Building Partnerships for a ENVIRONMENTAL PROTECTION made in Germany Sustainable Infrastructure

German Water Partnership

# ملخص وافي للمياه الصناعية

## دليل لصناع القرار في إدارة مياه الصرف الصناعي في الهند، ومنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا


On behalf of:

Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety

of the Federal Republic of Germany

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

# فهرس المحتويات


مقدمة BMU ..... ٤
مقدمة GWP ..... ٥
قائمة الاختصارات ..... ٦
نبذة مختصرة ..... ٨

**١. استخراج النفط والغاز ..... ١٤**
كميات الضخ والاحتياطيات ..... ١٦
مجاري مياه الصرف وخصائصها ..... ١٧
طريقة المعالجة ..... ١٩
**دراسة الحالة: معالجة مياه الصرف في مصفاة الزيوت المعدنية في مقاطعة شاندونغ في الصين ..... ٢٠**

**٢. الصناعة الكيميائية ..... ٢٢**
المعلومات الخاصة بالبلد ..... ٢٢
إنتاج مياه الصرف في الصناعة ..... ٢٥
مجاري مياه الصرف وخصائصها ..... ٢٥
طريقة المعالجة ..... ٢٦
**دراسة الحالة: طلاء جلفاني كيميائي/بلاستيكي في الهند ..... ٢٨**
**دراسة الحالة: تحسين عمليات معالجة المياه بالتناضح العكسي ..... ٣٠**

**٣. الصناعة الدوائية ..... ٣٢**
المعلومات الخاصة بالبلد ..... ٣٢
قطاع الصناعة وإنتاج مياه الصرف ..... ٣٥
مجاري مياه الصرف وخصائصها ..... ٣٥
طريقة المعالجة ..... ٣٦
**دراسة حالة: صناعة الأدوية في الهند ..... ٣٨**

**٤. التعدين ..... ٤٠**
المعلومات الخاصة بالبلد ..... ٤١
قطاع الصناعة وإنتاج مياه الصرف ..... ٤٢
مجاري مياه الصرف وخصائصها ..... ٤٣
طريقة المعالجة ..... ٤٥
**دراسة الحالة: استخراج الذهب في جنوب إفريقيا ..... ٤٦**

**٥. الصناعات الغذائية ..... ٤٨**
المعلومات الخاصة بالبلد ..... ٤٨
قطاع الصناعة وإنتاج مياه الصرف ..... ٥١
مجاري مياه الصرف وخصائصها ..... ٥٣
طريقة المعالجة ..... ٥٤
**دراسة الحالة: صناعة معالجة الزيتون في الأردن وسوريا ولبنان ..... ٥٦**
**دراسة الحالة: صناعة معالجة الأسماك في المغرب. ٥٨**
**دراسة الحالة: معالجة الحليب في الهند ..... ٦٠**
**دراسة الحالة: معالجة الأغذية، الصويا ..... ٦٢**

**٦. إنتاج المعادن ومعالجتها ..... ٦٤**
المعلومات الخاصة بالبلد ..... ٦٤
قطاع الصناعة وإنتاج مياه الصرف ..... ٦٦
مجاري مياه الصرف وخصائصها ..... ٦٧
طريقة المعالجة ..... ٦٩
**دراسة الحالة: استخراج الزنك/ترشيح الزنك ف ي الهند ..... ٧٢**

**٧. صناعة النسيج والجلود ..... ٧٤**
المعلومات الخاصة بالبلد ..... ٧٤
قطاعات الصناعة وإنتاج مياه الصرف ..... ٧٦
مجاري مياه الصرف وخصائصها ..... ٧٨
طريقة المعالجة ..... ٨٠
**دراسة الحالة: صناعة النسيج في الهند ..... ٨٢**

**٨. صناعة الورق ولباب الورق ..... ٨٤**
المعلومات الخاصة بالبلد ..... ٨٤
قطاع الصناعة وإنتاج مياه الصرف ..... ٨٧
مجاري مياه الصرف وخصائصها ..... ٨٨
طريقة المعالجة ..... ٨٩

**٩. مقالب القمامة ..... ٩٠**
المعلومات الخاصة بالبلد ..... ٩٠
قطاع الصناعة وإنتاج مياه الصرف ..... ٩٢
مجاري مياه الصرف وخصائصها ..... ٩٣
طريقة المعالجة ..... ٩٥
**دراسة الحالة: مكب النفايات في المغرب ..... ٩٦**

**١٠. المجمعات الصناعية ..... ٩٨**
المعلومات الخاصة بالبلد ..... ٩٨
البنية التحتية وإدارة مياه الصرف ..... ١٠٠
تحديات خاصة ..... ١٠٠
طريقة المعالجة ..... ١٠٢
**دراسة الحالة: صناعة النسيج في الهند ..... ١٠٤**
**دراسة الحالة: معالجة مياه الصرف في المناطق الصناعية بالمغرب ..... ١٠٦**

**١١. نظرة عامة على الاتجاهات الدولية في معالجة مياه الصرف الصناعي ..... ١٠٨**

قائمة المراجع ..... ١١٢
هيئة التحرير ..... ١٢٦

# القراء الأعزاء،

السادة الخبراء في إدارة المياه الصناعية،

على ضوء التغير المناخي، يتعين على القطاع الصناعي في كل أصقاع العالم أن يتأقلم مع توافر متقلّب، لا بل متناقص، للمياه في مناطق كثيرة من العالم. إن المواد المستخدمة في قطاعات صناعية مهمة مثل القطاع الكيميائي وقطاع المواد الغذائية في الهند أو قطاع التعدين أو صناعة النسيج في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا (MENA) إنما تطرح تحديات إضافية على التعامل الفعّال والمسؤول مع مورد المياه النفيس. يجب أن يكون الهدف بأن تعود المياه المعالجة إلى دورة المياه الطبيعية بما يتلاءم والاستدامة ومن دون أن يشكل ذلك خطراً على المخلوقات الحية وعلى البيئة.

تظهر الأمثلة المدرجة في الموجز بشأن المياه الصناعية والمستقاة من عشرة قطاعات صناعية مهمة بشكل جليّ كيف يمكن أن ينجح ذلك بشكل مجدٍ على المستويين الاقتصادي والبيئي. يهدف هذا الموجز إلى دعم صاحبات وأصحاب القرار على المستوى الحكومي والخاص في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا (بشكل خاص المغرب وتونس ومصر والأردن) وكذلك الهند في تطبيق الحلول الهادفة إلى إدارة مستدامة ورفيقة بالبيئة للمياه الصناعية. يشمل ذلك تحليل خصائص السوق واستبيان التوجهات المختلفة التي يتم رصدها في المنطقتين، منها على سبيل المثال التركيز المتنامي على إعادة معالجة الموارد واستردادها إو إنشاء مجمعات صناعية لمعالجة مشتركة لتدفقات مياه الصرف الصحي.

إن الابتكارات التقنية في مجال حماية البيئة والمناخ مطلوبة اليوم أكثر من أي وقت مضى – كما أنها في الوقت نفسه تعزز الاقتصاد كونها محرّكاً قوياً للتنمية. إن مبادرة تصدير تقنيات البيئة التي وضعتها الوزارة الاتحادية الألمانية للبيئة وحماية الطبيعة والأمن النووي عام ٢٠١٦ تسعى إلى نشر وتعزيز المعرفة حول تقنيات حماية البيئة والمناخ واستخدامها وكذلك البنى التحتية المبتكرة (الخضراء)، وذلك في البلدان التي تحتاج إلى الدعم في هذا المجال. لقد تمت بلورة هذا الموجز بشأن المياه الصناعية ليكون إسهاماً في إطار المشروع العالمي للمؤسسة الألمانية للتعاون الدولي (GIZ) حول مبادرة تصدير تقنيات البيئة

وليكون الهدف منه تحقيق تنمية مستدامة وإرساء شروط حياتية محسّنة.

نتقدم بالشكر إلى الجهة المكلفة، وهي المؤسسة الألمانية للتعاون الدولي (GIZ)، والجهة الناشرة، وهي جمعية الشراكة الألمانية للمياه (جمعية مسجلة)، على التطبيق الناجح للمشروع والتعاون الممتاز. لقد تم وضع هذا الموجز بفضل الدعم الفني للخبيرات والخبراء من المكتب الاتحادي لشؤون البيئة – إليكم أيضاً جزيل الشكر على تعاونكم القيّم.

وتفضلوا بقبول أسمى عبارات التقدير والاحترام

سفينيا شولتسه
الوزيرة الاتحادية للبيئة وحماية الطبيعة والأمن النووي

# القراء الأعزاء،

السادة الخبراء في إدارة المياه الصناعية،

في ظل تضاؤل موارد المياه في جميع أنحاء العالم والتقلبات في توافر المياه نتيجةً لتغير المناخ، تزداد أهمية الإدارة المستدامة للمياه. تساهم مصانع المعالجة الموفرة للطاقة، لا سيما في الاقتصادات الناشئة في آسيا ومنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، مساهمةً مهمةً في تحقيق أهداف باريس المناخية. وفي الصفحات التالية، يمكنك أن تقرأ كيف تقدم الشركات الألمانية دعمًا رائعًا لقطاع صناعة مياه الصرف.

حيث هناك طلب دولي اليوم على المكونات والأنظمة الألمانية لمعالجة مياه الصرف: ففي عام ٢٠١٩، ارتفعت الصادرات من مجالات معالجة المياه ومعالجة مياه الصرف والحمأة بنسبة ٦,٨٪ مقارنةً بالعام السابق - بقيمة إجمالية تجاوزت ١,١ مليار يورو. والسبب في استخدام الحلول الألمانية في جميع أنحاء العالم ليس السمعة الطيبة للعلامة التجارية "صنع في ألمانيا"، والتي تتميز بالجودة ودورات الحياة الطويلة فحسب، بل فوق ذلك، تتميز الشركات الألمانية بقوتها الابتكارية ومرونتها: حيث أن القدرة على تقديم حلول مناسبة بشكلٍ مثاليّ لمجموعة متنوعة من الظروف الإطارية العامة هي سمة من سمات الشركات الألمانية. وتُظهر الأمثلة الواردة في هذا الملخص أمثلة على الحلول النموذجية المتاحة للتغلب على التحديات التقنية لمعالجة مياه الصرف الصناعي في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا والهند.

تتمثل مهمة شركة German Water Partnership e.V.، بوصفها شبكة قوية تضم أكثر من ٣٥٠ عضوًا عاملاً في صناعة المياه والصرف الألمانية، في إبراز نقاط القوة هذه على المستوى الدولي أيضًا. حيث تم دمج المعرفة والخبرة الواسعة لمجموعة عمل إدارة المياه الصناعية والمنتديات الإقليمية في الهند وشمال إفريقيا/الأردن لاستخدامها في إنشاء هذا الملخص الوافي.

وبموجب إنشاء هذا الملخص الوافي للمياه الصناعية، تواصل الوزارة الاتحادية للبيئة وحماية الطبيعة والسلامة النووية تعاونها طويل الأمد والناجح مع شركة German Water Partnership e.V. في إطار مبادرة تصدير التقنيات البيئية. ولكم أود أن أشكر جميع الخبراء

المشاركين وكذلك موظفي المشروع العالمي بالجمعية الألمانية للتعاون الدولي (GIZ)، والذي تدعم جمعية GIZ فيه مبادرة تصدير التقنيات البيئية، على التعاون الجيد والناجح فيما بينهم. ومرةً أخرى، يمكن إنشاء أساسًا جوهريًا للمبيعات الدولية الناجحة للحلول التكنولوجية المستدامة التي تحمل شعار "صنع في ألمانيا" وفي نفس الوقت يمكن المساهمة في حماية بيئتنا.

