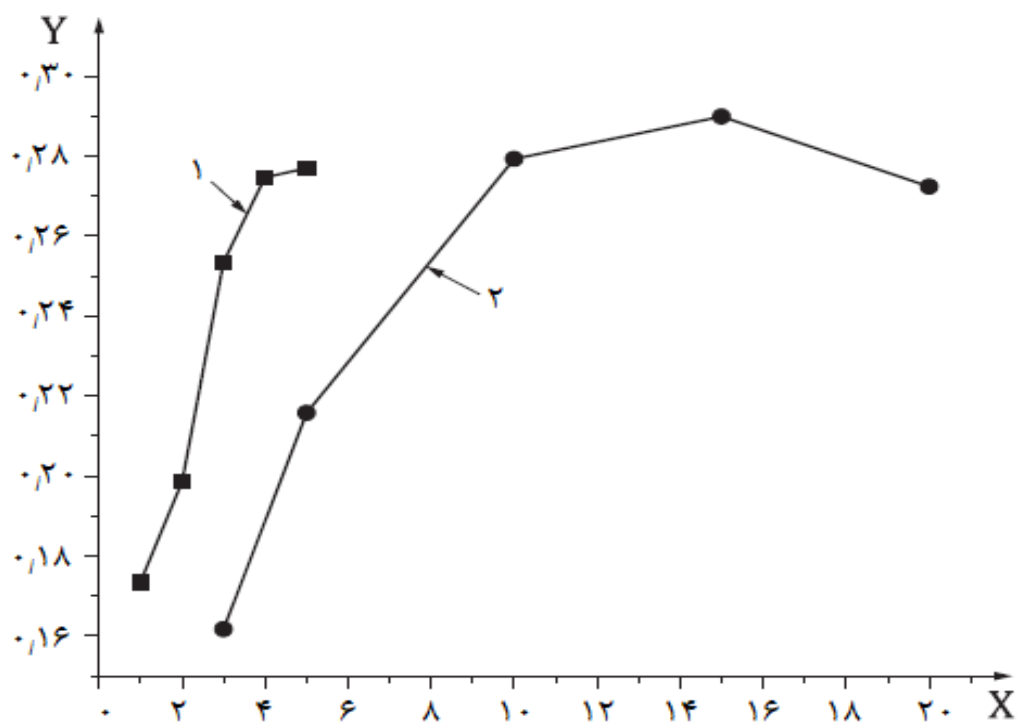
شکل الف-۳: تحلیل داده‌های اکسیژن محلول برای محاسبه ضریب انتقال جرم اکسیژن

الف-۴-۲ مقادیر ضریب انتقال جرم اکسیژن ($k_{L,a}$) با دبی‌های مختلف گاز

افزاره جت حباب ریز با دبی آب $3 \text{ m}^3/\text{h}$ نیز مورد ارزشیابی قرار گرفته است.

مقادیر ضریب انتقال جرم اکسیژن ($k_{L,a}$) در شارهای^۱ مختلف گاز در شکل الف-۴ نشان داده شده است.

^۱ fluxes



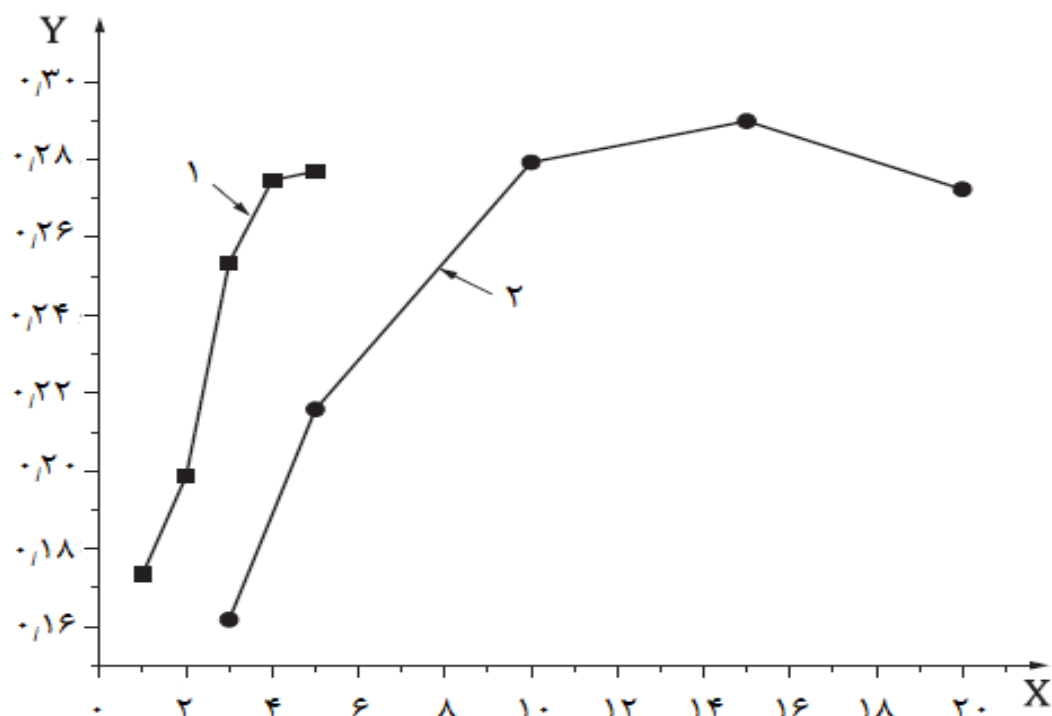
راهنما:

X	دبی گاز (l/min)
Y	مقادیر $K_{L,a}$ (min^{-1})
۱	۳ m^3/h
۲	۱۰ m^3/h

شکل الف-۴: مقادیر ضریب انتقال جرم اکسیژن در شارهای مختلف گاز

الف-۴-۳ مقادیر بازده استاندارد هوادهی (SAE) با شارهای مختلف گاز

مقادیر بازده استاندارد هوادهی در دبی‌های مختلف گاز در شکل الف-۵ نشان داده شده است.

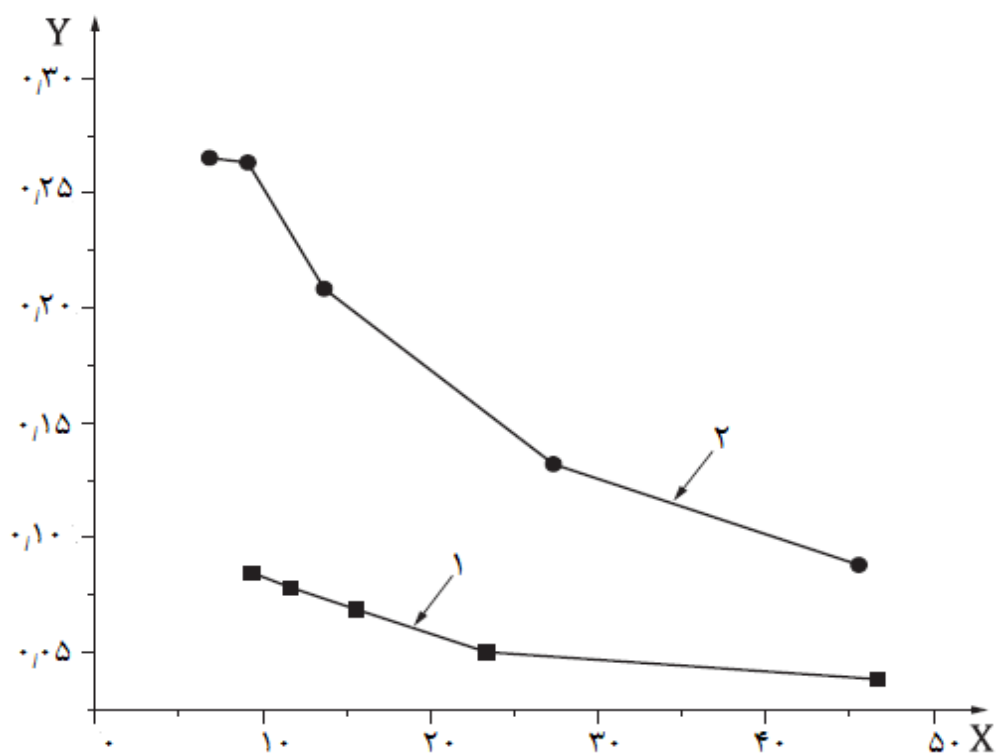


راهنما:

X	دبی گاز (l/min)
Y	مقادیر بازده استاندارد هوادهی (kg/kwh)
۱	۳ m ³ /h
۲	۱۰ m ³ /h

شکل الف-۵: مقادیر بازده استاندارد هوادهی در دبی‌های مختلف گاز

الف-۴-۴ مقادیر ضریب انتقال جرم اکسیژن ($k_{L,a}$) با نسبت‌های مختلف آب به گاز
مقادیر $k_{L,a}$ در نسبت‌های مختلف آب به گاز در شکل الف-۶ نشان داده شده است.



راهنما:

X نسبت دبی آب به گاز

Y مقادیر $K_{L,a}$ (min^{-1})

