TUBULAR BIOFILM REACTOR — CUSTOMER GUIDE

# BioJet

## الدليل التعليمي لمفاعل الغشاء الحيوي الأنبوبي

كيف يعالج BioJet مياه الصرف داخل مواسير مغلقة بلا أحواض ترسيب ولا حمأة تُذكر، وكيف تُحسب سعة الوحدة وتُضبط دورة تشغيلها خطوة بخطوة.




| 1 kg | 3 h | 437 m² | 90–97% |
|---|---|---|---|
| حمأة فقط لكل 1000 م³ | دورة كاملة: ملء، تدوير، تصريف | مساحة التصاق حيوي في الوحدة | إزالة BOD وCOD وTSS |

CONTENTS

# محتويات الدليل


| | | |
|---|---|---|
| 01 | لماذا معالجة داخل مواسير؟ | 3 |
| 02 | كيف يعمل BioJet: دورة الدفعة | 4 |
| 03 | مكونات المنظومة | 5 |
| 04 | الوسط الحيوي ومساحة الالتصاق | 6 |
| 05 | التهوية بالفنتوري | 7 |
| 06 | فتحات الهواء | 8 |
| 07 | التحكم الآلي والحماية | 9 |
| 08 | المواصفات الفنية | 10 |
| 09 | حساب الدورة والسعة | 11 |
| 10 | التشغيل والصيانة | 12 |
| 11 | أسئلة شائعة | 13 |


**عن هذا الدليل:** BioJet وحدة معالجة بيولوجية صممتها وصنعتها مسكوب العالمية في مصر. الأرقام التصميمية في هذا الدليل مأخوذة من حسابات وحدة BioJet ذات 48 ماسورة ومن لوحات التحكم والرسومات الكهربائية للوحدة، والأمثلة التي تعتمد على نتائج تشغيل مكتوب بجانبها أنها توضيحية.

CHAPTER 01

# لماذا معالجة داخل مواسير؟

في المحطات التقليدية تحتاج المعالجة البيولوجية إلى أحواض تهوية كبيرة، ثم أحواض ترسيب لفصل الحمأة، ثم خط لمعالجة هذه الحمأة. BioJet يختصر ذلك كله داخل شبكة مواسير مغلقة.



شبكة مواسير BioJet: مسارات متوازية تتصل بمجمّعات علوية وسفلية

## الفكرة في ثلاث نقاط

- **غشاء حيوي ثابت:** تنمو البكتيريا على الجدار الداخلي للمواسير وعلى الوسط الحيوي داخلها، فتبقى في مكانها ولا تخرج مع الماء. لذلك لا نحتاج إلى أحواض ترسيب لإرجاعها.
- **تدفق كتلي (Plug Flow):** يتحرك الماء داخل المواسير ككتلة واحدة بسرعة منخفضة، فيلامس كل جزء منه الغشاء الحيوي بالتساوي.
- **تدوير حتى اكتمال المعالجة:** يُعاد تدوير الدفعة نفسها نحو ساعتين، ويمر الماء خلالها على الغشاء الحيوي نحو 8 مرات حتى تُستهلك المواد العضوية.

### مغلق بالكامل

لا روائح ولا ضوضاء تُذكر؛ مناسب للمواقع القريبة من السكن.

### بلا مواد كيميائية

معالجة بيولوجية كاملة بالبكتيريا والهواء فقط.

### مساحة صغيرة

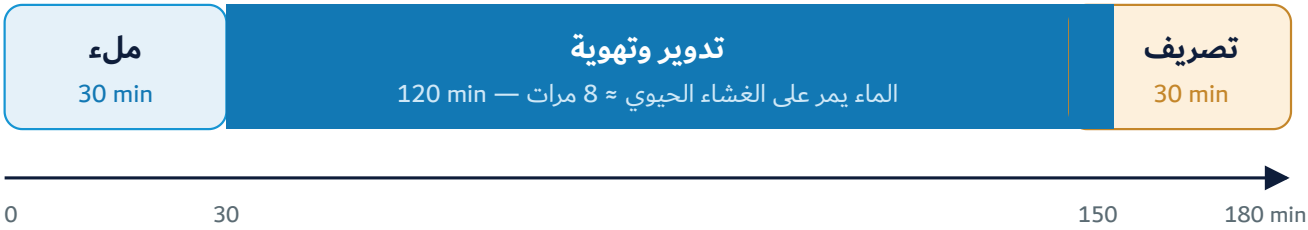
يمكن تركيب المواسير على هيكل رأسي أو على جدار.