مع فائق التقدير والاحترام

يوليا براونى
المديرة التنفيذية
German Water Partnership e.V.

# قائمة الاختصارات

µS ..... ميكرو سيمنز
AFS ..... مواد قابلة للفلترة
AOX ..... قياس للهالوجين المرتبط عضويًّا
BIP ..... الناتج المحلي الإجمالي
$BOD_5$ ..... طلب بيوكيميائي على الأكسجين في غضون ٥ أيام
°C ..... درجة مئوية
Ca ..... كالسيوم
CETP ..... محطة معالجة النفايات السائلة المشتركة (Common effluent treatment plant)
CIP ..... تنظيف محلي في عين المكان (Cleaning in place)
cm ..... سم
$CO_2$ ..... ثاني أكسيد الكربون
COD ..... طلب كيميائي على الأكسجين
DOC ..... كربون عضوي مذاب (Dissolved organic carbon)
DWA ..... الجمعية الألمانية لإدارة المياه ومياه الصرف والنفايات، جمعية مسجلة
EGSB ..... مستوى ارتفاع الحمأة الحُبيبية المُمتدة (Expanded granular sludge blanket)
h ..... ساعة
ha ..... هكتار
$H_2S$ ..... كبريتيد الهيدروجين
ISO ..... (معيار الإدارة البيئية ISO ١٤٠٠١ المعيار وفقًا لتعريفات المنظمة الدولية للتوحيد القياسي، مثل
kg ..... كجم
km ..... كم
$km^2$ ..... كيلومتر مربع
l ..... لتر
$m^3$ ..... متر مكعب
MBR ..... مفاعل حيوي غشائي
MENA ..... الشرق الأوسط وشمال إفريقيا؛ في الملخص الوافي الحالي، يشير هذا بشكل خاص إلى بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا وهي مصر والأردن والمغرب وتونس
mg ..... مجم
Mio. ..... مليون
Mrd. ..... مليار
N ..... نيتروجين
n.a. ..... غير متوفر
Na ..... صوديوم
$NH_4^+$ ..... أمونيوم
NTU ..... وحدة قياس العكارة (Nephelometric turbidity unit)
OPEC ..... منظمة البلدان المصدرة للبترول (Organization of the petroleum exporting countries)
P ..... فوسفور
PFAS ..... الفاعلات بالسطح الفلورية (Per- and polyfluoroalkyl substances)

pH . . . . . الأس الهيدروجيني
Pt-Co . . . . . رقم لون البلاتين الكوبالت
t . . . . . طن
TOC . . . . . (Total organic carbon) كربون عضوي إجمالي
TSS. . . . . (Total suspended solids) مجموع المواد الصلبة العالقة
UASB . . . . . (Upflow anaerobic sludge blanket) طبقة ندفات لاهوائية ذات تدفق صاعد
USD . . . . . دولار أمريكي
UV . . . . . أشعة فوق البنفسجية
VOX . . . . . (Volatile organic halogen) هالوجين عضوي متطاير
WHO . . . . . (World Health Organization) منظمة الصحة العالمية
ZLD . . . . . (Zero liquid discharge) طرح منعدم السوائل لمياه الصرف

# نبذة مختصرة

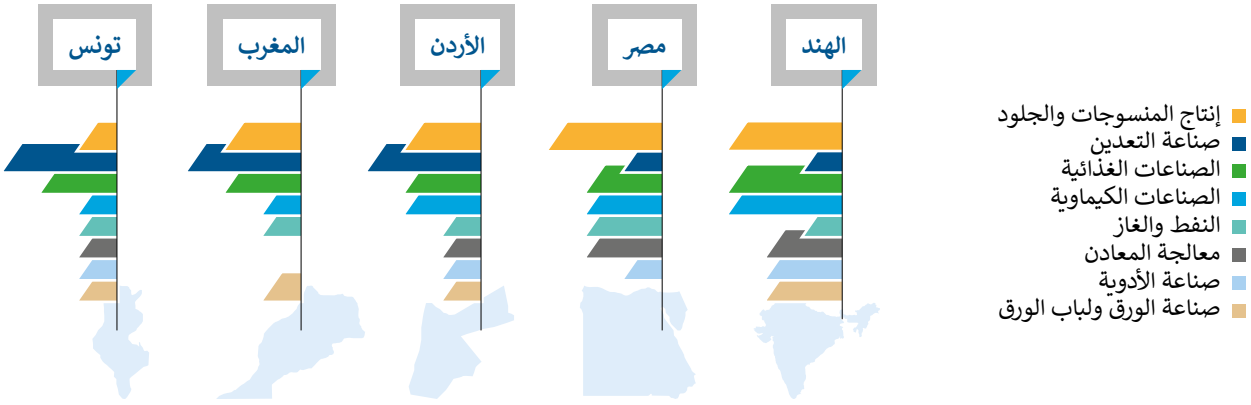
يعد تصريف مياه الصرف من الأنشطة الصناعية التي تمثل تحديًا عالميًّا تتعرض بسببه البلدان النامية والناشئة بشكلٍ خاص لخطر التلوث البيئي. والهدف من هذا الملخص الوافي هو دعم تطوير وتنفيذ الحلول البيئية في الهند ومنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. والمستهدف منه أن يكون بمثابة دليل للمستخدمين وصناع القرار ومقدمي التقنيات على حدٍ سواء من خلال إلقاء الضوء على حالة مياه الصرف الصناعي في البلدان الشريكة وتقديم حلول ملموسة لمعالجة مياه الصرف. ويهدف ذلك إلى المساهمة في حماية البيئة والمناخ من أجل تحقيق أهداف التنمية المستدامة وذلك في إطار خطة ٢٠٣٠ [١]. ويسهم هذا الملخص الوافي في تنفيذ هدف الاستدامة ٦، الذي يستهدف توفير المياه النظيفة وتسهيل الوصول إلى المرافق الصحية. على وجه الخصوص، يتناول الهدف الفرعي ٦,٣: "بحلول عام ٢٠٣٠، سيتم تحسين جودة المياه عن طريق الحد من التلوث، وإنهاء إدخال المواد الكيميائية والمواد الخطرة وتقليل تسربها إلى أقل حدٍ ممكن، وخفض نسبة مياه الصرف غير المعالجة إلى النصف، وزيادة عمليات إعادة المعالجة، وإعادة الاستخدام الآمن بشكلٍ كبير في جميع أنحاء العالم."

لأسبابٍ مختلفة (على سبيل المثال، لخفض التكاليف، وتجنب عمليات النقل، ومراعاة السمات المحلية)، يوصى بإنتاج وشراء المكونات الفنية للنظام بداخل البلدان الشريكة في العديد من الحالات. ومع ذلك، يمكن أن تساهم المكونات المبتكرة من مقدمي التقنيات الألمان المتخصصين بشكل حاسم في مواجهة تحديات معينة. لذلك يركز هذا الملخص الوافي على أحدث التقنيات المطوَّرة في ألمانيا لمعالجة مياه الصرف الصناعي. على سبيل المثال، تمثل القطاعات الصناعية ذات القيمة المضافة العالية أو محطات معالجة مياه الصرف المشتركة مجالات واعدة للتطبيق في البلدان الشريكة. من العوامل المهمة لاستخدام تقنيات المعالجة المبتكرة تشديد الإطار التنظيمي في الموقع، فضلًا عن تحسين تأمين الإمداد وكفاءة الطاقة. تتيح خبرة مزودي التقنية الألمان إمكانية تطوير حلول مخصصة لمشاكل محددة في الموقع – مع مراعاة الشروط الإطارية الفنية والاقتصادية والجغرافية والتنظيمية. ويتم الآن استكمال التقنيات التي أثبتت جدواها في معالجة مياه الصرف الصناعي في ألمانيا لعقودٍ طويلة من خلال مناهج مبتكرة بغرض تنفيذ حلول مستدامة وشاملة لمياه الصرف.

**الهدف من هذا الملخص الوافي هو دعم الحلول البيئية في الهند ومنطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا.**

تم تقسيم هذا الملخص الوافي إلى ١٠ فصول يتم فيها تسليط الضوء على قطاعات صناعية مختارة في البلدان الشريكة. حيث تمت مناقشة الأهمية الاقتصادية في الهند ودول الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، وتحديد أهم المبادئ الفنية لحالة مياه الصرف بإيجاز. وهذا يشمل التكوين النموذجي لمياه الصرف وأحدث الحلول بالإضافة إلى التطورات التشريعية والاقتصادية والتقنية الحالية. في نهاية كل فصل، يتم تقديم دراسات حالات للتنفيذ التقني الناجح لمزودي الخدمات الألمان في المناطق والمجالات الصناعية.

## أهمية القطاعات الاقتصادية الفردية.




شكل ١: التقييم شبه الكمي لأهمية القطاعات الاقتصادية الفردية في المناطق (٢٠٢٠) (بناءً على[٣])

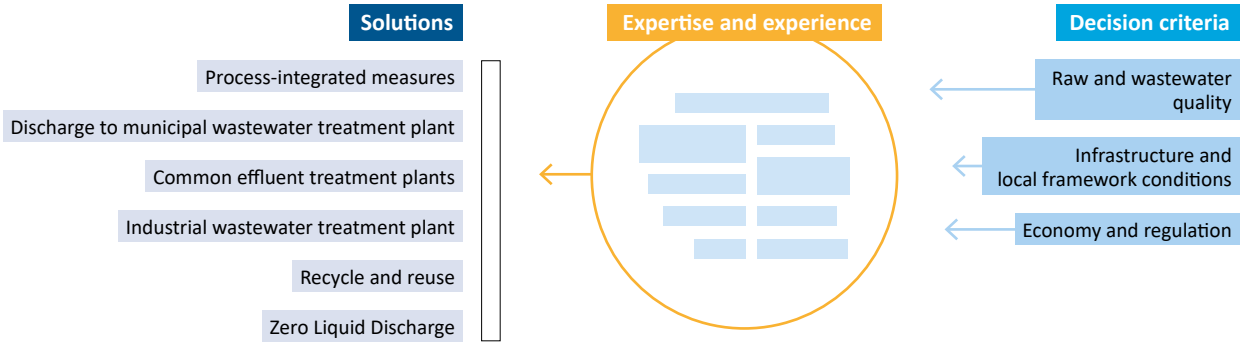
### مياه الصرف الصناعي في الهند ومنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

**الهند**

يعد اقتصاد الهند، الذي هو بالفعل سادس أكبر اقتصاد في العالم، من الاقتصاديات الأسرع نموًا أيضًا [٢]. تعد الهند، التي يبلغ تعداد سكانها ١,٣٥ مليار نسمة، ثاني أكبر دولة من حيث عدد السكان في العالم بعد الصين. وبوصفها قوة اقتصادية متنامية، هناك العديد من الشركات المحلية والدولية التي تمثل الصناعة الهندية في جميع القطاعات ذات الصلة تقريبًا (شكل ١). ويتزايد الضغط على الشركات من اللوائح البيئية الصارمة وأهداف الاستدامة بشكل مطرد، مما يؤدي إلى إعادة التفكير بشكل عام في استخدام المياه كمورد. والموضوعات الرئيسية حاليًا هي تجنب تصريف مياه الصرف من خلال "الطرح منعدم السوائل لمياه الصرف" (ZLD) في الشركات الكبيرة، وإنشاء محطات معالجة مركزية لمياه الصرف الصناعي.

