



سازمان ملی استاندارد ایران

Iran National Standards Organization

استاندارد ملی ایران ۱-۲۳۸۲۳: سال ۱۴۰۴

INSO 23823-1:2025

(ISO/TS 4240-1:2023, IDT)

فناوری نانو - فناوری حباب ریز - کاربردهای محیط زیستی -  
قسمت ۱: روش بازرسی با دستگاه شمارشگر  
برخط ذرات در واحد شناورسازی با هوای محلول (DAF)

**Nanotechnologies - Fine bubble technology - Environmental applications - Part 1: Inspection method using online particle counter in dissolved air flotation (DAF) plant**

ICS: 07.030



---

استاندارد ملی ایران ۱-۲۳۸۲۳: سال ۱۴۰۴، فناوری نانو - فناوری حباب ریز - کاربردهای محیط زیستی -  
قسمت ۱: روش بازرسی شمارشگر برخط ذرات در واحد شناورسازی با هوای محلول (DAF)

**INSO 23823-1:2025, Nanotechnologies -Fine bubble technology - Environmental applications  
- Part 1: Inspection method using online particle counter in dissolved air flotation (DAF)  
plant**

---

**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](mailto:standard@inso.gov.ir)

[www.inso.gov.ir](http://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 کالاها 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 به‌موجب 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.

به‌موجب این قانون، سازمان ملی استاندارد ایران به‌عنوان یک دستگاه اجرایی مستقل زیر نظر مستقیم رئیس‌جمهور اداره می‌شود و مرجع رسمی حاکمیتی در زمینه سیاست‌گذاری، حسن نظارت و هدایت نظام استاندارد و اطمینان‌بخشی 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 به‌عنوان 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 به‌منظور جلوگیری از ورود کالاهای نامرغوب و حمایت از مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان داخلی، کنترل کیفیت کالاهای صادراتی به‌منظور 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 به‌منظور نظرسنجی برای مراجع ذی‌نفع و ذی‌ربط ارسال و در کارگروه ملی تصویب استاندارد، مطرح و در صورت تأیید به‌عنوان 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](http://www.nano.ir) مراجعه شود.

## کمیسیون تدوین استاندارد

## سمت و محل اشتغال

## مشارکت کنندگان

## رئیس:

عضو هیئت علمی و رئیس مرکز آموزش‌های تخصصی دانشگاه  
شهید بهشتی

رشیدی مهرآبادی، عبدالله  
دکتری مهندسی محیط‌زیست

## دبیر:

کارشناس سازمان ملی استاندارد ایران و دبیر کارگروه فنی فناوری  
حباب ریز INSO/ISO/TC281

شاگری، روشنگ  
کارشناسی‌ارشد فیزیک اتمی و مولکولی

## اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

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

اسلامی‌پور، الهه  
کارشناسی‌ارشد زیست‌شناسی

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

تیزقدم غازانی، مصطفی  
دکتری مهندسی محیط‌زیست

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

رستمی، اقبال  
دکتری مهندسی محیط‌زیست

رئیس هیئت مدیره شرکت راصد توسعه فناوری‌های پیشرفته و  
رئیس کارگروه فنی فناوری حباب ریز INSO/ISO/TC281

سهرابی جهرمی، ابوذر  
دکتری فناوری نانو

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

سیفی، مهوش  
کارشناسی‌ارشد مدیریت دولتی

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

صادق حسنی، صدیقه  
دکتری شیمی تجزیه - الکتروشیمی

عضو هیئت علمی بازنشسته دانشگاه شهید بهشتی

فاضلی، مجتبی  
دکتری مهندسی محیط‌زیست

## فهرست مندرجات

| صفحه | عنوان                                                                                                         |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| و    | پیشگفتار                                                                                                      |
| ز    | مقدمه                                                                                                         |
| ۱    | ۱ هدف و دامنه کاربرد                                                                                          |
| ۱    | ۲ مراجع الزامی                                                                                                |
| ۱    | ۳ اصطلاحات و تعاریف                                                                                           |
| ۲    | ۴ اصول                                                                                                        |
| ۲    | ۵ روش اندازه‌گیری BVC                                                                                         |
| ۲    | ۱-۵ تجهیزات آزمون                                                                                             |
| ۴    | ۲-۵ رویه                                                                                                      |
| ۴    | ۶ روش اندازه‌گیری عمق بستر حباب                                                                               |
| ۵    | ۱-۶ تجهیزات آزمون                                                                                             |
| ۶    | ۲-۶ رویه                                                                                                      |
| ۷    | ۷ مزایا و محدودیت‌ها                                                                                          |
| ۷    | ۱-۷ مزایا                                                                                                     |
| ۸    | ۲-۷ محدودیت‌ها                                                                                                |
| ۹    | پیوست «الف» (آگاهی‌دهنده) اندازه‌گیری اندازه و توزیع اندازه حباب با روش شمارش ذرات (PCM)                      |
| ۱۱   | پیوست «ب» (آگاهی‌دهنده) فاصله بین سطح آب تا عمق بستر حباب                                                     |
| ۱۲   | پیوست «پ» (آگاهی‌دهنده) مقایسه نتایج عمق بستر حباب به دست آمده با چشم غیر مسلح و با استفاده از روش شمارش ذرات |
| ۱۴   | پیوست «ت» (آگاهی‌دهنده) اندازه‌گیری عمق بستر حباب در فرایند DAF در مقیاس کامل                                 |
| ۱۶   | پیوست «ث» (آگاهی‌دهنده) تغییر عمق بستر حباب در شرایط عملیاتی مختلف                                            |
| ۱۷   | پیوست «ج» (آگاهی‌دهنده) سهم ذرات و حباب‌ها در اندازه‌گیری شمارش ذرات                                          |
| ۱۹   | پیوست «چ» (آگاهی‌دهنده) تأثیر طول لوله نمونه‌برداری                                                           |
| ۲۰   | کتابنامه                                                                                                      |
| ۲۱   | فهرست الفبایی واژه‌های به کاررفته در این استاندارد به ترتیب الفبای فارسی                                      |
| ۲۱   | فهرست الفبایی واژه‌های به کاررفته در این استاندارد به ترتیب الفبای انگلیسی                                    |

## پیشگفتار

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

استانداردهای ملی ایران براساس استاندارد ملی ایران ۵ و روش اجرایی تدوین استانداردهای ملی ایران تدوین می‌شوند. 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 تصحیح‌نامه منتشر می‌شود.

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/TS 4240-1:2023, *Nanotechnologies – Fine bubble technology – Environmental applications – Part 1: Inspection method using online particle counter in dissolved air flotation (DAF) plant*

## مقدمه

فرایند شناورسازی با هوای محلول (DAF)<sup>۱</sup> به‌طور گسترده در تصفیه‌خانه‌های آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این فرایند از میکرو حباب‌ها برای حذف ذرات از طریق شناور کردن آن‌ها بر سطح استفاده می‌شود. برای بررسی عملیات واحد DAF عوامل گوناگونی وجود دارند. بسیاری از این عوامل را می‌توان در مقیاس میدانی در واحد DAF اندازه‌گیری کرد. با این حال، اندازه‌گیری برخی از عوامل در شرایط میدانی بسیار دشوار است.

یکی از این عوامل، غلظت حجمی حباب (BVC)<sup>۲</sup> است. غلظت حجمی حباب معمولاً به‌عنوان شاخصی از تعداد حباب‌ها به کار می‌رود. به‌طور کلی، BVC با روش جابه‌جایی آب ارزشیابی می‌شود. این روش، حجم حباب‌ها را معادل حجم آب جابه‌جا شده اندازه‌گیری می‌کند. روش جابه‌جایی آب، روشی مستقیم برای دستیابی دقیق به غلظت حجمی حباب آب حبابدار است. با این حال، این روش متناسب با ظرفیت مولد حباب، به تجهیزات بزرگی نیاز دارد. بنابراین، اندازه‌گیری مستقیم غلظت حجمی حباب از واحد DAF تقریباً غیرممکن است. در حال حاضر، انجام آزمون‌های آزمایشگاهی و پایلوتی<sup>۳</sup> با همان افشانک در واحد DAF و پیش‌بینی براساس نتایج این آزمون‌ها به‌طور گسترده انجام می‌شوند.