CHAPTER 02

# كيف يعمل BioJet: دورة الدفعة

يعمل BioJet على دفعات (Batch). كل دفعة تمر بثلاث مراحل يتحكم فيها PLC تلقائيًا، ثم تبدأ الدفعة التالية.

**دورة دفعة واحدة = 3 ساعات تقريبًا ← نحو 8 دفعات يوميًا**



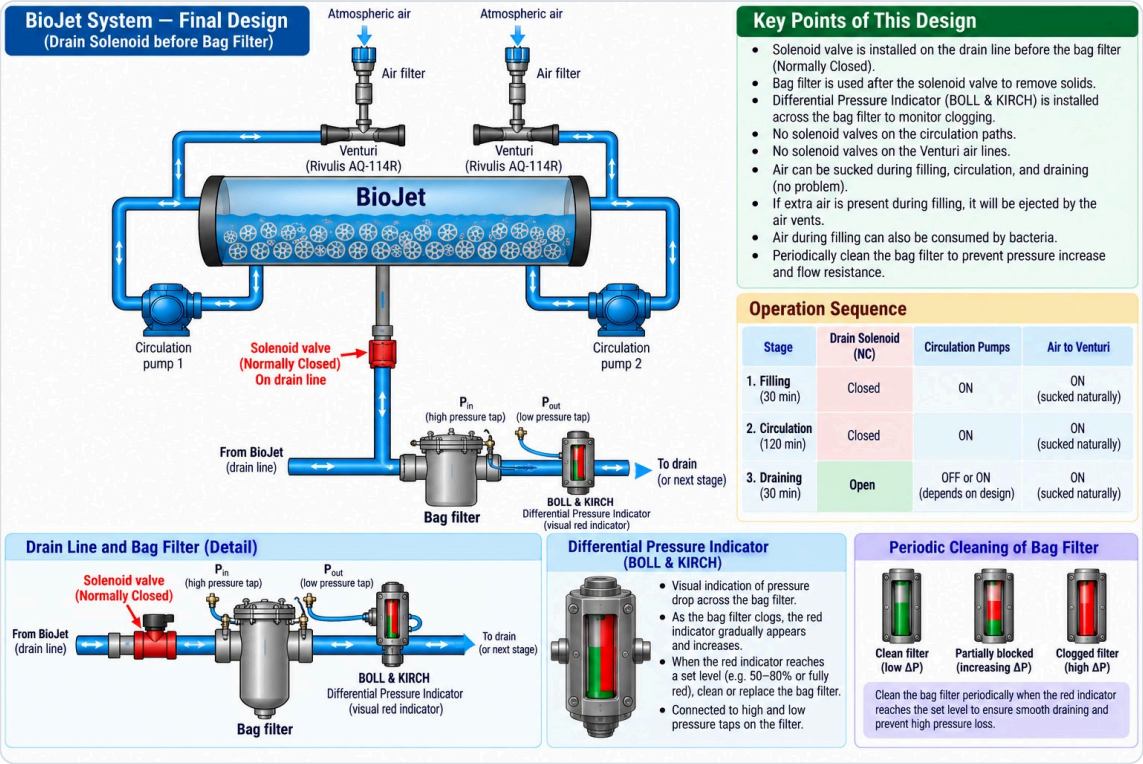

1. **الملء:** تضخ مضخة التغذية الماء المصفّى أوليًا إلى المواسير. يُطرد الهواء المزاح عبر فتحات الهواء، ويتوقف الضخ عندما تلمس المياه حساسات المجمّع العلوي.
2. **التدوير والتهوية:** تعمل مضختا التدوير، ويمر الماء عبر الفنتوري فيسحب هواءً جويًا ذاتيًا ويحمل فقاعات دقيقة إلى المواسير. يستهلك الغشاء الحيوي المواد العضوية خلال التدوير.
3. **التصريف:** يفتح صمام التصريف (مغلق في الوضع الطبيعي)، فيخرج الماء المعالج عبر فلتر الأكياس إلى المرحلة التالية. تدخل فتحات الهواء هواءً بدل الماء الخارج حتى لا يتكوّن تفريغ داخل المواسير.