يعد الطرح منعدم السوائل لمياه الصرف هو الموضوع ذا الأهمية المُطلقة، على وجه الخصوص، وذلك بسبب مجاري مياه الصرف شديدة التلوث من القطاعات الفرعية الفردية. وتعد لوائح الطرح منعدم السوائل لمياه الصرف إلزامية حاليًا للصناعات في حوض نهر الغانج وفروع معينة من الصناعات في بعض الولايات الفردية (على سبيل المثال لمعالجة المنسوجات في ولاية تاميل نادو). ومن المحتمل أن يتم توسيع تطبق هذه اللوائح لتشمل مجالات صناعية أخرى ذات كثافة عالية من الصناعات ذات الصلة بالبيئة، مثل إنتاج المنسوجات والجلود، والورق، والكيماويات والأدوية، وصناعة الأغذية ومعالجة المعادن [٣]. ومن المتوقع أيضًا أن يصبح النظام التنظيمي أكثر صرامة في المستقبل بسبب زيادة المراقبة عبر الإنترنت لمياه الصرف الصناعي، والتي تتطلبها اللجنة المركزية لمكافحة التلوث.

ما يسمى "محطات معالجة النفايات السائلة المشتركة" (CETP) آخذة في الظهور بشكل متزايد لحل مشاكل تصريف مياه الصرف الخاصة بالشركات التجارية الصغيرة والمراكز الصناعية. يوجد حاليًا ما يقرب من ٢٠٠ محطة CETP في الهند. بسبب التغييرات التي طرأت على التشريعات والمسؤولية القانونية، أصبحت متطلبات الحماية البيئية التقنية في محطات CETP أكثر صرامة.كما تم تغيير عقود صيانة المواقع من عام واحد بعد التشغيل إلى ١٥ عامًا للتشغيل والصيانة، مما سيؤدي إلى زيادة الاهتمام بالتقنيات طويلة الأمد [٤]. وعلاوةً على ذلك، يمكن ملاحظة زيادة بناء وتوسيع المجمعات الصناعية، مما سيزيد من عدد الإمكانيات المتاحة لبناء محطات CETP. توفر الحكومة الهندية ما يصل إلى ٧٥ ٪ من الأموال المخصصة للاستثمار لمحطات CETP [٣].




شكل ٢: عرض تخطيطي للعمليات لإيجاد الحلول التقنية في معالجة مياه الصرف الصناعي

## Decision criteria

| Raw and wastewater quality | Infrastructure and local framework conditions | Economy and regulation |
|---|---|---|
| • Volume<br>• Temperature<br>• Pollutants: organics, nutrients, solids, salts, metals, toxic/refractory, compounds<br>• Water/resource recovery potential | • Fresh water availability and quality<br>• Spatial footprint<br>• Accessibility of municipal wastewater treatment facilities<br>• Disposal options for waste/sludge<br>• Closed loop system potential (energy, resources, water)<br>• Technology availability (local/imported)<br>• Potential synergies with local industries<br>• Supply chain security<br>• Stability of energy supplies<br>• Availability expertise/ specialists<br>• Potential for digitisation and automation | • Regulation and enforcement<br>• (National) environmental monitoring schemes<br>• Available investment capital<br>• Costs for raw water, treatment, discharge, external wastewater treatment and energy<br>• Sustainability goals<br>• Energy/carbon reduction targets |

شكل ٣: تصنيف وإدراج أهم الشروط الإطارية وأسس اتخاذ القرار لإيجاد الحلول التقنية

**منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا**

يبلغ عدد سكان دول مصر، والأردن، وتونس، والمغرب إجمالًا حوالي ١٦٣ مليون نسمة. وهي تمثل قوى اقتصادية مهمة للغاية بالنسبة إلى شمال إفريقيا والشرق الأوسط [٥] . الفروع الهامة للاقتصاد هي الصناعات الغذائية والصناعات الكيماوية وإنتاج المنسوجات والجلود وكذلك التعدين (شكل ١) – وهنا تجدر الإشارة على وجه الخصوص إلى احتياطيات الفوسفات في المغرب، وهي من أكبر الاحتياطيات في العالم. حيث أن ندرة الموارد المائية نتيجةً لتغير الظروف المناخية، واللوائح البيئية الأكثر صرامة من قبل الحكومات المسؤولة تؤثر بشكل متزايد على الشركات في المنطقة.

هنا أيضًا، يمكن ملاحظة اتجاه نحو إنشاء مجمعات صناعية مركزية، بما في ذلك المعالجة المركزية لمياه الصرف المرتبطة بها [٦]. وعلاوةً على ذلك، هناك سعي لزيادة معدل انضمام الشركات الصناعية في المنطقة، كما يتم الترويج لذلك في مبادرة حكومية في الأردن على سبيل المثال [٧] . تلعب إعادة استخدام المياه والموارد التي تحتوي على المياه أيضًا دورًا رئيسيًّا في مفاهيم المياه الصناعية. وينصب التركيز الرئيسي هنا في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا على استخدام هذه المياه لري النباتات. وفي هذا السياق، يجب أن تقلل المبادئ التوجيهية والحد الأدنى من المعايير القانونية بشأن إعادة استخدام المياه من مخاطر التلوث على الإنسان والبيئة بشكلٍ كبير. والإطار التنظيمي هو الأكثر تطورًا في الأردن؛ حيث يوجد بها ما يسمى "سياسة إحلال المياه وإعادة استخدامها" منذ عام ٢٠١٦. ويلخص مجلد "إعادة استخدام ما هو غير صالح للشرب" للجمعية الألمانية لإدارة المياه والصرف والنفايات (DWA) الإرشادات حول عمليات المعالجة المحتملة لطرق إعادة استخدام المياه المختلفة [٨].

**تلعب إعادة استخدام المياه والموارد التي تحتوي على المياه أيضًا دورًا رئيسيًّا في مفاهيم المياه الصناعية.**

### مياه الصرف الصناعي

على الرغم من أن المناطق المعنية مختلفة تمامًا ثقافيًّا واقتصاديًّا، إلا أن لها إسهامات قوية أيضًا في هذا - لا سيما فيما يتعلق بأهمية القطاعات الصناعية المختلفة، كما يمكن رؤيتها في شكل ١ .

تتمثل الدوافع الرئيسية لتحسين وضع مياه الصرف الصناعي في الهند، ومنطقة الشرق الأوسط، وشمال إفريقيا في الوفاء بالمتطلبات القانونية الصارمة بشكل متزايد ومحدودية توافر المياه العذبة (إقليميًّا). ويعتمد التنفيذ الأمثل لمعالجة مياه الصرف بشكل كبير على الإطار الفني والجغرافي والاقتصادي والتنظيمي المحدد (شكل ٢).

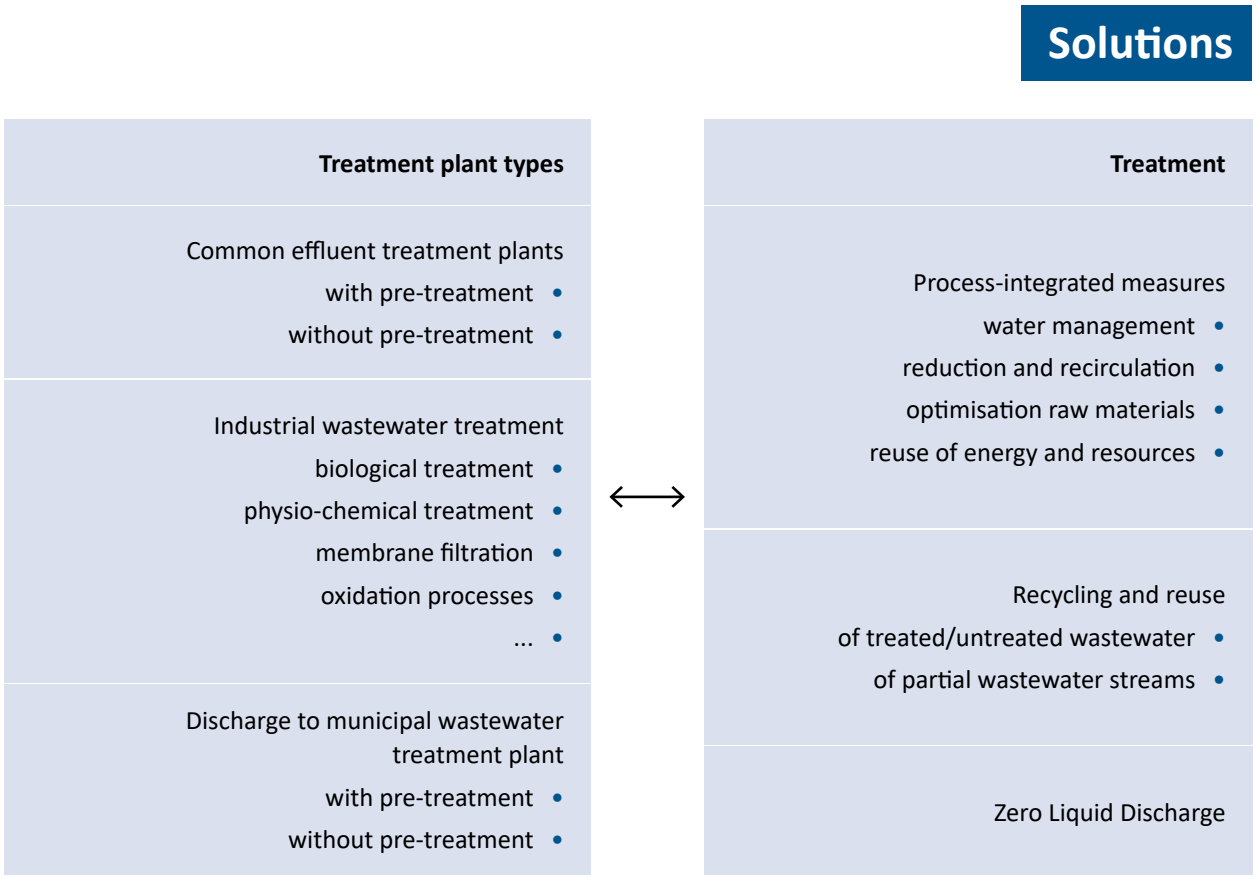
الأساس الأهم لاختيار التقنية هو كمية مياه الصرف الناتجة وتكوينها، ولكن يجب أيضًا مراعاة ظروف البنية التحتية، مثل إمكانيات الحصول على الموارد والتخلص من النفايات. من الناحية الاقتصادية، يلعب رأس المال المتاح وهياكل التكلفة والخبرة المتخصصة في الموقع دورًا حاسمًا. وتعتمد درجة معالجة مياه الصرف، وإذا لزم الأمر، إعادة استخدام المياه على العوامل البيئية، مثل حساسية مياه المصرف المستقبَلة والتوافر العام للمياه العذبة في الموقع، وبالطبع أيضًا على المتطلبات واللوائح القانونية (شكل ٢). يتم تضمين جميع العوامل ذات الصلة في نهاية المطاف في عملية اتخاذ القرار الفني لمعالجة مياه الصرف الصناعي. بالإضافة إلى مشغلي المنشآت الصناعية، عادةً ما يتم إشراك مقدمي الخدمات التقنية الذين لديهم وفرة من الخبرة المناسبة. كما تضمن مشاركة الاتحادات الصناعية والمؤسسات البحثية أيضًا نقل المعرفة والابتكار (شكل ٤).