اندازه‌گیری عمق بستر حباب نیز در واحد DAF دشوار است. در رآکتورهای DAF در مقیاس آزمایشگاهی و پایلوتی که با دیواره شفاف ساخته شده‌اند، مشاهده تشکیل فصل مشترک بستر حباب در قسمت میانی رآکتور با چشم غیرمسلح<sup>۴</sup> آسان است. اگرچه نمی‌توان این فصل مشترک را با یک خط مستقیم منفرد نشان داد، یک ناحیه مرزی حباب وجود دارد که در بالای آن توده‌هایی از حباب‌ها دیده می‌شوند و در پایین فصل مشترک تقریباً هیچ حبابی مشاهده نمی‌شود. مرکز این ناحیه مرزی حباب به‌عنوان بستر حباب تعریف می‌شود. همان‌طور که در شکل الف-۱ نشان داده شده است، عمق بستر حباب برابر با فاصله بین سطح آب تا فصل مشترک بستر حباب است. با این حال، در یک واحد DAF در مقیاس کامل به دلیل محدودیت‌های ساختاری، تعیین محل فصل مشترک بستر حباب با چشم غیرمسلح به آسانی امکان‌پذیر نیست.

بنابراین، این استاندارد روش‌های اندازه‌گیری غیرمستقیم BVC و عمق بستر حباب را مشخص می‌کند. این رویکرد می‌تواند برای بازرسی‌های در محل<sup>۵</sup> واحد DAF مفید باشد.

<sup>۱</sup> dissolved air flotation

<sup>۲</sup> bubble volume concentration

<sup>۳</sup> pilot

<sup>۴</sup> naked eye

<sup>۵</sup> on-site

## فناوری نانو - فناوری حباب ریز - کاربردهای محیط زیستی - قسمت ۱: روش بازرسی با دستگاه شمارشگر برخط ذرات در واحد شناورسازی با هوای محلول (DAF)

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

این استاندارد، روش‌های اندازه‌گیری غلظت حجمی حباب و عمق بستر حباب را با استفاده از شمارشگر برخط ذرات برای بررسی عملکرد فرایند DAF در تصفیه‌خانه، مشخص می‌کند.

روش آزمون غلظت حجمی حباب با اندازه‌گیری توزیع اندازه حباب در ناحیه تماس مخزن DAF و محاسبه آن با استفاده از فرمول انجام می‌شود. همچنین، عمق بستر حباب با اندازه‌گیری تعداد حباب‌ها و ذرات براساس عمق، در پنج نقطه از ناحیه جداسازی مخزن DAF ارزشیابی می‌شود.

این استاندارد مزایا و محدودیت‌های استفاده از شمارشگر برخط ذرات در تصفیه‌خانه را ارائه می‌دهد.

### 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 20480-4, *Fine bubble technology - General principles for usage and measurement of fine bubbles - Part 4: Terminology related to microbubble beds*

### ۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استاندارد ISO 20480-4، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌رود.<sup>۱</sup>

۱-۳

#### غلظت حجمی حباب

**bubble volume concentration**  
**BVC**

شاخص حجم حباب‌های موجود در واحد حجم آب

<sup>۱</sup> اصطلاحات و تعاریف به کاررفته در استانداردهای IEC و ISO در وبگاه‌های زیر قابل دسترس است.

<http://www.iso.org/obp>

<http://www.electropedia.org/>

نکته ۱ مدخل: این مقدار با استفاده از نسبت حجم کل حباب‌ها به حجم آب حبابدار تولیدشده در یک بازه زمانی مشخص، محاسبه و به % بیان می‌شود.

[منبع: استاندارد ISO 20480-4:2021، زیربند 3.16، تغییر یافته: کلمه «شاخص» از اصطلاح حذف شده است.]

## ۲-۳

### روش شمارش ذرات

#### particle counting method

روش غیرمستقیم برای شمارش تعداد حباب‌ها و توزیع اندازه آن‌ها در یک اندازه‌گیری

نکته ۱ مدخل: روش شمارش ذرات (PCM)<sup>۱</sup> می‌تواند روند تغییرات شاخص را ردیابی کند.

نکته ۲ مدخل: گستره موثر شمارشگر ذرات برای اندازه‌گیری اندازه حباب، از  $1\ \mu\text{m}$  تا  $100\ \mu\text{m}$  است.

نکته ۳ مدخل: دبی (آهنگ شارش) نمونه‌برداری معمولاً تنظیم و تعداد حباب‌ها در حجم نمونه مورد استفاده شمارش می‌شود.

## ۳-۳

### توزیع اندازه حباب و ذرات

#### bubble and particle size distribution

گستره (کمینه تا بیشینه) اندازه حباب و ذرات در یک اندازه‌گیری

## ۴ اصول

شمارشگر ذرات ابزار دقیقی است که به‌طور گسترده برای تعیین توزیع اندازه حباب (به پیوست «الف» مراجعه شود) استفاده می‌شود (ردیف‌های [1] تا [4] کتابنامه). براساس این مشخصات، می‌توان از شمارشگر ذرات برای ارزشیابی غلظت حجمی حباب در واحد DAF استفاده کرد. اگر چه نتیجه این روش دقیق نیست، می‌توان از آن برای نمایش روند تغییرات غلظت حجمی حباب براساس زمان، از طریق پایش لحظه‌ای<sup>۲</sup> در واحد DAF استفاده کرد.

## ۵ روش اندازه‌گیری BVC

### ۱-۵ تجهیزات آزمون

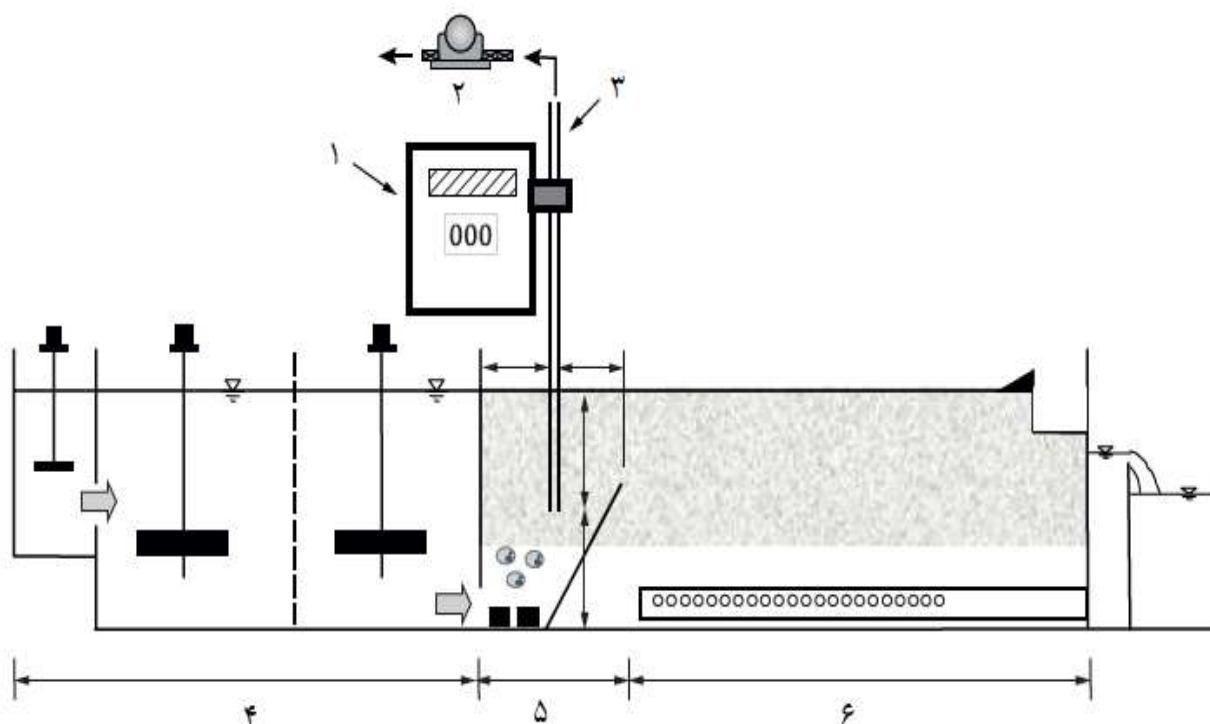
این استاندارد با هدف ارزشیابی غلظت حجمی حباب در واحد DAF تهیه شده است. از این رو، لازم است تجهیزات آزمون به‌راحتی قابل جابه‌جایی باشد. شکل ۱ نمونه‌ای از تجهیزات ارزشیابی BVC را نشان می‌دهد. فهرست تجهیزات نیز در ادامه ارائه شده است.

الف) شمارشگر برخط ذرات:

<sup>۱</sup> particle counting method

<sup>۲</sup> real-time

- گستره آشکارسازی: تقریباً از  $10 \mu m$  تا  $100 \mu m$ ؛
  - پشتیبانی از حالت برخط؛
  - قابلیت حمل.
- (ب) پمپ اندازه‌گیر که می‌تواند در دبی تقریباً  $100 \text{ l/min}$  تا  $200 \text{ l/min}$  کار کند.
- (پ) لوله با طول مناسب (تأثیر طول لوله نمونه‌برداری در پیوست «چ» نشان داده شده است).