| المرحلة | صمام التصريف (NC) | مضختا التدوير | الهواء إلى الفنتوري |
|---|---|---|---|
| **1. الملء** (30 min) | مغلق | تعمل | يُسحب ذاتيًا |
| **2. التدوير** (120 min) | مغلق | تعمل | يُسحب ذاتيًا |
| **3. التصريف** (30 min) | مفتوح | حسب التصميم | يُسحب ذاتيًا |

لا توجد صمامات كهربائية على مسارات التدوير ولا على خطوط هواء الفنتوري؛ الصمام الكهربائي الوحيد على خط التصريف. هذا يقلل نقاط الأعطال إلى أقل حد.

CHAPTER 03

# مكونات المنظومة




التصميم النهائي للمنظومة: مضختا تدوير، فنتوري على كل جانب، صمام تصريف قبل فلتر الأكياس

| المكوّن | الوظيفة |
|---|---|
| **مفاعل المواسير** | 48 ماسورة HDPE أو PVC بطول 6 m، مرتبة في 8 مسارات متوازية، مع مجمّع علوي وسفلي |
| **الوسط الحيوي** | وسط MBBR بمساحة نوعية 550 m²/m³ يملأ نحو 30% من حجم المواسير |
| **مضخة التغذية** | تملأ المواسير في بداية كل دفعة؛ 0.75 kW |
| **مضختا التدوير** | تدوران الماء خلال مرحلة المعالجة؛ 0.75 kW لكل منهما |
| **فنتوري + فلتر هواء** | يسحب الهواء الجوي ذاتيًا بفعل سرعة الماء دون كمبروسر |
| **فتحات الهواء** | طرد الهواء عند الملء والتدوير، وإدخاله عند التصريف |
| **حساسات مستوى موصلة** | زوج أقطاب في المجمّع العلوي (امتلاء) وزوج في السفلي (تفريغ) |
| **صمام تصريف كهربائي** | مغلق في الوضع الطبيعي ((NC؛ يفتح في مرحلة التصريف فقط |
| **فلتر أكياس + مؤشر PΔ** | يحجز المواد العالقة في الماء الخارج، ومؤشر فرق الضغط يبيّن وقت تنظيفه |
| **لوحة تحكم PLC** | تدير المراحل والمؤقتات والإنذارات تلقائيًا |

CHAPTER 04

# الوسط الحيوي ومساحة الالتصاق

كفاءة أي مفاعل غشاء حيوي تتحدد بالمساحة المتاحة لنمو البكتيريا. في التصميم الأول للفكرة (BioPipe) كانت البكتيريا تنمو على جدار المواسير فقط. في BioJet أضفنا وسطًا حيويًا داخل المواسير، فتضاعفت المساحة خمس مرات تقريبًا في الحجم نفسه تقريبًا.

**65.7 m²**
BioPipe — جدار المواسير فقط
36 ماسورة

←

**437.5 m²**
BioJet — الجدار + الوسط الحيوي
48 ماسورة

| البند | BioPipe (الأصل) | BioJet |
|---|---|---|
| عدد المواسير | 6 × 6 = 36 | 8 × 6 = 48 |
| الطول الكلي للمواسير | 216 m | 288 m |
| مساحة مقطع الماسورة | 0.0074 m² | 0.0074 m² |
| الحجم الكلي | 1.6 m³ | 2.12 m³ |
| حجم الماء بعد إضافة الوسط | — | 1.48 m³ (70% فراغات) |
| مساحة جدار المواسير | 65.7 m² | 87.5 m² |
| مساحة الوسط الحيوي | — | 550 × 0.636 ≈ 350 m² |
| **إجمالي مساحة الالتصاق** | **65.7 m²** | **437.5 m²** |

## لماذا يسمح ذلك بتقصير زمن التدوير؟

كلما زادت المساحة زادت كمية البكتيريا العاملة في نفس حجم الماء، فتُستهلك المواد العضوية أسرع. لذلك يمكن تقليل زمن التدوير بعد التشغيل الفعلي وقياس النتائج، وهذا يرفع عدد الدفعات اليومية وسعة الوحدة (الفصل 09).

**السرعات التصميمية:** سرعة الماء أثناء الملء 0.02 m/s وأثناء التدوير 0.04 m/s. هي سرعات منخفضة تحافظ على الغشاء الحيوي ولا تقشره، وتجعل فاقد الاحتكاك في المواسير صغيرًا جدًا (نحو 0.04 m).