شكل ٤: التعاون بين الجهات الفاعلة، التي تتدفق خبرتها الكبيرة في سبيل إيجاد الحل التقني

يجب أن تكون الأولوية القصوى في اتخاذ القرار الفني راجعة إلى اتباع نهج تكاملي من شأنه إتاحة ضمان أفضل استخدام ممكن لمورد المياه من خلال الاستخدام المعقول لأوجه التآزر بين العمليات (الفرعية). ومن الأمثلة الإيجابية على نهج الحل التقني الشامل، معالجة مياه الصرف التي تنفذها شركة Remondis في موقع طلاء جلفاني كيميائي/بلاستيكي هندي (٢٨ .ص). المعالجة المسبقة المحددة والتنقية الإضافية تسمح بإعادة استخدام ٩٠٪ من المياه. كما يمكن أيضًا تحقيق الاستخدام الأمثل من خلال بناء محطات معالجة مياه الصرف الصناعي المشتركة (CETP). وفي كلٍ من الهند ودول الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، يمكن رؤية اتجاه عام نحو المجمعات الصناعية المركزية وبالتالي محطات مركزية لمعالجة مياه الصرف. ومع ذلك، من المهم هنا تقييم مزايا وعيوب سيناريوهات المعالجة المختلفة بعناية – ويمكن أن تكون المعالجة المشتركة لمياه الصرف فعالة للغاية، خاصةً بالنسبة إلى المنشآت العاملة في فروع

الصناعة المماثلة، بينما في حالات أخرى، غالبًا ما تكون المعالجة المنفصلة (المسبقة) ضرورية. يمكن أن يشمل التنفيذ التقني المحدد لمعالجة مياه الصرف في النهاية – اعتمادًا على هدف المعالجة وظروف الموقع – مراحل معالجة مختلفة، مثل العمليات البيولوجية أو الكيميائية الفيزيائية أو الترشيح بالأغشية (شكل ٥).

غالبًا ما تثير الشروط الإطارية الجغرافية المعنيّة اعتبارات لإعادة استخدام مياه الصرف أو الاستخدام الإضافي لها في المناطق المشمولة. ومع ذلك، من المهم أيضًا تضمين العوامل الفنية والمتطلبات القانونية: يجب أن يكون النظام قادرًا على العمل بكفاءة – أيضًا فيما يتعلق بالاحتياج للطاقة - وأن يضمن الامتثال للقيم التوجيهية والقيم الحدية (إن وجدت). وهذا ينطبق بشكل خاص على تنفيذ أنظمة ذات طرح منعدم السوائل لمياه الصرف، والتي يتم الترويج لها حاليًا في كلٍ من الهند ومنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا من خلال المبادرات الحكومية. المكونات التقنية التي تم تطويرها لمواجهة التحديات المذكورة متاحة اليوم. ومع ذلك، فإن أساس التخطيط والتصميم المدروس جيدًا لمعالجة مياه الصرف هو في المقام الأول وجود قاعدة بيانات سليمة حول سعة مياه الصرف وتكوينها والشروط الإطارية الأخرى. وفي النهاية، تعد مراقبة تشغيل المحطة من قِبل المشغل ومراقبة نوعية مياه الصرف من قِبل السلطات المسؤولة أمرًا ضروريًّا للامتثال الموثوق به لشروط الصرف لحماية الموارد المائية. □




شكل ٥: نظرة عامة على الحلول التقنية الممكنة لمعالجة مياه الصرف الصناعي اعتمادًا على الأولويات في كل حالة على حدة

# ١ استخراج النفط والغاز

## المعلومات الخاصة بالبلد

### الهند

يبلغ مقدار الضخ السنوي لصناعة النفط والغاز الهندية حوالي ٣٤ مليون طنًا من النفط الخام وحوالي ٣٢ مليون مترًا مكعبًا من الغاز الطبيعي وتحتل الهند المرتبة رقم ٢٤ بين الدول المنتجة للنفط [٩]. تمتلك الدولة ٢٦ حوضًا رسوبيًا تبلغ مساحتها الإجمالية ٣,١٤ مليون كيلومترًا مربعًا، منها ١,٣٥ مليون كيلومترًا مربعًا في المياه العميقة (أعمق من ٢٠٠ متر). وبالتالي فإن نسبة كبيرة نسبيًا من احتياطيات النفط والغاز موجودة على اليابسة، مما يسهل عملية الإنتاج. وأهم الترسبات موجودة في ولاية آسام وقبالة الساحل الغربي (النفط والغاز)، وفي ولاية غوجارات (النفط) وقبالة الساحل الشرقي للبلاد (الغاز). لم يتم استكشاف نسبة كبيرة من الأحواض الرسوبية في الهند بالقدر الكافي أو لم يتم استكشافها على الإطلاق حتى الآن، وبمتوسط كثافة يبلغ بئر واحدة لكل ٢٥٠ كيلومترًا مربعًا. في غرب البلاد على وجه الخصوص، هناك احتياطيات نفطية أكبر (حوالي ٧٠٠ مليون طن) تنتظر الاستكشاف.

تحاول الدولة تلبية الطلب الوطني المتزايد على النفط والغاز من خلال زيادة عمليات استكشاف الترسبات (بما في ذلك المصادر غير التقليدية أو في المياه العميقة). وينصب التركيز أيضًا على تحسين إنتاجية أنظمة الاستخراج الحالية. بالإضافة إلى عدد قليل من المستثمرين المحليين والأجانب من القطاع الخاص، وتهيمن الشركات الوطنية الكبرى على قطاع النفط والغاز الهندي بشكل أساسي - ومن أهمها شركة ONGC (Oil and Natural Gas Corporation)، وشركة Reliance Industries وشركة Indian Oil [١٠]. وتتمثل التحديات التي تواجه تنفيذ المشاريع الاستثمارية أحيانًا في الشروط الإطارية التنظيمية المعقدة وتعديل الدولة لأسعار المنتجات النفطية [١١].

### منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

أهم الدول المنتجة للنفط في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا هي المملكة العربية السعودية وإيران والعراق والكويت والإمارات العربية المتحدة. وفي القارة الأفريقية، تلعب مصر دورًا مهمًا إلى جانب الجزائر وليبيا (شكل ١). ومصر هي أكبر منتج للنفط في أفريقيا خارج منظمة أوبك، وثالث أكبر منتج للغاز في القارة وتستفيد من موقعها الاستراتيجي الرائع على قناة السويس. وأهم ترسبات النفط والغاز موجودة في الصحراء الغربية وخليج السويس. في السنوات الأخيرة، تم اكتشاف ترسبات كبيرة من الغاز الطبيعي، والتي يتم الآن استغلالها من قِبل المستثمرين المحليين والدوليين. وأحدها هو أكبر حقل غاز معروف في منطقة البحر الأبيض المتوسط- حقل ("ظُهر") – والذي تم اكتشافه لأول مرة في عام ٢٠١٥ [١٢]. تشارك كل من الشركات الوطنية والدولية (مثل شل، بي بي) في عمليات الاستكشاف في مصر [١٣].

وبالمقارنة المباشرة، فإن تونس ليست سوى منتج صغير للنفط والغاز (شكل ١) وتهيمن الشركات الوطنية على السوق هناك [١٣]. وأهم الترسبات هي البرمة وحقول زارات وميسكار المطوَّرة حديثًا (في المياه العميقة) [١٤]. وعلاوةً على ذلك هناك نوعان من التكوينات الصخرية المهمة في جنوب البلاد، واللذان سيتم استخدامهما كمصدر غير تقليدي في المستقبل [١٥] أما في الأردن والمغرب، لا تزال عمليات تطوير احتياطيات النفط والغاز في بداياتها (شكل ١). حيث يغطي كلا البلدين معظم احتياجاتهما من الطاقة بالواردات، ولم ينتجا حتى الآن سوى كميات صغيرة نسبيًّا من النفط الخام والغاز الطبيعي. ويشارك عدد من الشركات الوطنية بالإضافة إلى جميع الشركات الدولية المعروفة تقريبًا (شل بيبي و ENI وRepsol) في عمليات التنقيب [١٦]. تلعب التكوينات الصخرية دورًا مهمًّا في كلٍ من الأردن والمغرب – حوالي ٧٠٪ من مساحة الأردن مغطاة بالصخر الزيتي (حوالي ٣٠ مليون طن من النفط وبالتالي تعد رابع أكبر احتياطي في العالم). ومع ذلك، فهو يعد مورد صعب الاستخدام نسبيًّا [١٧، ١٨].

# كميات الضخ والاحتياطيات.

## إنتاج مياه الصرف في الصناعة

يشمل القطاع الصناعي لإنتاج النفط الخام والغاز الطبيعي التنقيب عن الترسبات وتطويرها من خلال آبار الاستكشاف وكذلك التشغيل المنتظم لآبار الإنتاج. وبالإضافة إلى حقول النفط والغاز التقليدية، يتم أيضًا استغلال المصادر غير التقليدية بشكل متزايد من خلال التكسير. في عملية التكسير، يتم ضخ سائل التكسير في آبار التنقيب تحت ضغطٍ عالٍ (عادةً بمئات البارات) من أجل اختراق الصخر التخزيني هيدروليكيًا وبالتالي زيادة نفاذية النفط أو الغاز.

يتم استخدام كميات كبيرة من المياه في جميع مراحل إنتاج النفط الخام والغاز الطبيعي، من حفر الآبار إلى عمليات الإنتاج. كل متر مكعب من النفط المستخرج يحتاج إلى حوالي ٣ متر مكعب من الماء وفقًا للمتوسط العالمي – مع اتجاه تصاعدي في النسبة. يعد أهم مجرى

## كميات الضخ والاحتياطيات.

| | مقدار الضخ [مليار متر مكعب في العام] | الاحتياطيات [مليار متر مكعب] | كمية الإنتاج [مليار طن في العام] | الاحتياطيات [مليون طن] |
|---|---|---|---|---|
| مصر | ٥٩,٩ | ١,٧٨٤,٠ | ٣٣,٧ | ٥٠٤,٠ |
| تونس | ١,٢ | ٦٥,١ | ٢,١ | ٥٦,٠ |
| الأردن | ٠,١ | ٥,٧ | ٠,٠٢ | ٠,١ |
| المغرب | ٠,١ | ١,٤ | ٠,٠١ | ٠,١> |

شكل ١: كميات الضخ واحتياطيات النفط الخام والغاز الطبيعي في بلدان مختارة في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا (٢٠١٨) [١٩، ٢٠، ٢١]

مياه صرف من حيث الكمية ينشأ عند الاستخراج التقليدي هو مجرى مياه الترسبات. تتولد مياه الصرف أيضًا عند غمر آبار التنقيب المتقادمة بالمياه. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تنشأ العديد من أنواع الحمأة (أثناء التنقيب) ومياه التبريد التي يجب معالجتها والتخلص منها. عند استخراج النفط الرملي، تصبح برك مخلفات التنقيب مصدرًا معتبرًا لمياه الصرف. في التكسير الهيدروليكي، تصبح نسبة كبيرة من سائل التكسير المستخدم مياه مرتدة [٢٢].