راهنما:

- |   |                            |
|---|----------------------------|
| ۱ | شمارشگر برخط ذرات          |
| ۲ | پمپ                        |
| ۳ | لوله                       |
| ۴ | حوض لخته‌سازی <sup>۱</sup> |
| ۵ | ناحیه تماس                 |
| ۶ | ناحیه جداسازی              |

شکل ۱: طرحواره تجهیزات ارزشیابی BVC

<sup>1</sup> flocculation basin

## ۲-۵ رویه

الف) برای به حداقل رساندن خطاهای ناشی از ورود ذرات به مخزن DAF، شیر ورودی مخزن DAF بسته می‌شود تا از ورود آب تصفیه‌نشده جلوگیری شود. در این وضعیت، مولد حباب برای حذف ذرات باقیمانده در مخزن DAF و ایجاد حالتی پایدار، راه‌اندازی می‌شود.

ب) لازم است تجهیزات آزمون نزدیک منطقه تماس برای ارزشیابی BVC نصب شوند. نمونه از نقطه میانی منطقه تماس، بین ورودی و خروجی، برداشته می‌شود. عمق نمونه‌برداری در نصف عمق منطقه تماس است. لوله نمونه‌برداری در فاصله ۱ m از دیواره جانبی نصب می‌شود تا از تداخل دیواره جلوگیری شود. دبی پمپ اندازه‌گیر باید تقریباً از ۱۰۰ l/min تا ۲۰۰ l/min تنظیم شود تا تأثیر آن بر بستر حباب DAF به حداقل برسد.

پ) توزیع اندازه حباب با استفاده از شمارشگر برخط ذرات اندازه‌گیری می‌شود. زمان اندازه‌گیری باید  $(1 \pm 5)$  دقیقه باشد تا داده‌های پایداری به‌دست آید.

ت) نمودار توزیع اندازه حباب باید براساس نتایج اندازه‌گیری ترسیم شود. محور افقی نشان‌دهنده گستره اندازه حباب و محور عمودی نشان‌دهنده تعداد حباب‌ها خواهد بود. نمونه‌ای از این نمودار در شکل الف-۱ نشان داده شده است.

ث) با استفاده از فرمول (۱)، BVC را محاسبه کنید.

$$BVC = \frac{\sum(n_{i^*} \times i^*)}{Q} \times 100 \quad (1)$$

که در آن:

BVC غلظت حجمی حباب برحسب % (درصد)؛

$i^*$  حجم حباب با اندازه میانه در یک گستره مشخص برحسب ml؛

$n_{i^*}$  تعداد حباب‌هایی در یک گستره مشخص که حجم حباب با اندازه میانه آن‌ها برابر با  $i^*$  است؛

Q حجم آب نمونه‌برداری‌شده از ناحیه تماس برحسب ml.

## ۶ روش اندازه‌گیری عمق بستر حباب

در آزمون آزمایشگاهی و پایلوتی، عمق بستر حباب را می‌توان با چشم غیرمسلح از طریق ساخت مخازن DAF با دیواره شفاف اندازه‌گیری کرد. با این حال، این کار در یک واحد DAF با مقیاس واقعی امکان‌پذیر نیست. این استاندارد، روش اندازه‌گیری عمق بستر حباب را براساس روش شمارش ذرات ارائه می‌دهد. درستی روش شمارش ذرات در پیوست «پ»، از طریق آزمایش‌های انجام‌شده در واحد پایلوت، تأیید شده است.

## ۱-۶ تجهیزات آزمون

این استاندارد با هدف اندازه‌گیری عمق بستر حباب در تصفیه‌خانه تدوین شده است. از این رو، لازم است تجهیزات آزمون به راحتی قابل جابه‌جایی باشد. شکل ۲ نمونه‌ای از تجهیزات متداول برای اندازه‌گیری عمق بستر حباب را نشان می‌دهد. فهرست تجهیزات در ادامه ارائه شده است.

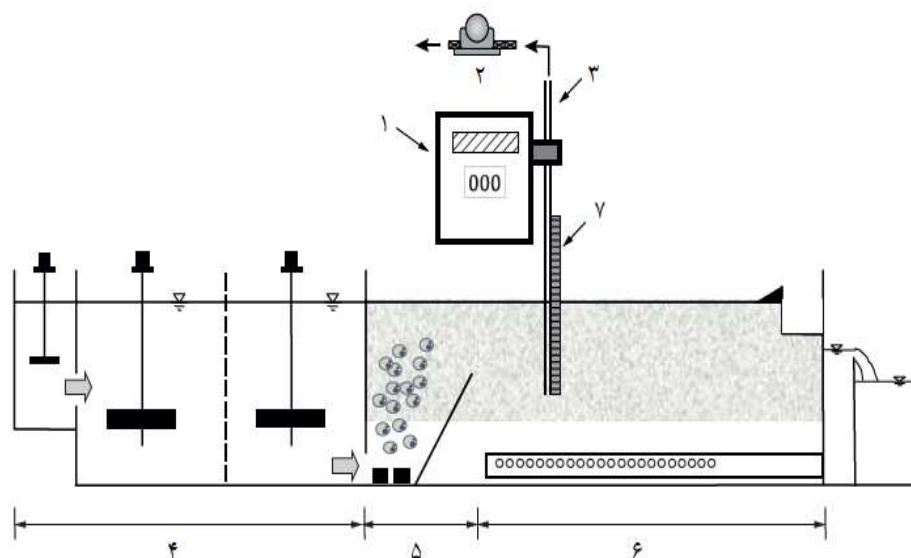
الف) شمارشگر برخط ذرات:

- گستره آشکارسازی: تقریباً  $10\ \mu\text{m}$  تا  $100\ \mu\text{m}$ ؛
- پشتیبانی از حالت برخط؛
- قابلیت حمل.

ب) پمپ اندازه‌گیر که می‌تواند با دبی  $100\ \text{l/min}$  به صورت پایدار کار کند.

پ) لوله‌ای با طول مناسب از کف مخزن DAF تا شمارشگر برخط ذرات.

ت) میله<sup>۱</sup> مدرج با طول مناسب برای نشانه‌گذاری موقعیت شلنگ.



راهنما:

- |   |                   |
|---|-------------------|
| ۱ | شمارشگر برخط ذرات |
| ۲ | پمپ               |
| ۳ | لوله              |
| ۴ | حوضچه لخته‌سازی   |
| ۵ | ناحیه تماس        |
| ۶ | ناحیه جداسازی     |
| ۷ | میله مدرج         |

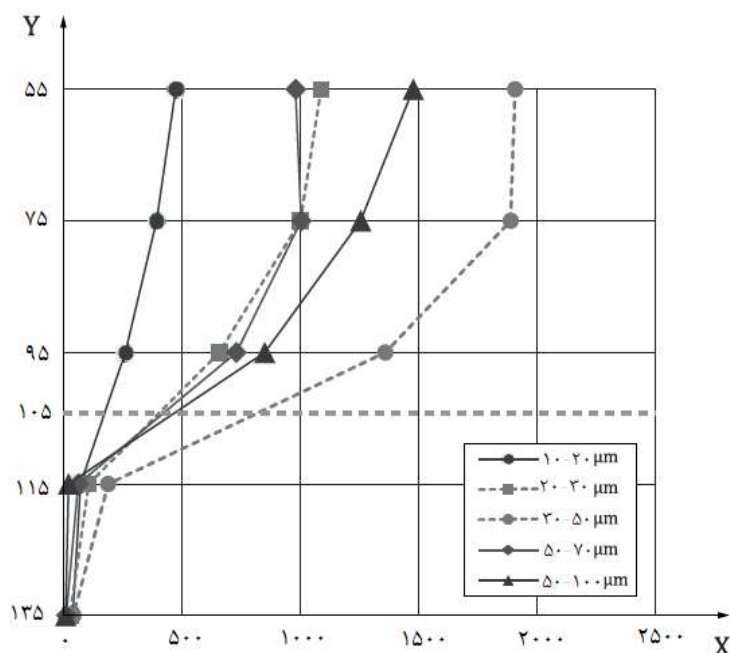
شکل ۲: طرحواره تجهیزات برای اندازه‌گیری عمق بستر حباب