CHAPTER 05

# التهوية بالفنتوري

الفنتوري جزء ضيق في مسار الماء. عندما يمر الماء فيه تزيد سرعته وينخفض ضغطه، فيُسحب الهواء الجوي من فتحة جانبية دون كمبروسر ولا نافخ. يخرج الماء محمّلًا بفقاعات دقيقة تنتشر حول الوسط الحيوي داخل المواسير.

- الهواء الداخل فيه 21% أكسجين و79% نيتروجين تقريبًا.
- جزء فقط من الأكسجين يذوب في الماء، ونسبته هي **كفاءة نقل الأكسجين E**.
- ما لا يذوب من الأكسجين، ومعه معظم النيتروجين، يخرج من فتحات الهواء أعلى المنظومة.



فنتوري مركّب على خط التدوير

$$O_2\ (kg/h) = Q_{air}\ (m^3/h) \times 1.2 \times 0.21 \times E$$

$Q_{air}$ تدفق الهواء المسحوب · 1.2 كثافة الهواء (kg/m³) · 0.21 نسبة الأكسجين في الهواء · E كفاءة النقل

### مدى E المعتاد

في أنظمة الفقاعات الدقيقة يتراوح E عادة بين 5% و25%. يرتفع كلما صغرت الفقاعات وطال زمن تلامسها مع الماء وزاد الخلط والوسط الحيوي.

### أين يُستهلك الأكسجين؟

بيولوجيًا في تكسير المواد العضوية (BOD)، وكيميائيًا في أكسدة مركبات مثل الأمونيا والحديد والكبريتيد.

## ضبط الفنتوري عند التشغيل

1. يُقاس تدفق الماء وضغطه على خط التدوير لاختيار فنتوري بالمقاس المناسب.
2. يُركب عداد هواء على فتحة السحب لقياس كمية الهواء الفعلية الداخلة.
3. يُتابع الأكسجين المذاب (DO) خلال الدورة: إذا هبط بسرعة فالفنتوري أصغر من اللازم، وإذا ارتفع بسرعة فهو أكبر من اللازم، وإذا استقر تقريبًا فالمقاس مناسب.

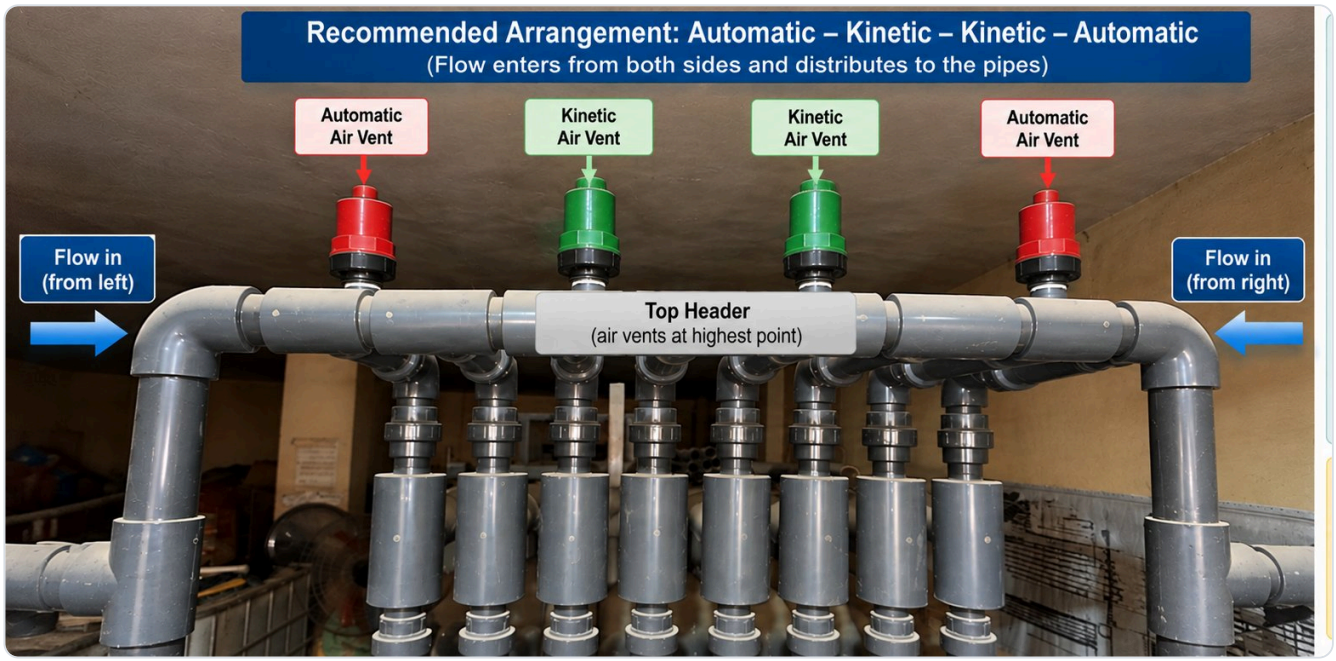
إذا خرج هواء كثير من فتحات الهواء أثناء التدوير، فقد يعني ذلك أن الفنتوري يسحب هواءً أكثر من اللازم، أو أن الفقاعات كبيرة ولا تتوزع جيدًا، أو أن زمن التلامس قصير.