لا يمكن خلط مجاري مياه الصرف المختلفة إلا بنسبة محدودة، حيث يمكن أن تؤدي المعادن والأملاح الذائبة إلى ترسبات ورواسب في الأنابيب أو الأنظمة أو آبار التنقيب. يمكن للمشغلين زيادة إنتاجيتهم إلى الحد الأقصى عن طريق تقليل فاقد الزيت في مياه الصرف واستعادة الزيت القابل للبيع. وكذلك في المناطق التي تعاني من ندرة المياه، لا يمكن أن تمثل معالجة مياه الصرف وإعادة استخدامها ميزة بيئية فحسب، بل ميزة اقتصادية أيضًا [٢٣]. قبل ذلك، يجب تحليل مجاري مياه الصرف فيما يتعلق بالملوثات التي تحتويها، ويجب مراعاة المخاطر المحيطة بصحة الإنسان، والتربة، والمياه الجوفية والنباتات، كما يجب تحديد المتطلبات والتدابير المناسبة.

| المعلمة | التركيز | الوحدة |
|---|---|---|
| القدرة على التوصيل | ٤,٢٠٠-٥٨,٦٠٠ | ميكروسيمنز/سم |
| الأس الهيدروجيني | ٤,٣-١٠ | - |
| كربون عضوي إجمالي (TOC) | ١,٥٠٠-٠٠ | مجم/لتر |
| مواد صلبة | ١,٢-١٠,٦٢٣ | مجم/لتر |
| الزيت والشحم | ٢-٥٦٥ | مجم/لتر |
| نيتروجين الأمونيوم | ١٠-٣٠٠ | مجم/لتر |
| كلوريد | ٨٠-٢٠٠,٠٠٠ | مجم/لتر |
| كبريتات | <٢-١,٦٥٠ | مجم/لتر |

جدول ١: معلمات الجودة النموذجية لمياه الترسبات الناتجة من إنتاج النفط الخام [٢٦]

# مجاري مياه الصرف وخصائصها

## مياه الترسبات

مياه الترسبات هي المياه المخزنة في التكوينات الجيولوجية التي تأتي إلى السطح من خلال آبار الإنتاج. ويحتوي الماء على أنواع مختلفة من المخلفات من التكوين الجغرافي المخزن حتى التشبع، بما في ذلك الهيدروكربونات السائلة أو الغازية والمواد العضوية الأخرى (مثل البنزين والتولوين وإيثيل البنزين والزيلين والنفثالين والفينول) إما في صورة مذابة أو عائمة كزيت حر. وتحتوي مياه الترسبات أيضًا على معادن ثقيلة ومخلفات غير عضوية أخرى - بعضها ذو نشاط إشعاعي طبيعي - والتي تتراكم بشكل انتقائي في الماء اعتمادًا على التكوين الجيولوجي (مثل اليورانيوم والراديوم والرادون والرصاص والزرنيخ والكادميوم والكبريتيدات). ونظرًا لوقت المكوث الطويل في طبقات الصخور العميقة، يمكن أن تكون درجات حرارة المياه المتسربة عالية (تصل إلى ١٥٠ درجة مئوية) وبعد مرورها عبر بئر التنقيب يمكن أيضًا أن تتلوث بالمواد الكيميائية الخاصة بعملية الإنتاج (مثل مثبطات التآكل، كسارات المستحلب، المبيدات الحيوية) [٢٢، ٢٤].

في معظم الحالات، تمثل مياه الترسبات أكبر تيار نفايات في عملية إنتاج النفط والغاز، وتزداد نسبة المياه المنتجة مع تزايد عمر بئر التنقيب. وتتطلب الملوثات تعامل واعٍ ومعالجة دقيقة قبل التخلص منها (جدول ١). يوصى اليوم بإعادة استخدام مياه الترسبات بعد المعالجة المناسبة، على سبيل المثال كمياه غمر، من أجل حماية البيئة وتوفير موارد المياه. بدلًا من ذلك، يمكن أيضًا التخلص من تيار النفايات في آبار التنقيب الغاطسة أو تصريفه في البيئة كمياه صرف. وأفضل التقنيات المتاحة هي معالجة مياه الترسبات من خلال العمليات الفيزيائية والكيميائية حتى الوصول إلى التوافق البيئي [٢٥]. نوعية المياه المقبولة للتصريف في المياه السطحية ذات محتوى هيدروكربوني لا يزيد عن ١٠ مجم/لتر، على سبيل المثال (شكل ٢).

### مياه مرتدة

المياه المرتدة هي سائل التكسير المعتمد على الماء المستخدم في نظام التكسير بالمياه المرتدة، والذي يعود إلى السطح من خلال بئر التنقيب بعد الانتهاء من الإجراءات. تكون كمية المياه المرتدة حوالي ١٠-٣٠٪ من كمية سائل التكسير المستخدم وتعتمد أيضًا على عدد مراحل التكسير المنفَّذة وظروف الترسيبات. وتتنوع محتويات المياه المرتدة، كما أنها تتكون من إضافات كيميائية في سائل التكسير والشوائب التي تم التقاطها في حفرة بئر التنقيب. ويشتمل سائل التكسير على عدة مواد، منها الرمل ومثبطات التآكل أو الأحماض أو المبيدات الحيوية أو مواد التشحيم أو مواد خافضة للتوتر السطحي. الملوثات الجيولوجية ذات الصلة المتكرر ظهورها من حفرة بئر التنقيب هي الهيدروكربونات العطرية (مثل البنزين والتولوين وإيثيل البنزين والزيلين)، والمواد المرتبطة بالجسيمات ذات النشاط الإشعاعي الطبيعي المتزايد ومركبات الزئبق المتطايرة [٢٢، ٣٠].

جديرٌ بالذكر أن أهم طرق التخلص من المياه المرتدة هي الترسيب في آبار التنقيب الغاطسة، أو إعادة استخدامها في إجراءات الاستخراج الثانوية أو الثلاثية. فبعد المعالجة المناسبة، يمكن أيضًا التخلص منها في البيئة. ويمكن أن تمثل بعض الشوائب تحديًا تقنيًا فيما يتعلق بإعادة الاستخدام ومعالجة مياه الصرف – على سبيل المثال، يمكن أن تنسد المرشحات والفلاتر ذات الترشيح الحبيبي وأجزاء النظام الأخرى بسبب المواد الهلامية البوليمرية أو المواد الصلبة أو الرواسب.

### مياه الغمر

يتم استخدام مياه الغمر من ناحية لإجراء اختبارات الإحكام ومقاومة الضغط الهيدروستاتيكية على الأنظمة. ومن ناحية أخرى، فإن غمر آبار التنقيب بالمياه ينظف الآبار وبالتالي يحفز تدفق النفط. لتثبيت مياه الغمر، عادةً ما تحتوي على عدد من الإضافات الكيميائية، مثل مثبطات التآكل، والمبيدات الحيوية، وحافظات

شكل ٢: جودة المياه المقبولة لتصريف مياه الترسبات المعالجة في المياه السطحية [٢٧] [٢٨] [٢٩]

الأكسجين، والأحماض، وأحيانًا المواد المقتفية. تتلوث مياه الصرف الناتجة بعد الاستخدام أيضًا بمواد من حفرة بئر التنقيب، مثل الزيوت والشحوم والهيدروكربونات الأخرى (مثل البنزين والتولوين وإيثيل البنزين والزيلين) وكذلك المواد الصلبة والحديد، والكلور في كثيرٍ من الأحيان [٢٢]. وأفضل التقنيات المتاحة اليوم هي إعادة استخدام مياه الغمر، وذلك بعد المعالجة في الموقع أو من قبل طرف ثالث إن لزم الأمر. عندما يتعين التخلص منها، فيجب تنظيفها عضويًّا وكيميائيًّا مع إجراء فحص لاحق للجودة [٢٥].

# طريقة المعالجة

### اختيار الطريقة ومراحلها

يعتمد اختيار طريقة معالجة مياه الصرف على التكوين وظروف الترسيبات الجيولوجية المحددة في الموقع وعملية إعادة الاستخدام المطلوبة أو الاستخدام الإضافي للتيارات المائية. كقاعدة عامة، تتم المعالجة المسبقة باستخدام عمليات الفصل الفيزيائية والكيميائية أولًا. ويشمل ذلك التصفية الخشنة باستخدام الشبكات، أو المرشحات أو الفلاتر ذات الترشيح الحبيبي، أو الترسيب مع التخثر الكهربائي أو الكيميائي لإزالة المواد الصلبة العالقة.

عادةً ما يكون من الصعب إجراء معالجة أخرى بواسطة العمليات البيولوجية بسبب صعوبة تحلل المواد العضوية القابلة للتحلل في مياه الصرف. بدلًا من ذلك، يتم استخدام عدة مراحل من العمليات الفيزيائية والكيميائية المتقدمة لأداء مهام الفصل التالية [٣١]:

- عملية إزالة لاحقة للمواد الصلبة العالقة
- الفصل الخشن والدقيق للزيوت والشحوم المشتتة وغير المذابة
- فصل الهيدروكربونات الذائبة الأخرى في نطاق التركيز المنخفض
- تنضيب المعادن الثقيلة المذابة

في حالة إعادة استخدام مجرى مياه الصرف أو إعادة استخدامه بعد المعالجة – على سبيل المثال كمياه غمر أو أحد مكونات سائل التكسير – يجب أن يفي اختيار العملية بمعايير جودة أعلى. في معظم الحالات، يجب توفير عملية إضافية لإزالة الملح على الأقل.

### معالجة لاحقة

لفصل المواد الصلبة والزيوت، تُستخدم عمليات الفصل الفيزيائي في الغالب في المعالجة اللاحقة، والتي تستفيد من الاختلاف في كثافة المراحل المختلفة. يمكن المساعدة في فصل الجسيمات العالقة الدقيقة عن طريق معايرة المواد الندفية، بينما يمكن معايرة قاطع المستحلب لفصل الزيوت المشتَّتة. على وجه التحديد، يمكن استخدام التقنيات التالية [٢٥، ٣٢]:

- الفرز بالجاذبية
- الدوامات المائية
- الكاشطة
- أجهزة الطرد المركزي
- تعويم الغاز

بعد فصل المراحل، تظل هناك في مياه الصرف شوائب عضوية وغير عضوية في صورة مذابة، وعادةً ما تكون هيدروكربونات ومعادن ثقيلة. في معظم الحالات، تتم إزالتها من مياه الصرف عن طريق عمليات الفصل الكيميائي، ولكن اعتمادًا على حالة الاستخدام، يمكن أيضًا استخدام عمليات الترشيح الخاصة أو العمليات الحرارية. العمليات الأساسية الأكثر شيوعًا هي كما يلي [٢٥]:

- الترشيح الغشائي
- الامتزاز
- استخلاص البوليمر
- النزع بالبخار

### إعادة الاستخدام

عادةً ما يلزم إجراء عملية إضافية لإزالة الملح لإعادة استخدام مياه الصرف في استخراج النفط والغاز[٣٣]. حيث يتم إزالة كل من الكاتيونات (مثل الصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم) والأنيونات أيضًا (مثل الكلوريد والنترات والكبريتات). وعادةً ما يتم استخدام الإجراءات الآتية:

- التبادل الأيوني
- طريقة الترشيح بالأغشية
- التقطير □

دراسة الحالة: معالجة مياه الصرف في مصفاة الزيوت المعدنية في مقاطعة شاندونغ في الصين

# وحدات المفاعل الحيوي الغشائي الصناعي (MBR)

## الخلفية

يعد تكرير النفط الخام صناعة مهمة في جميع أنحاء العالم، بما في ذلك الهند وشمال إفريقيا. وأثناء المعالجة البيولوجية لمياه الصرف من مصافي البترول، غالبًا ما يؤدي تكوين مياه الصرف المعقد والنسبة العالية نسبيًا من الزيت الموجودة به إلى مشاكل في الالتزام بقيم الصرف المنصوص عليها. ومن التحديات التي تظهر هنا أحيانًا هو أداء الترسيب الضعيف للحمأة المنشطة في المعالجة النهائية للبيولوجيا وتشكيل ما يسمى بالحمأة العائمة، والتي يتعذر حجزها في المعالجة النهائية. ولهذا السبب، يتم استخدام تقنيات معالجة مياه الصرف في هذا المجال والتي توفر مستوى عالٍ من السلامة التشغيلية. لذلك، تم اختيار تقنية المفاعل الحيوي الغشائي (MBR) لمعالجة مياه الصرف في المشروع المقام في مقاطعة شاندونغ/الصين.