<sup>۱</sup> pole

## ۲-۶ رویه

- الف) برای تعیین رخنمون (پروفایل) افقی، پنج نقطه به عنوان نقاط بررسی انتخاب می شوند. این نقاط شامل نقاط ورودی و خروجی منطقه جداسازی و سه نقطه دیگر با فواصل مساوی بین آنها هستند.
- ب) در هر نقطه، حین فرایند بهره برداری از DAF، توزیع اندازه حباب و ذرات با استفاده از شمارشگر برخط ذرات و پمپ اندازه گیر و براساس عمق بررسی می شود. برای ثابت نگه داشتن عمق بستر حباب، لازم است فشار مولد حباب و نسبت بازچرخانی<sup>۱</sup> در طول اندازه گیری ثابت بمانند (به پیوست «ث») مراجعه شود). ذرات موجود در جریان ورودی، اندازه گیری لایه حباب را تحت تأثیر قرار نمی دهند (به پیوست «ج» مراجعه شود). گستره آشکارسازی باید تقریباً از  $10\ \mu\text{m}$  تا  $100\ \mu\text{m}$  تنظیم شود. نمونه ها از فاصله  $1\ \text{m}$  از دیواره جانبی و با استفاده از لوله ای که به یک میله مدرج متصل شده است، در عمق های مختلف برداشته می شوند. در این زمان، عمق های اندازه گیری باید فواصل یکسانی داشته باشند. دبی پمپ اندازه گیر باید  $100\ \text{l/min}$  تنظیم شود تا تأثیر بر بستر حباب DAF به حداقل برسد.
- پ) براساس نتایج بررسی در هر نقطه، عمق بستر حباب آن نقطه تعیین می شود. پس از به دست آوردن توزیع حباب و ذرات براساس عمق، می توان تعداد حباب ها و ذرات را شناسایی نمود. براساس نتایج اندازه گیری، مقدار میانی بازه ای که در آن تعداد به طور ناگهانی تغییر می کند، به عنوان عمق بستر حباب در آن نقطه تعیین می شود. شکل ۳ یک نمونه از نحوه مکان یابی فصل مشترک بستر حباب را نشان می دهد. برای شرایط عملیاتی ذکر شده در بالا و فهرست شده در شکل ۳، تعداد ذرات و حباب های شمارش شده در گستره عمقی  $95\ \text{cm}$  تا  $135\ \text{cm}$  به سرعت کاهش یافت. براساس این نتیجه، عمق بستر حباب  $10.5 \pm 0.5\ \text{cm}$  تعیین شد. جزئیات آزمایش در پیوست «ت» نشان داده شده است.

<sup>1</sup> recycle ratio



راهنما:

X غلظت عددی (100 ml / تعداد شمارش شده)

Y عمق از سطح (cm)

نکته: شرایط عملیاتی: فشار،  $415 \pm 0.5$  kPa؛ نسبت بازچرخانی، ۶۶٪؛ نرخ بارگذاری منطقه جداسازی،  $12 \text{ mh}^{-1}$ ؛ دمای آب،  $7.5 \pm 0.1$  °C.

شکل ۳: تعداد حباب و ذرات شمارش شده در عمق‌های مختلف در موقعیت نمونه‌برداری C

پس از ارزشیابی عمق بستر حباب در پنج نقطه، کمترین مقدار را به عنوان عمق بستر حباب واحد DAF مورد بررسی تعیین کنید.

## ۷ مزایا و محدودیت‌ها

### ۱-۷ مزایا

روش شمارشگر ذرات می‌تواند برای تعیین تعداد حباب و ذرات شمارش شده و توزیع اندازه آن‌ها در انواع جریان‌های مایع به کار رود. نمونه‌های کاربردی از اندازه‌گیری اندازه حباب، غلظت و عمق بستر حباب در تأسیسات واقعی تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب نیز وجود دارد.

برای هر دو مقیاس کوچک و مقیاس بزرگ، روش شمارش ذرات ابزاری دقیق برای اندازه‌گیری غلظت حجمی حباب و عمق بستر حباب در فرایند DAF است. در آزمایشگاه، روش شمارش ذرات در هر دو واحد پایلوت و واحد DAF در مقیاس کامل با ارائه داده‌های بسیار دقیق و معنادار، عملکرد بسیار مطلوبی<sup>۱</sup> از خود نشان داده است.

<sup>۱</sup> well-performed

افزاره اندازه‌گیری، ساده و کار با آن آسان است و زمان اندازه‌گیری آن کوتاه‌تر از سایر روش‌ها است. علاوه بر این، سلول اندازه‌گیری شمارشگر ذرات بسیار بزرگ ( $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ ) است که تمیز کردن آن را آسان کرده و در برابر گرفتگی مقاوم می‌سازد.

## ۲-۷ محدودیت‌ها

روش شمارش ذرات فقط برای تحلیل روند و مقایسه BVC یا عمق بستر حباب کاربرد خواهد داشت، زیرا نتایج آن بسته به نرخ نمونه‌برداری و گستره اندازه متفاوت است. این روش برای حباب‌های بسیار ریز (کوچکتر از  $700\text{ nm}$ ) مناسب نیست. در برخی موارد، ادغام حباب‌ها می‌تواند رخ دهد که بر نتایج اندازه‌گیری تأثیر می‌گذارد. لازم است لوله مکش طول مناسبی داشته باشد تا احتمال وقوع ادغام حباب‌ها به حداقل برسد.

### پیوست «الف» (آگاهی‌دهنده)

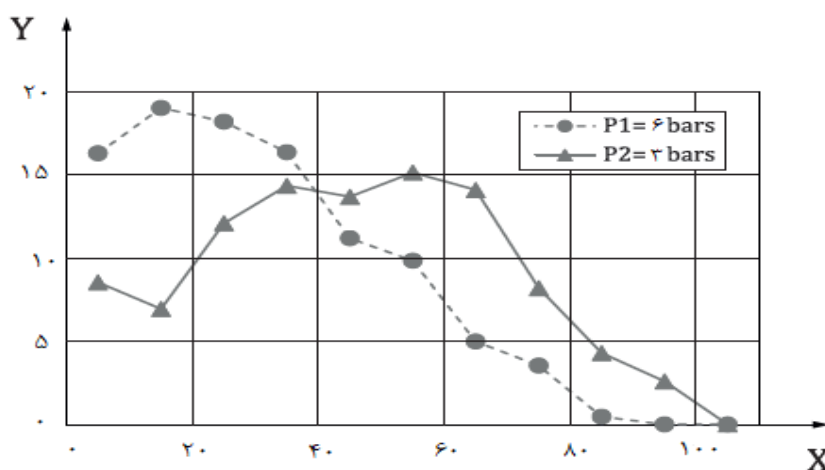
#### اندازه‌گیری اندازه و توزیع اندازه حباب با روش شمارش ذرات (PCM)

در فشار اشباع بالاتر، اندازه حباب کاهش یافت؛ در فشار بحرانی تقریباً ۳/۵ bar، متوسط اندازه حباب ثابت بود (ردیف‌های [1] و [2] کتابنامه). متوسط اندازه حباب در فشار ۶ bar به ۳۰  $\mu\text{m}$  و در فشار ۳ bar به ۴۵  $\mu\text{m}$  رسید، درحالی‌که نرخ حباب‌دهی در ۳۰٪ ثابت نگه داشته شده بود (به جدول الف-۱ و ردیف [7] کتابنامه مراجعه شود).

جدول الف-۱: متوسط اندازه حباب و گستره اندازه آن بسته به فشارهای مختلف

| فشار (atm) | گستره اندازه ( $\mu\text{m}$ ) | اندازه متوسط ( $\mu\text{m}$ ) | منابع                              |
|------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| ۶          | ۱۰ تا ۱۱۰                      | ۳۰                             | ردیف [7] کتابنامه مراجعه شود       |
|            | ۸۵ تا ۱۵                       | ۲۸                             | ردیف [1] و [8] کتابنامه مراجعه شود |
| ۳          | ۱۰ تا ۱۱۰                      | ۴۵                             | ردیف [7] کتابنامه مراجعه شود       |
|            | ۸۵ تا ۱۵                       | ۴۱                             | ردیف [1] کتابنامه مراجعه شود       |

متوسط اندازه حباب‌ها در این آزمون اندکی بزرگتر از مقادیر گزارش‌شده توسط هان<sup>۱</sup> بود (ردیف [1] کتابنامه). در این مطالعه، تقریباً ۱۵۰۰ حباب طی ۱۰ min با شمارشگر برخط ذرات اندازه‌گیری شدند. نتایج در شکل الف-۱ ارائه شده است که در آن توزیع اندازه حباب متفاوت شده بود.



راهنما:

X اندازه حباب ( $\mu\text{m}$ )

Y کسری از حباب (%)

شکل الف-۱: توزیع اندازه حباب در فشارهای مختلف (ردیف [7] کتابنامه).