CHAPTER 06

# فتحات الهواء

فتحات الهواء صغيرة الحجم لكنها تحمي المنظومة كلها. لها في BioJet ثلاث وظائف حسب المرحلة:

| المرحلة | الوظيفة | النوع الأنسب |
|---|---|---|
| **الملء** | طرد الهواء الذي يزيحه الماء الداخل بتدفق كبير | حركية (Kinetic) |
| **التدوير** | طرد الهواء الزائد والجيوب الهوائية المتجمعة تحت الضغط | تلقائية (Automatic) |
| **التصريف** | إدخال الهواء بدل الماء الخارج لمنع التفريغ وانبعاج المواسير | حركية (Kinetic) |




الترتيب الموصى به على المجمّع العلوي: تلقائية – حركية – حركية – تلقائية

### أسس الاختيار

أقصى تدفق (أثناء الملء والتصريف)، وأقصى ضغط تشغيل، وأقل ضغط يضمن إحكام الغلق، ومقاس الوصلة، والوظيفة المطلوبة. شرط الاختيار: تدفق الفتحة الحركية ≥ تدفق الماء، وتدفق الفتحة التلقائية > تدفق الهواء المتجمع أثناء التدوير.

### حماية الفتحات في مياه الصرف

تأكد أن الفتحات مناسبة لمياه الصرف. ركّب تحت كل فتحة محبس عزل ومصفاة (Y-Strainer) وارفع موضعها قليلًا؛ هكذا يمكن فكها وتنظيفها دون إيقاف المنظومة أو تفريغها.

CHAPTER 07

# التحكم الآلي والحماية

تُدار الوحدة بلوحة PLC تعتمد على حساسات مستوى موصلة. مياه الصرف موصلة للكهرباء، فعندما يلمس الماء قطبين معًا تكتمل الدائرة وتصل إشارة إلى PLC.

### المجمّع العلوي: إشارة الامتلاء

قطبان قصيران في أعلى نقطة. عندما يصل الماء إليهما تُغلق الدائرة، فيوقف PLC مضخة التغذية لأن المواسير امتلأت.

### المجمّع السفلي: إشارة التفريغ

قطبان طويلان يصلان إلى أدنى نقطة. عندما ينكشفان تُفتح الدائرة، فيعرف PLC أن المواسير فرغت بالكامل.

## مؤقتات وإنذارات تحمي من أعطال الحساسات

قد تتراكم المخلفات أو الوسط الحيوي على الأقطاب فتعطي إشارة خاطئة. لذلك يقارن PLC زمن كل مرحلة بحدين: $t_{min}$ و$t_{max}$.

| الحالة (الملء مثالًا) | التصرف | المعنى المحتمل |
|---|---|---|
| الحساسات تعمل بين $t_{min}$ و$t_{max}$ | إيقاف المضخة | ملء طبيعي |
| مر $t_{max}$ والحساسات لم تعمل | **إيقاف المضخة + إنذار** | انسداد أو مشكلة في الملء |
| عملت الحساسات قبل $t_{min}$ | **استمرار المضخة + إنذار** | إشارة خاطئة (اتساخ أو قصر) |

المنطق نفسه يُطبق على التصريف بالحساسات السفلية. النتيجة: تشغيل أكثر أمانًا، وإنذار فوري عند أي حالة غير طبيعية، وحماية من الفيضان والتشغيل على الجاف وتلف المضخات.