## تحدي خاص/طرح خاص للمشكلة

تأتي مياه الصرف المراد معالجتها من عمليات تكرير النفط الخام، وتحتوي بالإضافة إلى القيم العالية من COD و BOD، على نسب عالية من الزيوت والمذيبات. ومن أجل الامتثال لقيم الصرف المنصوص عليها قانونًا (جدول ١) بعد معالجة مياه الصرف، تم اختيار إدارة عمليات مناسبة. ويمكن أن تسبب المذيبات والزيوت ومواد القطران الموجودة في الزيت الخام على وجه الخصوص مشاكل في تشغيل النظام. ولا يمكن إجراء عمليات التحلل الموثوق بها لكل من BOD و COD في المرحلة البيولوجية إلا إذا تم فصل هذه المواد مسبقًا. وعلاوةً على ذلك، يجب التأكد من أنه - حتى مع خصائص الترسيب الضعيفة للحمأة من حيث البيولوجيا وتكوين الحمأة العائمة – يتم استبعاد حدوث تزايد في المحتوى الصلب وما يرتبط به من تزايد قيم COD و BOD في تصريف محطة معالجة مياه الصرف. وهذا الجانب على وجه الخصوص يحدد مسبقًا عملية هجينة مدعومة بالغشاء يمكنها تحقيق أدنى تركيز للمواد الصلبة في سياق المرحلة البيولوجية.

## نهج الحل

بسبب الأداء غير الكافي، تم تحويل محطة معالجة مياه الصرف في مصفاة النفط في مقاطعة شاندونغ في الصين إلى حل مفاعل نووي غشائي مع وحدات MICRODYN BIO-CEL® XL. حيث تم استخدام ١٤ وحدة من وحدات BIO-CEL XL في محطة معالجة مياه الصرف، والتي توفر مساحة غشاء كلية تبلغ ٢٦,٨٨٠ مترًا مربعًا. وتم ترتيب

| المعيار | المدخل | المصرف | ضروري |
|---|---|---|---|
| COD [مجم/لتر] | ٧٠٠ | ≥ ٦٠ | ≥ ٧٠ |
| BOD [مجم/لتر] | ٢٠٠ | ≥ ١٥ | ≥ ٢٠ |
| نيتروجين إجمالي [مجم/لتر] | ١٠٠ | ٨ | ≥ ١٥ |
| فوسفور إجمالي [مجم/لتر] | ٣ | ٠ | ≥ ١ |
| TSS [مجم/لتر] | ٢٣٠ | ≥ ١٠ | ≥ ١٠ |
| الزيت [مجم/لتر] | ٢٥ | ٠ | ≥ ٥ |
| العكارة (NTU) | - | ≥ ٠,٥ | ≥ ١ |

جدول ١ معلمات المدخل والمصرف

شكل ١: وحدات غشائية مغمورة (يمينًا) بعد التركيب و (يسارًا ) أثناء التشغيل

الوحدات في خطي ترشيح منفصلين في حوضٍ واحد. تبلغ معدلات التدفق القصوى ١٣,٥٠٠ والمتوسطة ٩,٦٠٠ متر مكعب/يوم. تشمل عمليات نظام مياه الصرف أيضًا:

- فاصل الزيت
- معالجة CAF (تكهف التعويم بالهواء)
- معالجة DAF (التعويم بالهواء المذاب)
- خزان موازنة
- خزان أساسي لا أكسجيني
- خزان ترسيب
- خزان ثانوي لا أكسجيني
- خزان ترشيح (MBR)

## النتائج

تُظهر نتائج نظام المفاعل الحيوي الغشائي الملخصة في الجدول ١ أن وحدات MICRODYN BIO-CEL® XL تعالج بنجاح مياه الصرف من مصافي البترول ويمكن أن تلبي باستمرار متطلبات التصريح البيئي لمياه الصرف. كما يتضح من الجدول ١، استوفى نظام المفاعل الحيوي الغشائي متطلبات مياه الصرف الخاصة بإجمالي المواد الصلبة (TSS) البالغة ١٠ مجم/لتر. حيث تم تخفيض قيم CODCOD و BOD والنيتروجين الإجمالي والفوسفور الإجمالي والزيت والعكارة بشكل كبير وتجاوزت متطلبات مياه الصرف للعميل. يتم مراقبة نظام الترشيح الغشائي عن طريق قياس التدفق والضغط عبر الغشائي والعكارة بشكلٍ مستمر.

## مساهمة التقنية المقدَّمة

يتيح تركيب نظام المفاعل الحيوي الغشائي تشغيلاً مستقرًا مع فصل كامل تقريبًا للمواد الصلبة حتى في ظل الظروف الصعبة (مثل الحمأة العائمة). توفر وحدات MICRODYN ذاتية الدعم المستخدمة هنا كثافة تعبئة عالية للغاية وتشغيلًا موفرًا للطاقة نسبيًّا. □

# ٢ الصناعة الكيميائية

## المعلومات الخاصة بالبلد

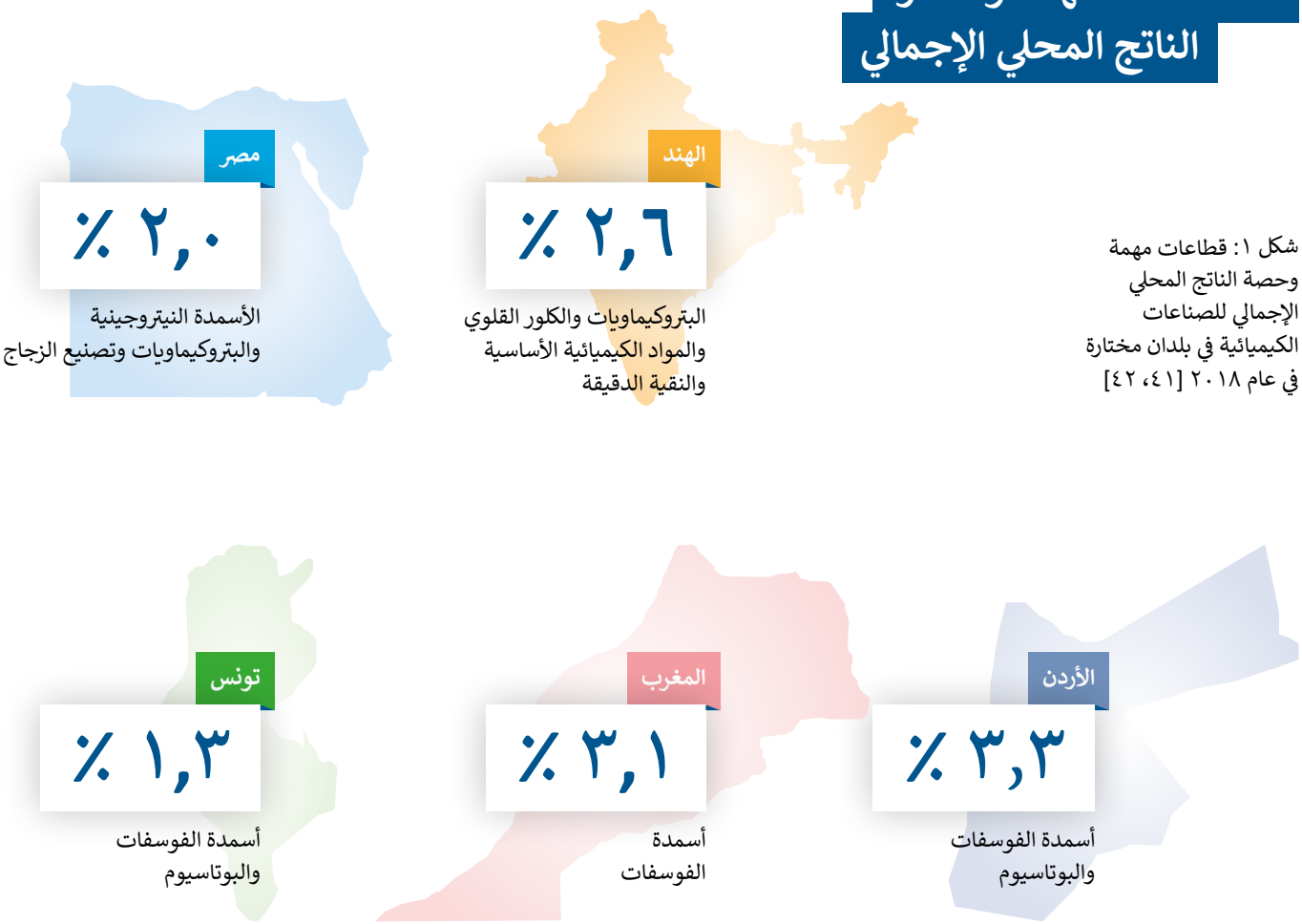
الهند

تعد الصناعة الكيميائية واحدة من أقدم الصناعات في الهند وتقدم مساهمة كبيرة في التنمية الاقتصادية الوطنية للبلاد. ويقع مقر معظم شركات تصنيع المواد الكيميائية في ولاية غوجارات، تليها ولاية ماهاراشترا ومناطق أخرى أقل أهمية. وتدعم الحكومة هذا الركيزة الهامة للاقتصاد من خلال السماح بالاستثمار الأجنبي المباشر بنسبة ١٠٠٪ وإنتاج معظم المنتجات الكيماوية (باستثناء المواد الخطرة) دون الحاجة للحصول على تصريح. في الخطة الخمسية الوطنية الأخيرة (٢٠١٢-٢٠١٧)، تم توفير ميزانية تعادل ٨٣ مليون دولار أمريكي، بالإضافة إلى تدابير تمويل مختلفة، لتحسين التوافق البيئي للصناعة. ويقدر نمو هذا القطاع بنحو ١٣ إلى ١٤٪ في الفترة بين ٢٠٢٠-٢٠٢٥، ونمو قطاع البتروكيماويات على وجه الخصوص بنسبة ٨ إلى ٩٪ [٣٤]. وفي ذلك الصدد، يمكن العثور على كلٍ من الشركات الكبيرة الوطنية والدولية. بعض منتجي المواد الكيميائية الرئيسيين في الهند هم شركات Aarti Industries و Atul و BASF و Evonik و Pidlite Industries و Tata Chemicals و UPL [٣٥].