<sup>1</sup> Han

شکل الف-۱ نشان می‌دهد که بیش از ۸۰٪ اندازه‌ها برای حباب‌های تولیدشده از یک اشباع‌کننده<sup>۱</sup> تحت فشار ۶ bar، در گستره‌ای از ۵ μm تا ۴۵ μm و برای حباب‌های تولیدشده از اشباع‌کننده تحت فشار ۳ bar از ۵ μm تا ۶۵ μm قرار داشتند. این تفاوت را می‌توان با احتمال ادغام یا هم‌پوشانی حباب‌ها در طول انتقال آن‌ها به لوله و حسگر شمارشگر ذرات توضیح داد. علاوه بر این، حباب‌های داخل لوله و حسگر شمارشگر ذرات نمی‌توانند فروپاشیده و حباب‌های کوچک‌تری را تشکیل دهند و با افزایش مدت زمان انتقال از رآکتور به حسگر شمارشگر ذرات، فرصت برای ادغام حباب‌ها افزایش می‌یابد.

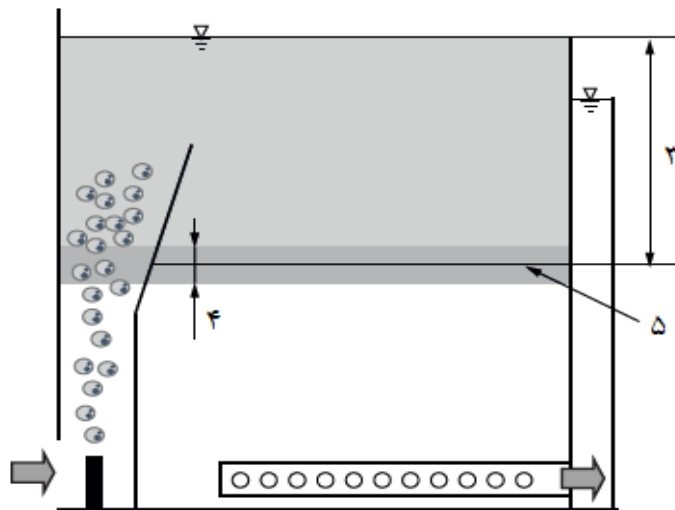
---

<sup>1</sup> saturator

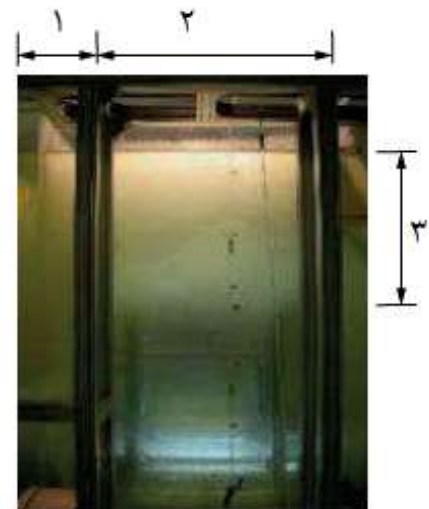
پیوست «ب»  
(آگاهی دهنده)

### فاصله بین سطح آب تا عمق بستر حباب

در یک رآکتور DAF در مقیاس پایلوت که با دیواره شفاف ساخته شده است، مشاهده تشکیل فصل مشترک بستر حباب در قسمت میانی رآکتور با چشم غیرمسلح آسان است. اگرچه نمی‌توان فصل مشترک را با یک خط مستقیم نشان داد، اما یک ناحیه مرزی حباب وجود دارد که در بالای این فصل مشترک، ابری از حباب‌ها مشاهده می‌شود و در زیر آن تقریباً هیچ حبابی دیده نمی‌شود. مرکز ناحیه مرزی حباب به عنوان فصل مشترک بستر حباب تعریف می‌شود. همان‌طور که در شکل ب-۱ نشان داده شده است، عمق بستر حباب نیز با فاصله بین سطح آب تا فصل مشترک بستر حباب تعریف می‌شود.



ب) مقطع عرضی واحد پایلوت



الف) واحد پایلوت ساخته شده از آکرلیک شفاف

راهنما:

- |   |                      |
|---|----------------------|
| ۱ | ناحیه تماس           |
| ۲ | ناحیه جداسازی        |
| ۳ | عمق بستر حباب        |
| ۴ | ناحیه مرزی بستر حباب |
| ۵ | فصل مشترک بستر حباب  |

شکل ب-۱: واحد پایلوت مورد استفاده در تعیین عمق بستر حباب

### پیوست «پ» (آگاهی دهنده)

#### مقایسه نتایج عمق بستر حباب به دست آمده با چشم غیر مسلح و با استفاده از روش شمارش ذرات

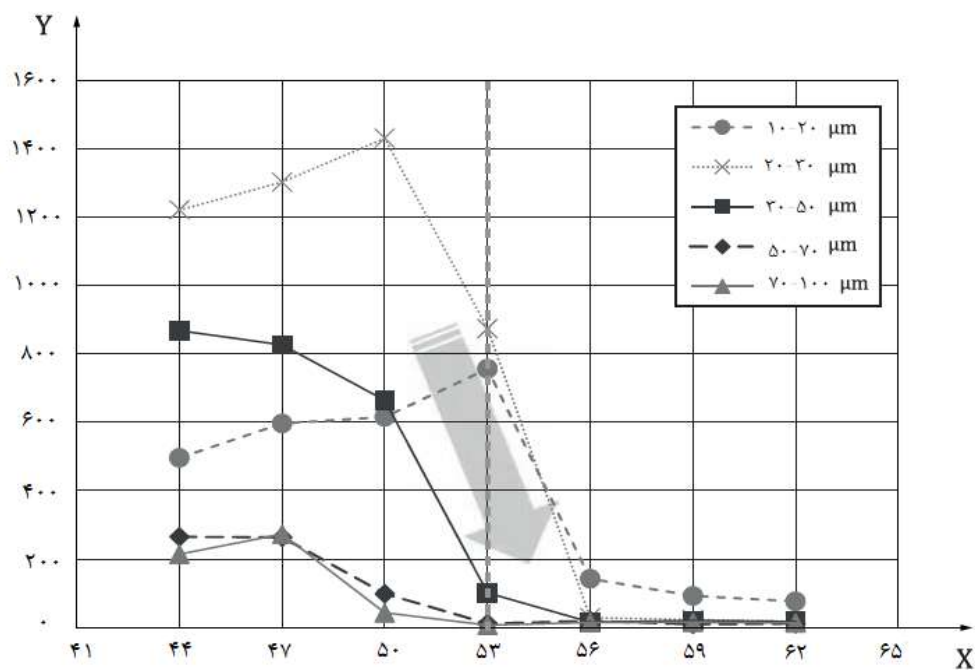
مجموعه آزمایشی در یک واحد پایلوت که از جنس اکریلیک شفاف ساخته شده است، مطابق با شکل ب-۱ انجام شد. ابعاد این واحد پایلوت ۱ m (عرض) × ۱٫۲ m (طول) × ۱٫۶ m (ارتفاع) است. در این واحد پایلوت که با دیواره اکریلیک ساخته شده، وجود و محل فصل مشترک بستر حباب به راحتی با چشم غیر مسلح قابل تشخیص است (به پیوست «ب» مراجعه شود)، بنابراین نتایج به دست آمده با روش شمارش ذرات قابل تأیید هستند.

در فرایند DAF، حباب‌ها از بخش تحتانی ناحیه تماس وارد می‌شوند. سپس، حباب‌ها و ذرات لخته شده در ناحیه تماس با یکدیگر برخورد می‌کنند و جداسازی حباب‌ها و لخته‌های متصل به حباب‌ها در ناحیه جداسازی رخ می‌دهد. جریان خروجی نیز از بخش تحتانی ناحیه جداسازی خارج می‌شود. شرایط عملیاتی مانند فشار و نسبت بازچرخانی به آسانی قابل تنظیم هستند. نمونه برداری از هر نقطه دلخواه با استفاده از یک لوله و پمپ انجام می‌شود. شمارشگر برخط ذرات در سمت مکش پمپ قرار گرفته تا از احتمال گسستگی حباب‌ها به وسیله پروانه<sup>۱</sup> پمپ جلوگیری شود.

همان‌طور که در شکل ب-۱ (شکل فرعی الف) مشاهده می‌شود، بستر حباب از سطح به سمت عمق مشخصی تشکیل می‌شود، اما تعریف یک فصل مشترک واضح دشوار است. بنابراین، می‌توان یک عمق میانی با گستره‌ای مشخص را تعریف کرد. در این مورد با استفاده از چشم غیر مسلح، عمق به مقدار  $53 \pm 3$  cm تعریف شده است. با وجود ابهاماتی که ممکن است وجود داشته باشد، این روش منطقی برای تعریف عمق بستر حباب است، زیرا عمق تقریبی اهمیت بیشتری نسبت به عمق واقعی دارد.