## مداخل ومخارج لوحة التحكم

| المداخل | المخارج |
|---|---|
| أمر التشغيل (Machine Run) | مضخة التغذية |
| حساس المستوى العلوي (High) | مضخة التدوير 1 · مضخة التدوير 2 |
| حساس المستوى السفلي (Low) | صمام التصريف |

شاشة اللوحة تعرض حالة كل مضخة والصمام (تشغيل/إيقاف) والزمن المتبقي من مؤقت التدوير.

CHAPTER 08

# المواصفات الفنية

| البند | القيمة |
|---|---|
| السعات التصميمية | 10 · 20 · 50 · 100 · 500 m³/day — قابلة للتوسع بوحدات 500 m³/day |
| كفاءة الإزالة | BOD · COD · TSS: 90–97% |
| إنتاج الحمأة | 1 kg / 1000 m³ |
| وحدة 48 ماسورة | 8 مسارات × 6 مواسير × 6 m |
| حجم الماء في الوحدة (بالوسط) | 1.48 m³ |
| مساحة الالتصاق الحيوي | 437.5 m² |
| الوسط الحيوي | MBBR · 550 m²/m³ · فراغات 70% |
| دورة التشغيل | ملء 30 · تدوير 120 · تصريف 30 min |
| التهوية | فنتوري ذاتي السحب — بلا كمبروسر |
| المضخات | تغذية + 2 تدوير · 0.75 kW لكل مضخة |
| التغذية الكهربائية | 220 V · 1 Phase · 50 Hz |
| التحكم | PLC + حساسات مستوى موصلة + مؤقتات وإنذارات |
| أبعاد وحدة 10 m³/day | 0.6 m × 0.6 × 7 · مساحة 4 m² |
| مستوى الضوضاء / الروائح | 15 dB حد أقصى · لا توجد روائح |
| الخامات | HDPE أو PVC |

SPECIFICATIONS

## BioJet في أرقام

| | | | |
|---|---|---|---|
| 90–97<br>%<br>إزالة BOD/COD/TSS | 437.5<br>m²<br>مساحة الالتصاق | 1.48<br>m³<br>حجم الدفعة | 8<br>batches/day<br>دفعات يوميًا |
| 0.75<br>kW<br>قدرة كل مضخة | 15<br>dB<br>أقصى ضوضاء | 1<br>kg/1000 m³<br>حمأة | 0<br>chemicals<br>مواد كيميائية |

CHAPTER 09

# حساب الدورة والسعة

نحسب هنا سعة وحدة 48 ماسورة خطوة بخطوة من الأرقام التصميمية، ثم نرى أثر تقصير زمن التدوير.

## الخطوة 1: حجم الدفعة

الحجم الكلي للمواسير: 0.0074 m² × 288 m = 2.12 m³. الوسط الحيوي يشغل 30%، فيبقى للماء 2.12 × 0.70 = 1.48 m³.

## الخطوة 2: زمن الملء

مساحة مقطع الماء في المسارات الثمانية: 0.0074 × 8 × 0.70 ≈ 0.041 m². عند سرعة ملء 0.02 m/s يكون تدفق التغذية 0.041 × 0.02 × 3600 ≈ 2.96 m³/h، فتمتلئ الوحدة في 30 min = 0.5 h = 2.96 ÷ 1.48.

## الخطوة 3: الدفعات والسعة اليومية

**30 + 120 + 30 = 180 min → 24 h ÷ 3 h = 8 batches → 8 × 1.48 ≈ 11.8 m³/day**

وهذا يتفق مع الوحدة القياسية بسعة 10 م³/يوم مع هامش أمان

## الخطوة 4: أثر تقصير زمن التدوير

بعد التشغيل الفعلي تُجرى عدة دورات بأزمنة تدوير أقل، ويُقاس COD الخارج في كل مرة. أقل زمن يحقق الكفاءة المطلوبة يصبح زمن التشغيل المعتمد.

| زمن التدوير (min) | إزالة COD | زمن الدورة (min) | دفعات/يوم | السعة (m³/day) |
|---|---|---|---|---|
| 120 | 94% | 180 | 8 | 11.8 |
| 90 | 92% | 150 | 9.6 | 14.2 |
| 75 | 90% | 135 | 10.7 | 15.8 |
| **60** | **87%** | 120 | 12 | **17.8** |
| 50 | 81% | 110 | 13.1 | 19.4 |

**مثال توضيحي:** نسب الإزالة في الجدول مثال على شكل النتائج المتوقعة وليست قياسات معتمدة. الزمن المناسب لكل مشروع يُحدد بالتجربة حسب نوع المياه والكفاءة المطلوبة.