القطاعات الرئيسية للصناعات الكيميائية في الهند هي كما يلي [٣٤]:

- البتروكيماويات والمواد الكيميائية الأساسية العضوية
- المواد الكيميائية الأساسية غير العضوية، ولا سيما صناعة الأسمدة وصناعة الكلور القلوي
- البوليمرات
- الكيماويات الدقيقة والخاصة ولا سيما المواد الملّونة والأصباغ
- الصناعة الدوائية

## القطاعات المهمة ومقدار الناتج المحلي الإجمالي




شكل ١: قطاعات مهمة وحصة الناتج المحلي الإجمالي للصناعات الكيميائية في بلدان مختارة في عام ٢٠١٨ [٤١، ٤٢]

### منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، تطورت الصناعة الكيميائية بشكلٍ وثيق مع تطور الموارد المتاحة، أي أن معالجة النفط الخام والغاز الطبيعي وكذلك المواد الخام المعدنية تلعب الدور الأكثر أهمية (شكل ١).

يعتبر إنتاج الأسمدة أهم وأسرع قطاع نمو في العديد من بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. تنتج مصر حوالي ٢ مليون طن من الأسمدة سنويًا مع اتجاه تصاعدي وهي أكبر منتج للأسمدة النيتروجينية (الأمونيوم/اليوريا) في المنطقة. وتهيمن على السوق شركات محلية مثل شركة أبو قير للأسمدة والإسكندرية للأسمدة [٣٦]. ومجالات الصناعة الأخرى ذات الصلة هي البتروكيماويات وإنتاج البوليمرات، خاصةً في المناطق الصناعية في القاهرة والإسكندرية وحلوان. كما تتابع الدولة أيضًا خطة عشرينية لتوسيع القدرات الإنتاجية لمادة (بولي) الإيثيلين والأوليفينات الأخرى [٣٧].

ومن الموارد الهامة الأخرى في المنطقة، معادن الفوسفات والبوتاسيوم. حيث تمتلك الأردن وتونس احتياطيات مماثلة وتنتج منها بشكل أساسي أسمدة الفوسفور والبوتاسيوم [٣٨]. يقع أكثر من ٧٠٪ من احتياطي الفوسفات العالمي على الأراضي المغربية، لذلك فإن معالجة الفوسفات وتحويله إلى أسمدة وإلى حمض الفوسفوريك تعد إلى حدٍ كبير أهم فرع في الصناعات الكيميائية [٣٩، ٤٠]. ترتبط الشركات المغربية والأردنية الرائدة في صناعة الأسمدة ارتباطًا وثيقًا بحكومات الولايات المعنية من خلال شراكات أو نماذج تمويلية.

# إنتاج مياه الصرف في الصناعة

تشمل الصناعة الكيميائية مجموعة متنوعة للغاية من المنتجات وعمليات الإنتاج. وتختلف العمليات المستخدمة اعتمادًا على القطاع الفرعي والمنتَج، على سبيل المثال في مسار التخليق المعنيّ والتحفيز وإدارة العملية. تشمل صناعة البتروكيماويات تكرير البترول، وإنتاج المواد الكيميائية الأساسية العضوية، على سبيل المثال عن طريق التكسير الحراري أو التحفيزي، وفي سياق ذلك، إنتاج البوليمرات بما في ذلك الألياف الصناعية. في صناعة الأسمدة، غالبًا ما تتم معالجة المواد الخام المعدنية مثل صخور البوتاسيوم أو الفوسفات. ويتم الحصول على الأمونيا، وهي المادة الأساسية للأسمدة النيتروجينية، باستخدام عملية هابر-بوش كثيفة الاستهلاك للطاقة. وتنتج صناعة الكلور القلوي الصودا الكاوية ومحلول هيدروكسيد البوتاسيوم والكلور، والهيدروجين كمنتج ثانوي. هذه هي المواد الخام الهامة لإنتاج المواد الكيميائية الأساسية غير العضوية، والمواد الكيميائية النقية الدقيقة والسلع الاستهلاكية. ويتم إنتاج المواد غير العضوية في الغالب من المحاليل المائية للمواد الخام الأولية عن طريق التبلور والترشيح والتجفيف [٤٣].

وينتج عن تنوع القطاعات الفرعية وعمليات الإنتاج في الصناعات الكيميائية درجة عالية من عدم التجانس في مجاري مياه الصرف. حيث لا توجد المواد الأولية أو المنتجات المستهدفة إلا بمقدارٍ محدود في مياه الصرف، ولكن توجد المنتجات الثانوية للتفاعلات المختلفة، حيث تنشأ مثل هذه الشوائب عند حدوث تفاعلات في المرحلة المائية (الماء كمذيب)، أو عند غسل تدفقات المواد بالمحاليل المائية، أو في حالة تفاعلات التكاثف [٢٢، ٤٤].

# مجاري مياه الصرف وخصائصها

## البتروكيماويات والمواد الكيميائية الأساسية العضوية

في جميع منشآت التكرير تقريبًا، يتم استخدام بخار الماء في عمليات التقطير والفصل. حيث يتلامس مباشرةً مع الهيدروكربونات المراد تكريرها، ويشكل أهم مجرى لمياه الصرف بشكلٍ مكثف في صناعة البتروكيماويات: الماء الحمضي مع شوائب من الأمونيا وكبريتيد الهيدروجين والهيدروكربونات. ويمكن أن يحتوي تيار المياه هذا أيضًا على بقايا معادن وأملاح ومواد غير عضوية أخرى [٢٢، ٤٥].

في عملية المعالجة اللاحقة للنفط الخام وتحويله إلى مواد كيميائية أساسية عضوية ثم إلى بوليمرات في النهاية، يتم إنتاج أهم مجاري مياه الصرف على هيئة مياه تفاعل أو مياه غسيل أثناء غسل المنتج (الوسيط). وغالبًا ما توجد أحمال عضوية عالية على شكل أحماض عضوية أو قلويات. كما توجد الزيوت والمعادن (الثقيلة) وغيرها من المركبات السامة و/أو المقاومة للانصهار أيضًا في بعض الحالات كمخلفات للمحفزات والمواد المساعدة المستخدمة في مياه الصرف [٤٦، ٤٧، ٤٨].

## إنتاج الأسمدة

بالإضافة إلى عمليات الأكسدة المحفَّزة، يتم استخدام عمليات الترشيح والتبلور والذوبان في عمليات إنتاج الأسمدة. فبالإضافة إلى المنتجات الفعلية، تظهر أيضًا تدفقات المنتجات الثانوية ذات الصلة، مثل حمض الكبريتيك والفوسفوريك في معالجة الفوسفات أو اليوريا وحمض النيتريك في معالجة الأمونيا. وقد يتم أحيانًا العثور على كل من المنتجات الأساسية والمنتجات الثانوية بتركيزات كبيرة في مياه الصرف، والتي يتم الحصول عليها بشكل أساسي في عملية تنقية غاز العادم، وأيضًا كوسيط تبريد أو مذيب مستخدَم. غالبًا ما تكون مجاري مياه الصرف حمضية وتحتوي على مجموعة متنوعة من الملوثات غير العضوية [٤٩، ٥٠].

### صناعة الكلور القلوي والمواد الكيميائية غير العضوية الأساسية الأخرى

في مصانع الكلور القلوي، يتم إنتاج الكلور والقلويات في صورة هيدروكسيد الصوديوم أو هيدروكسيد البوتاسيوم عن طريق التحليل الكهربائي لمحلول ملحي. وينتج عن ذلك مياه حمضية وقلوية بتركيزات عالية من الأملاح والمعادن الذائبة. والعديد من تدفقات المياه تكون شديدة التركيز، لذا فإن استعادة المنتجات الثانوية، أو إعادة تدوير المواد المساعدة أو التبخر والتخلص منها أمر مجدي من الناحيتين البيئية والاقتصادية. والمواد المساعدة المستخدمة في أنظمة الكلور القلوي التقليدية ذات الأهمية الخاصة هي الزئبق (في عملية الزئبق) والأسبست (في عملية الحجاب الحاجز). ولكن لم تعد اليوم كلتا العمليتين من أفضل التقنيات المتاحة ويزداد استبدالهما يومًا بعد يوم بعملية الخلايا الغشائية الحديثة، عندما تكون مياه الصرف ملوثة بشكل خفيف نسبيًا [٥١، ٥٢].

بشكل عام، غالبًا ما تحتوي مجاري مياه الصرف الناجمة عن إنتاج المواد الكيميائية الأساسية غير العضوية على الكلوريدات والكبريتات والفوسفات والفلوريدات والمركبات غير العضوية الأخرى. ويمكن أن تلعب الأمونيا ومحتويات المواد الصلبة العالية أيضًا دورًا مهمًّا هنا [٥٠، ٥٣]. غالبًا ما تتميز مياه الصرف الناتجة عن إنتاج كربونات الصوديوم بقيم أس هيدروجيني عالية ومحتوى عالٍ من المواد الصلبة، بينما يتم الحصول على مياه الصرف المحتوية على حمض الكبريتيك من تنقية غاز الكلور.

## طريقة المعالجة

### اختيار الطريقة ومراحلها

غالبًا ما تتطلب مجاري مياه الصرف غير المتجانسة وذات التلوث المتنوع في الصناعة الكيميائية مخططات

| | التحييد | الترسيب | الامتزاز | التبادل الأيوني | الاستخلاص | النزع | الأكسدة |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| البتروكيماويات والمواد الكيميائية الأساسية العضوية | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ |
| إنتاج الأسمدة | ✓ | | | ✓ | | ✓ | |
| صناعة الكلور القلوي والمواد الكيميائية غير العضوية الأساسية الأخرى | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ |

١: العمليات الشائعة في الصناعة الكيميائية للمعالجة المسبقة لمياه الصرف مع القطاعات الفرعية المعنية التي يتم استخدامها فيها (اعتمادًا على [٢٢، ٤٦، ٤٨، ٥٠، ٥٣، ٥٤])

معالجة معقدة، يعتمد تنفيذها المحدد على تكوين مياه الصرف المعنيّ. وتحتوي العديد من مجاري مياه الصرف على أحمال عضوية عالية مع قابلية جيدة للتحلل البيولوجي - في هذه الحالات، تشكل المعالجة البيولوجية جوهر معالجة مياه الصرف. إذا كانت مياه الصرف ملوثة أيضًا بمواد ذات طبيعة تدميرية، فيجب أولًا إخضاعها للمعالجة المسبقة، والتي يمكنها تحقيق الأهداف التالية، على سبيل المثال [٢٢]:

- التحييد لخلق الظروف المثالية للتحلل البيولوجي
- إزالة المواد ذات التأثير السام على البيولوجيا
- زيادة قابلية التحلل البيولوجي لمياه الصرف (على سبيل المثال من خلال الأكسدة)
- إزالة الملوثات غير القابلة للتحلل البيولوجي
- تقليل حمل الطلب الكيميائي على الأكسجين (COD) أو النيتروجين وفقًا لقدرة البيولوجيا

في الصناعة الكيميائية، يصعب تمييز معالجة تدفقات المياه عن عمليات الإنتاج وعمليات الإنتاج المساعدة، على سبيل المثال عندما يتعلق الأمر بتدوير المذيبات أو مياه الغسيل. مع زيادة الإمكانيات التقنية، تم أيضًا تطوير إمكانية للمعالجة وإعادة التدوير والاستخدام الإضافي للمواد المساعدة والمنتجات الثانوية من المحاليل المائية. وتلعب معالجة المياه المستخدمة في الأغراض الصناعية قبل استخدامها في العملية الفعلية دورًا مهمًّا أيضًا.