شکل پ-۱ توزیع تعداد ذرات شمارش شده (تلفیقی از تعداد ذرات و حباب‌های شمارش شده) را از پنج کانال نمونه برداری که اندازه نمونه‌ها بین  $10 \mu\text{m}$  تا  $100 \mu\text{m}$  است، در نزدیکی فصل مشترک و با فواصل ۳ cm، تحت شرایط نشان داده شده نمایش می‌دهد. نمودار نشان می‌دهد که تعداد ذرات شمارش شده برای اندازه  $10 \mu\text{m}$  تا  $100 \mu\text{m}$ ، از عمق ۵۰ cm تا ۵۶ cm به سرعت کاهش می‌یابد. از این نتایج، فصل مشترک بستر حباب در ۵۳ cm در نظر گرفته می‌شود که این مقدار، نقطه میانی ناحیه فصل مشترک بستر حباب، تشخیص داده شده با چشم غیر مسلح است.

<sup>۱</sup> impeller



راهنما:

X عمق (cm)

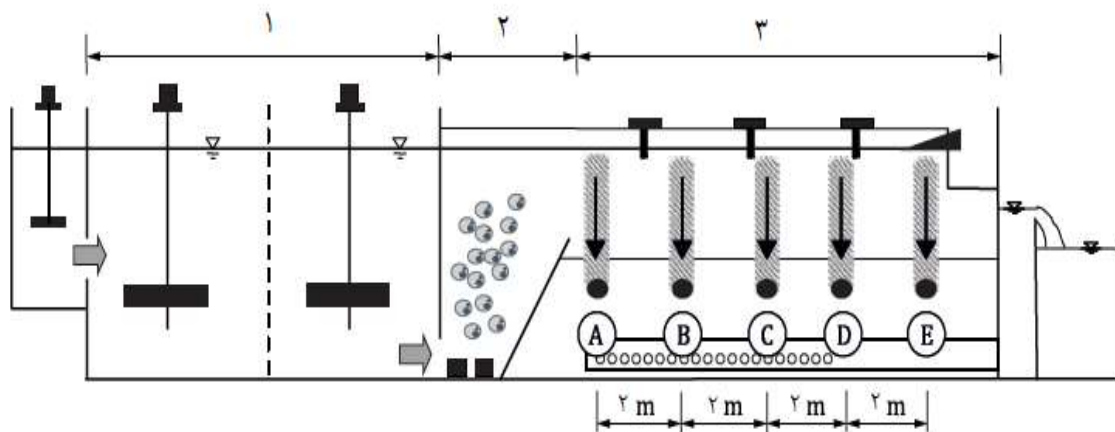
Y غلظت عددی (تعداد شمارش شده / ml)

شکل پ-۱: تعداد ذرات و حباب‌های شمارش شده بر حسب عمق در واحد پایلوت

### پیوست «ت» (آگاهی دهنده)

#### اندازه‌گیری عمق بستر حباب در فرایند DAF در مقیاس کامل

طرحواره مخزن DAF و نقاط نمونه‌برداری در شکل ت-۱ نشان داده شده است. ابعاد هر ناحیه جداسازی ۹٫۱ m (عرض) × ۹٫۶ m (طول) × ۲٫۶ m (ارتفاع) است. نمونه‌ها در ارتفاعات متعدد و در پنج موقعیت (A, B, C, D, E) که با فواصل ۲ m از یکدیگر قرار گرفته‌اند، جمع‌آوری می‌شوند.



راهنما:

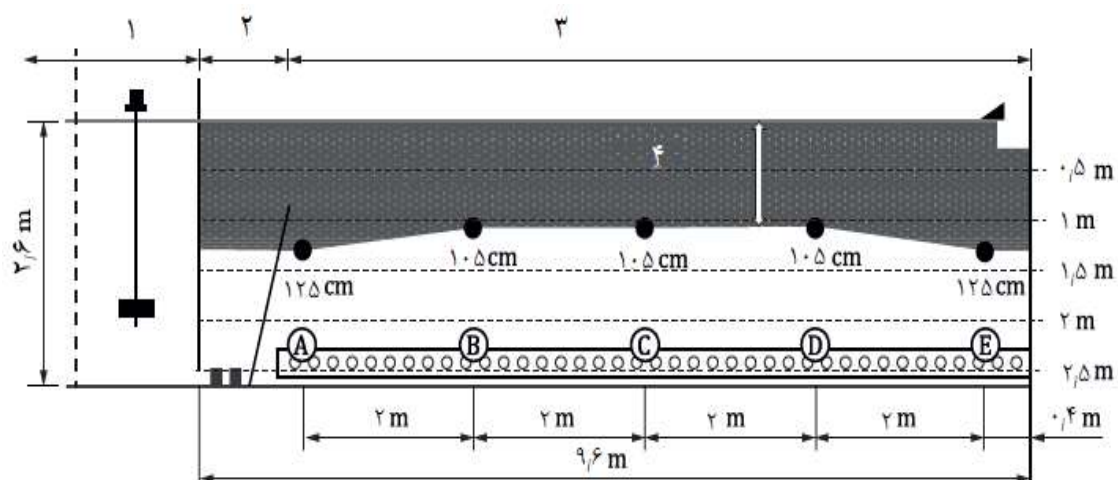
- ۱ حوضچه لخته‌سازی
- ۲ ناحیه تماس
- ۳ ناحیه جداسازی

شکل ت-۱: طرحواره و نقاط نمونه‌برداری در واحد DAF در مقیاس کامل

اندازه‌گیری عمق بستر حباب در یک واحد عملیاتی DAF انجام شد. شرایط عملیاتی استاندارد شامل فشار،  $415 \pm 0.5$  kPa؛ نسبت بازچرخانی، ۶۶٪؛ نرخ بارگذاری منطقه جداسازی،  $12 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  بود. به‌منظور تعیین رخنمون افقی بستر حباب، نمونه‌ها از پنج موقعیت نمونه‌برداری با فواصل ۲ m از یکدیگر برداشت شدند. در هر یک از این نقاط نمونه‌برداری، نمونه‌های آب در عمق‌های متعدد جمع‌آوری گردید.

شکل ۳، یک نمونه از نحوه مکان‌یابی فصل مشترک بستر حباب در موقعیت نمونه‌برداری C را نشان می‌دهد. از آنجا که فصل مشترک قابل رؤیت نبود و نمونه‌های زیادی برای آزمایش در مقیاس کامل وجود داشت، نمونه‌های عمودی با فواصل عمقی ۲۰ cm برداشت شدند. تعداد ذرات و حباب‌های شمارش‌شده در گستره عمقی ۹۵ cm تا ۱۳۵ cm به سرعت کاهش یافت. براساس این نتیجه، عمق بستر حباب  $10.5 \pm 0.5$  cm تعیین شد.

با استفاده از همین روش، توزیع افقی عمق بستر حباب، اندازه‌گیری و مطابق شکل ت-۲ ترسیم شد. تحت شرایط عملیاتی این مطالعه، عمق بستر حباب در قسمت جلو و انتهای ( $125 \pm 0.5$  cm) بیشتر از قسمت میانی ( $105 \pm 0.5$  cm) است. در این حالت، عمق بستر حباب این واحد DAF،  $105 \pm 0.5$  cm تعیین شد.



راهنما:

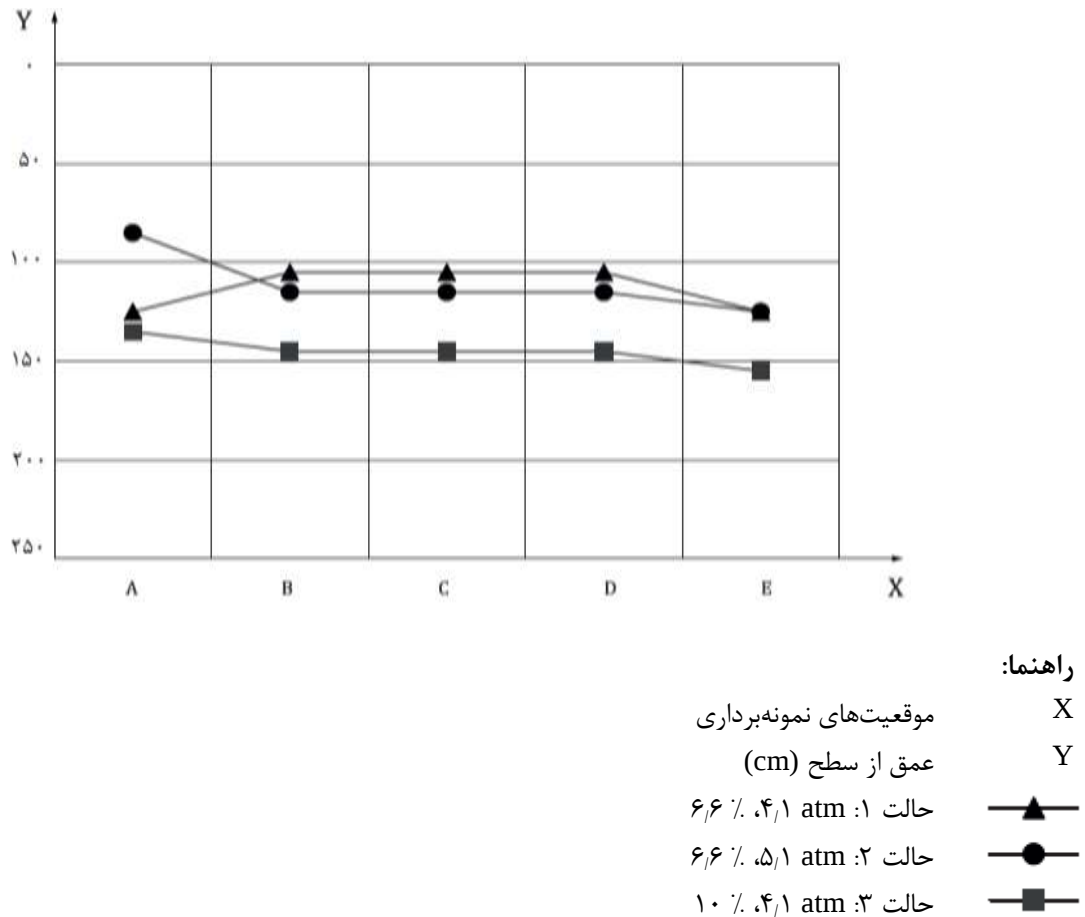
- ۱ حوضچه لخته‌سازی
- ۲ ناحیه تماس
- ۳ ناحیه جداسازی
- ۴ عمق بستر حباب ( $\approx 105$  cm)

شکل ت-۲: رخنمون افقی از عمق بستر حباب

پیوست «ث»  
(آگاهی‌دهنده)

تغییر عمق بستر حباب در شرایط عملیاتی مختلف

شکل ث-۱ عمق بستر حباب را تحت شرایط عملیاتی مختلف نشان می‌دهد. طی آزمایش، واحد DAF با نرخ بارگذاری ناحیه جداسازی  $12 \text{ mh}^{-1}$  و دمای آب  $7.5 \pm 0.1^\circ \text{C}$  کار می‌کرد. عمق بستر حباب به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر فشار و نسبت بازچرخانی است. با افزایش فشار از  $415 \text{ kPa}$  به  $517 \text{ kPa}$  (حالت ۲)، عمق بستر حباب  $10 \text{ cm}$  افزایش یافت. همچنین، با افزایش نسبت بازچرخانی از  $6.6\%$  به  $10\%$  (حالت ۳)، عمق بستر حباب  $30 \text{ cm}$  عمیق‌تر شد. عمق بستر حباب در بخش میانی ناحیه جداسازی (نقاط B، C و D) و یکنواخت است. روند نزدیک به ورودی واضح نیست. عمق بستر حباب در انتهای رآکتور رو به افزایش است که احتمالاً به دلیل اثر دیواره است.



نکته: شرایط عملیاتی: نرخ بارگذاری ناحیه جداسازی،  $12 \text{ mh}^{-1}$ ، دمای آب  $7.58^\circ \text{C}$ .

شکل ث-۱: تغییرات BVC و عمق بستر حباب تحت شرایط عملیاتی مختلف

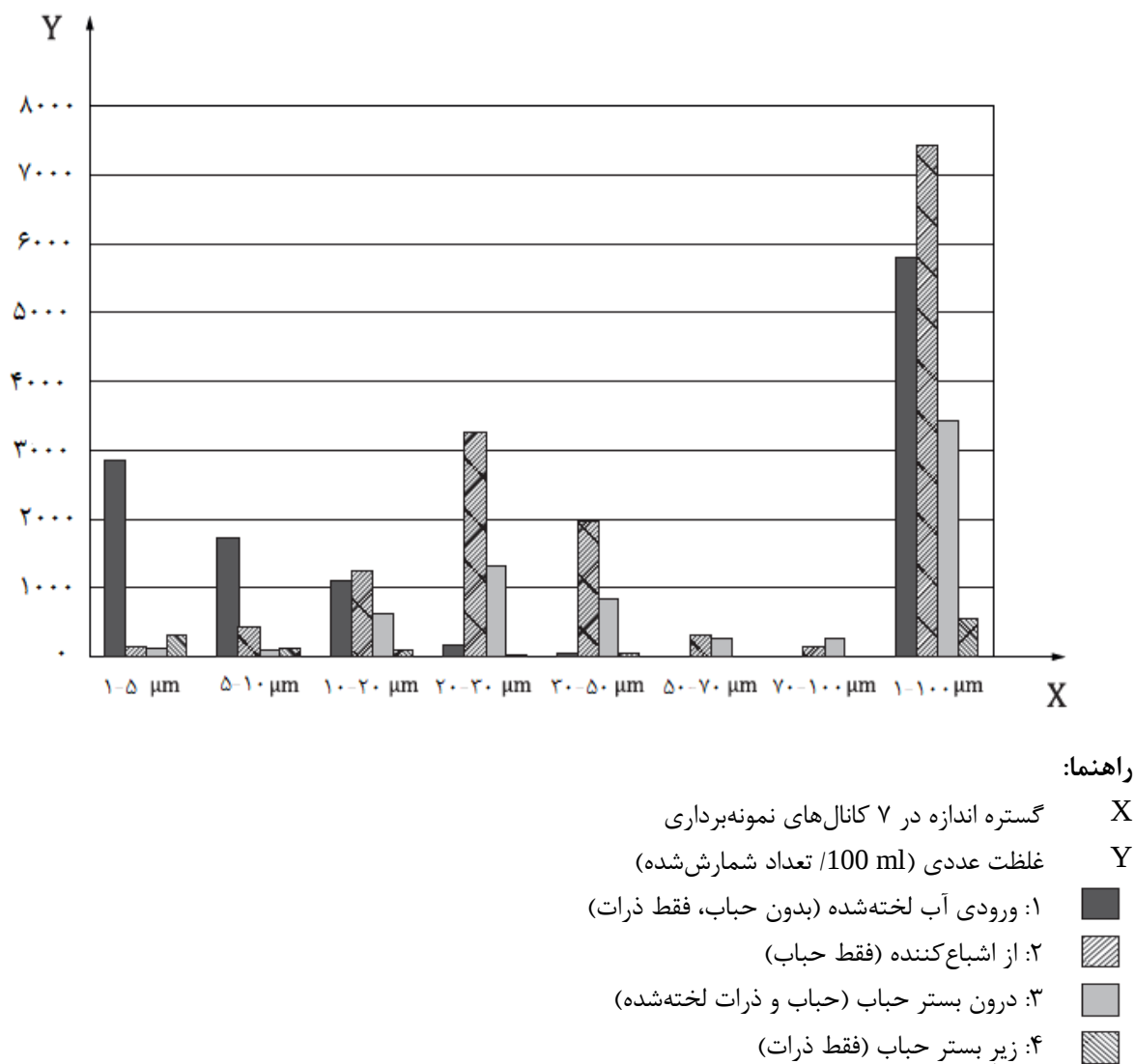
پیوست «ج»  
(آگاهی دهنده)

سهم ذرات و حباب‌ها در اندازه‌گیری شمارش ذرات

از آنجایی که شمارشگر ذرات مورد استفاده در این تحقیق براساس «اصل انسداد نور»<sup>۱</sup> عمل می‌کند، قابلیت تمایز بین تعداد ذرات و حباب‌های شمارش‌شده را ندارد. با این وجود دستیابی به یک روش ساده و آسان برای مشخصه‌یابی فصل مشترک بستر حباب ضروری است. برای این منظور در یک واحد پایلوت DAF، چهار نمونه برداشت و توزیع اندازه ذرات و حباب‌های هر نمونه اندازه‌گیری شد. نمونه ۱ برای اندازه‌گیری ذرات موجود در آب لخته‌شده که وارد بخش تحتانی ناحیه تماس می‌شود و فاقد هرگونه حباب است، استفاده شد. نمونه ۲ برای اندازه‌گیری حباب‌های آزادشده در اشباع‌کننده، جایی که تنها تعداد کمی از ذرات وجود داشتند، استفاده شد. نمونه ۳ از بخش میانی بستر حباب برداشت شد که هم شامل حباب‌ها و هم ذرات لخته‌شده بود. نمونه ۴ از نقطه‌ای بسیار پایین‌تر از فصل مشترک بستر حباب که هیچ حبابی در آن وجود نداشت، برداشت شد. توزیع اندازه ذرات و حباب‌های چهار نمونه در طی یکی از شرایط تجربی (حالت ۲) اندازه‌گیری شد و نتایج در شکل ج-۱ ارائه شده است.