CHAPTER 10

# التشغيل والصيانة

## عند بدء التشغيل

1. قِس خصائص المياه الداخلة: TSS · COD · BOD وغيرها.
2. شغّل دورة كاملة بالأزمنة التصميمية وسجّل نفس الخصائص في المياه الخارجة، وسجّل فرق الضغط الناتج عن الوسط الحيوي.
3. سجّل تدفق الماء، وتدفق الهواء المسحوب بالفنتوري، والضغط قبل فتحات الهواء.
4. تابع الأكسجين المذاب خلال الدورة لضبط الفنتوري (الفصل 05).
5. جرّب أزمنة تدوير أقل للوصول إلى الزمن الأمثل (الفصل 09)، ثم اضبط $t_{min}$ و$t_{max}$ على الأزمنة الفعلية.

### فلتر الأكياس

مؤشر فرق الضغط (BOLL & KIRCH) يُظهر لونًا أحمر يزيد مع انسداد الفلتر. نظّف الكيس أو بدّله عندما يصل الأحمر إلى المستوى المحدد (مثلًا 80%–50) حتى يبقى التصريف سلسًا.

### أقطاب حساسات المستوى

افحصها ونظّفها دوريًا من المخلفات والوسط الحيوي المتراكم، فالاتساخ هو السبب الأشهر للإشارات الخاطئة.

### فتحات الهواء

نظّف المصافي تحتها بإغلاق محبس العزل وفك الفتحة دون إيقاف المنظومة. تأكد أنها تطرد الهواء أثناء الملء وتدخله أثناء التصريف.

### الفنتوري وفلتر الهواء

تأكد أن فلتر الهواء على فتحة السحب نظيف، وأن تدفق الهواء المسحوب قريب من القيمة المسجلة عند التشغيل.

**لوحة الإنذارات أولًا:** أي إنذار من مؤقتات الملء أو التصريف يعني فحص الأقطاب والمضخة وخط التغذية أو فلتر الأكياس قبل إعادة التشغيل.

CHAPTER 11

# أسئلة شائعة

### هل يحتاج BioJet إلى أحواض ترسيب؟

لا. البكتيريا ثابتة على جدار المواسير والوسط الحيوي ولا تخرج مع الماء، والحمأة الناتجة ضئيلة جدًا (نحو 1 كجم لكل 1000 م³).

### هل يحتاج إلى كمبروسر أو نافخ هواء؟

لا. الفنتوري يسحب الهواء الجوي ذاتيًا بفعل سرعة الماء في خط التدوير.

### هل تصدر عنه روائح أو ضوضاء؟

النظام مغلق بالكامل، ومستوى الضوضاء لا يتجاوز 15 ديسيبل، ولا تصدر عنه روائح.

### ما المياه التي يعالجها؟

المياه الرمادية، والصرف الصحي المنزلي، وبعض أنواع الصرف الصناعي، خاصة في المواقع محدودة المساحة.

### كيف أزيد السعة؟

بتركيب وحدات إضافية متوازية، أو بتقصير زمن التدوير بعد إثبات الكفاءة بالتجربة.

### ماذا يحدث لو تعطل حساس المستوى؟

المؤقتات توقف المضخة أو تبقيها تعمل حسب الحالة وتطلق إنذارًا، فلا يحدث فيضان ولا تشغيل على الجاف.

### هل يحتاج الماء الخارج إلى معالجة إضافية؟

يمر على فلتر الأكياس، ويمكن إضافة تطهير بالأشعة فوق البنفسجية أو الكلور حسب استخدام المياه.

**مسكوب العالمية للمقاولات** — أرسل نوع المياه والتصرف اليومي والهدف المطلوب، ونعد لك تقييمًا فنيًا.
+20 128 196 5139 · +20 101 851 2007 · info@maskoub.com
قطعة 8311، شارع الخزان، المقطم، القاهرة