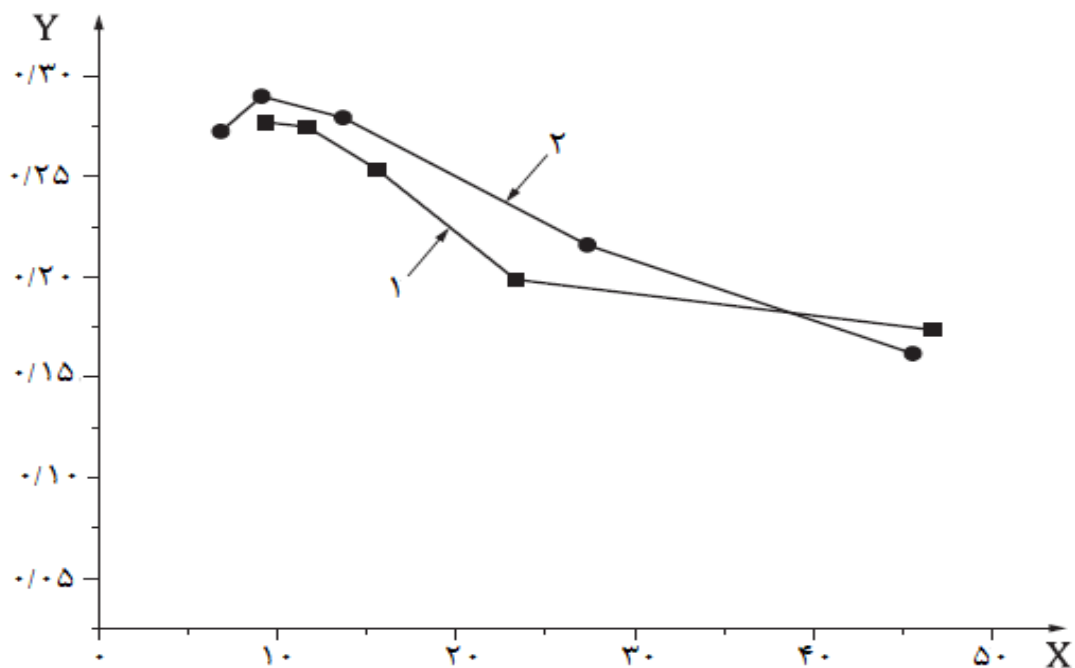
۱ $3 \text{ m}^3/\text{h}$

۲ $10 \text{ m}^3/\text{h}$

شکل الف-۶: مقادیر ضریب انتقال جرم اکسیژن ($k_{L,a}$) در نسبت‌های مختلف آب به گاز

الف-۴-۵ مقادیر بازده استاندارد هوادهی (SAE) با نسبت‌های مختلف آب به گاز

مقادیر بازده استاندارد هوادهی در نسبت‌های مختلف آب به گاز که در شکل الف-۷ نشان داده شده است.



راهنما:

X	نسبت دبی آب به گاز
Y	مقادیر بازده استاندارد هوادهی (kg/kwh)
۱	۳ m ³ /h
۲	۱۰ m ³ /h

شکل الف-۷: مقادیر بازدهی استاندارد هوادهی در نسبت‌های مختلف آب به گاز

کتابنامه

- [1] ISO 17289, *Water quality - Determination of dissolved oxygen - Optical sensor method*
- [2] ISO HJ/T 263-2006, *Specifications for environmental protection product Jet aerator*
- [3] CJ/T 475-2015, *Measurement of oxygen mass transfer in clean water for fine bubble diffuser*
- [4] ASCE 2-84, *A Standard for the Measurement of Oxygen Transfer in Clean Water*, ISBN 0-87262-430-7
- [5] Pan Li, Hideki Tsuge. Ozone Transfer in a New Gas-induced Contactor with Microbubbles. J. Chem.Eng. Jap. 39(11), 1213-1220, 2006
- [6] Sebastian Weber, Sebastian Schaepe, Stephan Freyer, Michael-Helmut Kopf, Christian Dietzsch. Impact of Nozzle Operation on Mass Transfer in Jet Aerated Loop Reactors. Characterization and Comparison to an Aerated Stirred Tank Reactor. Engineering in Life Sciences, 18 (8), 579-588, 2018

فهرست الفبایی واژه‌های به‌کاررفته به‌ترتیب الفبای فارسی

معادل انگلیسی	نشانی	واژه فارسی
fine bubble jet device	۳-۳	افزاره جت حباب ریز
pure oxygen	۲-۳	اکسیژن خالص
		اکسیژن‌رسانی ← هوادهی
DO	۵-۳	اکسیژن محلول
		بازاک ← بازده استاندارد انتقال اکسیژن
standard oxygen transfer efficiency	۶-۳	بازده استاندارد انتقال اکسیژن
standard aeration efficiency	۸-۳	بازده استاندارد هوادهی
cycle frequency	۹-۳	بسامد چرخه
oxygen mass transfer coefficient	۴-۳	ضریب انتقال جرم اکسیژن
standard oxygen transfer rate	۷-۳	نرخ استاندارد انتقال اکسیژن
aeration	۱-۳	هوادهی

فهرست الفبایی واژه‌های به‌کاررفته به‌ترتیب الفبای انگلیسی

معادل انگلیسی	نشانی	واژه فارسی
aeration	۱-۳	هوادهی
oxygenation → aeration		
cycle frequency	۹-۳	بسامد چرخه
DO	۵-۳	اکسیژن محلول
fine bubble jet device	۳-۳	افزاره جت حباب ریز
$K_{L,a} \rightarrow$ oxygen mass transfer coefficient		
oxygen mass transfer coefficient	۴-۳	ضریب انتقال جرم اکسیژن
pure oxygen	۲-۳	اکسیژن خالص
standard aeration efficiency	۸-۳	بازده استاندارد هوادهی
standard oxygen transfer rate	۷-۳	نرخ استاندارد انتقال اکسیژن
standard oxygen transfer efficiency	۶-۳	بازده استاندارد انتقال اکسیژن
SAE → standard aeration efficiency		
SOTE → standard oxygen transfer efficiency		
SOTR → standard oxygen transfer rate		