تعداد ذرات شمارش‌شده در نمونه ۳ که تلفیقی از حباب‌ها و ذرات لخته‌شده است، نسبت به مجموع نمونه‌های ۱ و ۲ (آب لخته‌شده و حباب‌های اشباع‌کننده) متفاوت هستند. دلایل احتمالی این تفاوت شامل ادغام حباب‌ها، لخته‌سازی ذرات و حذف ذرات از بالای مخزن است. هنگامی که شمارش ذرات نمونه‌های ۳ و ۴ را مقایسه می‌کنیم، واضح است که یک فصل مشترک بستر حباب در عمقی بین موقعیت‌های برداشت این دو نمونه وجود دارد. بنابراین، این روش را می‌توان برای مکان‌یابی فصل مشترک بستر حباب بدون هیچ‌گونه ابهامی استفاده کرد.

<sup>1</sup> light blockage principle



شکل ج-۱: داده‌های شمارش ذرات و حباب‌ها در موقعیت‌های مختلف نمونه‌برداری در فرایند DAF (حالت ۲)

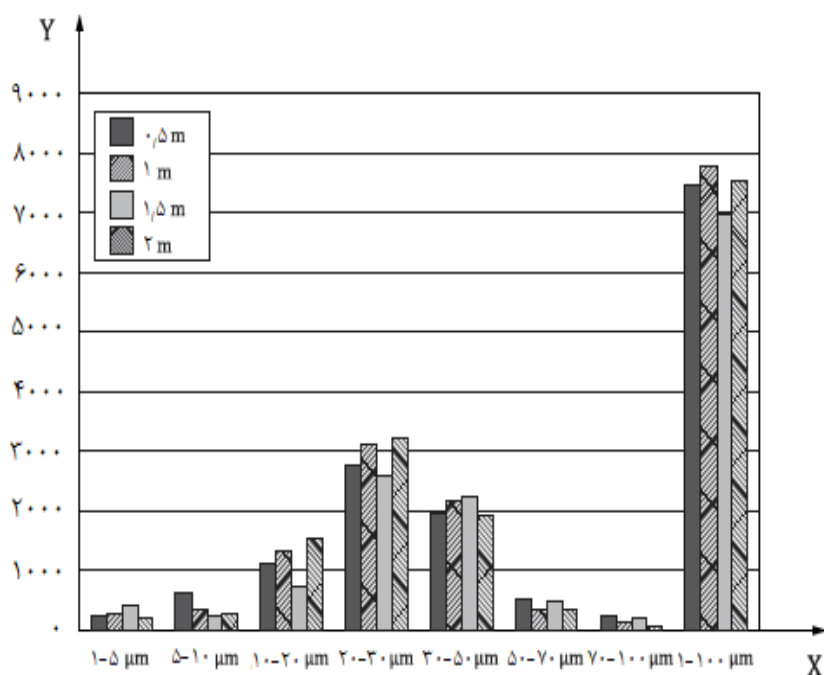
## پیوست «چ»

(آگاهی دهنده)

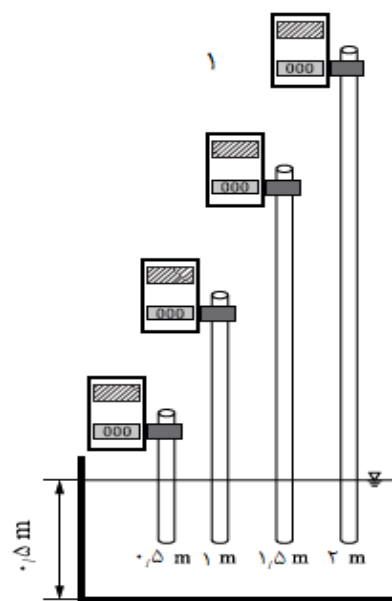
## تأثیر طول لوله نمونه برداری

برای اندازه گیری دقیق توزیع اندازه حباب ها، لازم است طول لوله های نمونه برداری تا حد امکان کوتاه باشد. با این حال در آزمایش های واقعی در تصفیه خانه های آب، کوتاه کردن لوله های عمودی امکان پذیر نیست. در آزمایشگاه برای ارزیابی تأثیر طول لوله نمونه برداری، مجموعه ای جداگانه از آزمایش ها با استفاده از لوله هایی به طول ۰٫۵ m، ۱٫۰ m، ۱٫۵ m و ۲٫۰ m با قطر داخلی ۳ mm انجام شد. در این آزمایش ها، یک رآکتور پیوسته به عمق ۵۰ cm با حبابی که از یک ژنراتور حباب با آب مقطر تولید شده بود، پر شد (شکل چ-۱ شکل فرعی الف)).

شکل چ-۱ (شکل فرعی ب) تعداد حباب های شمارش شده را برای هر طول لوله نشان می دهد. هر چهار نمونه، شمارش حباب مشابهی را نشان می دهند. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که تأثیر طول لوله تا ۲ m قابل چشم پوشی است.



ب) توزیع اندازه حباب



الف) چیدمان آزمایش با لوله نمونه برداری و شمارشگر ذرات

راهنما:

- X گستره اندازه در ۷ کانال نمونه برداری  
 Y غلظت عددی (تعداد شمارش شده / 100 ml)  
 ۱ شمارشگر برخط ذرات

شکل چ-۱: تأثیر طول لوله نمونه برداری (قطر داخلی، ۳ mm) در یک رآکتور پیوسته (ردیف [4] کتاب نامه)

## کتابنامه

- [1] Han M.Y., Park Y., Lee J., Shim J. Effects of pressure on bubble size in dissolved air flotation. *Water Science and Technology*, 2002. 2(56): p. 41 - 46.
- [2] Kim T.I., Kim Y. H., Han M. Y. Development of novel oil washing process using bubble potential energy. *Marine Pollution Bulletin*, 2012. 64(11): p. 2325-32.
- [3] Okada K., Akagi Y., Kogure M., Yoshioka N. Analysis of particle trajectories of small particles in flotation when the particles and bubbles are both charged. *Canada Journal of chemical engineering*, 1990. 68(4): p. 614-621.
- [4] Han M.Y., Kim T. I., Kwak D. H. Measurement of bubble bed depth in dissolved air flotation using a particle counter. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 2009. 58(1): p. 6.
- [5] Fujisaki E.-Z. A mathematical model for the flotation of waste activated sludge. *Water Science and Technology*, 2002. 46(11-12): p. 203 - 208.
- [6] Haarhoff J ., & E dzwald J. K. Modelling of floc-bubble aggregate rise rates in dissolved air flotation. *Water Science and Technology*, 2001. 43(8): p. 175-84.
- [7] Bui T.T., & Han M. Y. Removal of Phormidium sp. by positively charged bubble flotation. *Minerals Engineering*, 2015. 72: p. 108-114.
- [8] Bui T.T., Nam S. N., Han M. Y. Micro-bubble flotation of freshwater algae: a comparative study of differing shapes and sizes. *Separation Science and Technology*, 2015. 50: p. 1066-10
- [9] ISO/TR 23015, *Fine bubble technology - Measurement technique matrix for the characterization of fine bubbles*
- [10] ISO 11943, *Hydraulic fluid power - Online automatic particle-counting systems for liquids - Methods of calibration and validation*

## فهرست الفبایی واژه‌های به‌کاررفته در این استاندارد به‌ترتیب الفبای فارسی

| واژه فارسی               | نشانی | معادل انگلیسی                         |
|--------------------------|-------|---------------------------------------|
| توزیع اندازه حباب و ذرات | ۳-۳   | bubble and particle size distribution |
| روش شمارش ذرات           | ۲-۳   | particle counting method              |
| غلظت حجمی حباب           | ۱-۳   | bubble volume concentration           |
|                          | ۱-۳   | BVC → bubble volume concentration     |

## فهرست الفبایی واژه‌های به‌کاررفته در این استاندارد به‌ترتیب الفبای انگلیسی

| معادل فارسی              | نشانی | واژه انگلیسی                          |
|--------------------------|-------|---------------------------------------|
| توزیع اندازه حباب و ذرات | ۲-۳   | bubble and particle size distribution |
| غلظت حجمی حباب           | ۱-۳   | bubble volume concentration           |
|                          | ۱-۳   | BVC → bubble volume concentration     |
| روش شمارش ذرات           | ۲-۳   | particle counting method              |