## المعالجة المسبقة لمياه الصرف

يجب معالجة جميع مياه الصرف الصناعي تقريبًا مسبقًا قبل المعالجة البيولوجية. ولتحقيق الأهداف المذكورة أعلاه، يتم استخدام طرق المعالجة الكيميائية الفيزيائية أو الحرارية (جدول ١ ). وأكثرها شيوعًا هي [٢٢، ٤٦، ٤٨، ٥٠، ٥٣، ٥٤]:

- التحييد
- الترسيب
- الامتزاز
- التبادل الأيوني
- الاستخلاص
- النزع بالبخار
- الأكسدة

## التنظيف البيولوجي

مجاري مياه الصرف في الصناعة الكيميائية لها خواص فيزيائية وكيميائية مختلفة للغاية. العديد من مجاري مياه الصرف في الصناعة الكيميائية لها خصائص مواتية لعمليات التنظيف البيولوجي، أي الأحمال العضوية العالية ودرجات الحرارة المعتدلة. يتكون التنظيف البيولوجي من مرحلتين:

- انحلال الكربون عن طريق عملية التنشيط الهوائية
- إزالة النيتروجين عن طريق النترجة ونزع النيتروجين

ويمكن تصميم الأنظمة على عدة مراحل مع ترابط مختلف لمراحل العملية الفردية. حيث يتم إجراء التهوية عادةً باستخدام أنظمة حاقن قوية تتيح إدخال الأكسجين بكفاءة. في بعض الحالات، يحتاج غاز العادم في المرحلة البيولوجية الأولى إلى المعالجة لمنع تصريف المواد المتطايرة.

ومع ذلك ، فإن التقلبات في التدفق والتركيز، والشوائب المدمرة والمحتويات العالية من الملح (>٢٠ جم/لتر) يمكن أن يكون لها تأثير سلبي على تشغيل نظام التنظيف البيولوجي. بالإضافة إلى ذلك، غالبًا ما تحتوي مياه الصرف الناتجة عن صناعة البتروكيماويات على كميات صغيرة فقط من مركبات الفوسفور الصالحة للاستخدام، مما يتطلب وجود جرعة إضافية من الفوسفات أو حمض الفوسفوريك للتنظيف البيولوجي [٢٢، ٥٥].

## معالجة لاحقة

يعد الاسترداد وإعادة استخدام المواد المساعدة المرتبطة بالإنتاج أو ذات الإنتاج المتكامل، مثل تدوير المكثفات أو استرجاع المذيبات عن طريق التقطير، أمرًا أساسيًّا تقليديًّا لتحقيق كفاءة عالية للنظام. وفي حالة استعادة المياه وإعادة استخدامها، عادةً ما يتم استخدام الترشيح الفائق والتناضح العكسي. مع تزايد تضافر جهود شركات التصنيع في المجمعات الصناعية، وأصبح إغلاق دورات المواد المحلية من خلال استرداد وإعادة استخدام المنتجات (الثانوية) في المتناول أيضًا. في المقام الأول، تتيح المجمعات الصناعية الآن أيضًا المعالجة الفعالة لمياه الصرف شديدة التعقيد في الصناعة الكيميائية [٤٤]. □

دراسة الحالة: طلاء جلفاني كيميائي/بلاستيكي في الهند

# تصميم وتشغيل نظام الطرح منعدم السوائل لمياه الصرف (ZLD)

## الخلفية

في عام ٢٠١٧، قامت شركة Euro American Plastic Products (EAP) ببناء منشأة إنتاج جديدة لطلاء الأجزاء البلاستيكية في صناعة السيارات بالقرب من نيودلهي (الهند). تم تكليف شركة REMONDIS من قبل EAP لبناء وتمويل وتشغيل نظام مياه الصرف كجزء من عقد خاص بالتشييد والتشغيل ونقل الملكية (BOOT).

## تحدي خاص/طرح خاص للمشكلة

يعتبر تكوين مياه الصرف نموذجيًا لهذا النوع من الطلاء الجلفاني. يعرض الجدول ١ القيم المتوسطة في شهر نوفمبر - ديسمبر ٢٠١٧. نظرًا للتصنيع المتزايد والطلب على المياه المترتب على ذلك، مع التوافر المحدود للمياه في نفس الوقت، فقد نصت سلطات الترخيص المحلية على تقنية الطرح منعدم السوائل لمياه الصرف لمعالجة مياه الصرف، وحددت تخصيص كميات المياه للإنتاج. كان لابد من دمج النظام في مبنى قائم، مما يعني وجود قيود كبيرة على مساحة التثبيت المتاحة، خاصةً فيما يتعلق بأحواض التخزين المؤقت والتوازن.

| المعلمة | القيمة |
|---|---|
| الكمية [م³/يوم] | ٢٠٠ |
| الأس الهيدروجيني | ٤–٦ |
| التدفق التشغيلي [ميكرو سيمنز/سم] | ١٢,٠٠٠ |
| COD [مجم/لتر] | ١١٣ |
| إجمالي الكروم [مجم/لتر] | ١,٤١٨ |
| النيكل [مجم/لتر] | ٥٤ |
| النحاس [مجم/لتر] | ٦٧ |
| الحديد [مجم/لتر] | ٩ |

جدول ١: تكوين مياه الصرف المختلطة

## نهج الحل

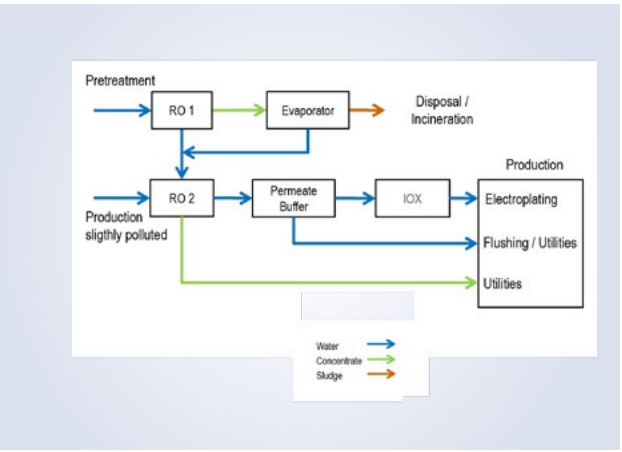
تبدأ معالجة مياه الصرف بمعالجات التدفق الجزئي لمياه الصرف ذات محتوى الكروم (VI) ولمياه الصرف التي تحتوي على نسبة عالية من العوامل المركبة. يتم تقليل الأول بواسطة ثنائي كبريتيت الصوديوم وحمض الكبريتيك، بينما تتم معالجة مياه الصرف المحتوية على عوامل مركبة في عملية دفعية منفصلة. ثم تختلط جميع التدفقات الجزئية ويحدث ترسيب للمعادن الثقيلة. يتم فصل المواد الصلبة باستخدام فاصل لوحة متوازي، ومرشح حصى، وغرفة مكبس الترشيح. يتوافق هذا الإعداد مع الإجراء المعتاد حتى بدون تقنية الطرح منعدم السوائل لمياه الصرف. من أجل إعادة استخدام مياه الصرف، ومن الضروري أيضًا فصل الأملاح التي يتم إدخالها في عملية الإنتاج عن طريق التناضح العكسي ثنائي المراحل (RO)، حيث تحقق المراحل ناتج راشح يبلغ ٨٠٪ و٧٠٪ على التوالي. تتم معالجة مدخل RO بواسطة الترشيح الفائق من أجل تجنب انسداد غشاء RO بالجزيئات. يعرض الشكل ١ هيكل مرحلة الغشاء.

## النتائج

من خلال خطوات المعالجة الموضحة، يمكن إعادة استخدام حوالي ٩٠٪ من مياه الصرف، بينما تظل الأملاح والمخلفات العضوية في تيار التدفق المركز (جدول ٢). تتبخر هذه المركزات ويتم التخلص من الماء المالح مع

| مرحلة المعالجة | القدرة على التوصيل [ميكرو سيمنز / سم] |
|---|---|
| راشح مرحلة RO الأولى | ٢٢٠ |
| مركَّز مرحلة RO الأولى | ٣٨,٥٠٠ |
| راشح مرحلة RO الثانية | ٣٠ |
| مركَّز مرحلة RO الثانية | ٣,٧٠٠ |

جدول ٢: مستويات جودة المياه المستخدمة في الأغراض الصناعية المنتجَة



الشكل ١: (يسارًا ) هيكل مرحلة الغشاء باستخدام تقنية الطرح منعدم السوائل لمياه الصرف في الطلاء الجلفاني البلاستيكي (يمينًا) صورة لمرحلة RO ١

الرشاحة. يتم توفير المكثفات التي تم الحصول عليها لدورة المياه المستخدمة في الأغراض الصناعية مرة أخرى.

ولتحسين تكاليف المعالجة، يتم التمييز بين ثلاثة مستويات جودة مختلفة عند إعادة المياه المعالجة إلى عملية الإنتاج. لا يزال مركَّز مرحلة RO الثانية ذا جودة كافية لعمليات الشطف البسيطة والاستخدامات الأخرى للمياه غير الصالحة للشرب. يمكن استخدام راشح هذه المرحلة إما مباشرةً في حمام الطلاء الكهربائي، أو لمتطلبات الجودة العالية بشكلٍ خاص، يتم التنظيف مرة أخرى باستخدام مبادل مجرى مختلط.

كانت المهمة الأكثر صعوبة أثناء التشغيل هي توليد جودة مياه صرف موحدة في المدخل لمراحل RO وتطوير نظام تنظيف لجميع المراحل ذات الأغشية. تتعرض المرحلة الأولى من نظام RO على وجه الخصوص لأحمال عالية بشكلٍ خاص وتتطلب تكرارًا مكثفًا للتنظيف. للتنظيف الغشائي، وُجد أن نظام التنظيف الموصوف في الجدول ٣ هو الأمثل بين الناتج وجهد التنظيف.

| المرحلة | التكرار | كيماويات التنظيف |
|---|---|---|
| UF | شهريًّا | هيبوكلوريت الصوديوم وحمض الستريك |
| مرحلة RO الأولى | كل ٧ إلى ١٠ أيام | كلوريد الهيدروجين وهيدروكسيد الصوديوم |
| مرحلة RO الثانية | شهريًّا | كلوريد الهيدروجين وهيدروكسيد الصوديوم |

جدول ٣: مخطط تنظيف المراحل ذات الأغشية

| المعلمة | المدخل |
|---|---|
| الكمية [م³/يوم] | ٢٠٠ |
| pH | ٤–٦ |
| القدرة على التوصيل [ميكرو سيمنز / سم] | ١٢,٠٠٠ |
| COD [مجم/لتر] | ١١٣ |
| الكروم إجمالاً [مجم/لتر] | ١,٤١٨ |
| النيكل [مجم/لتر] | ٥٤ |
| النحاس [مجم/لتر] | ٦٧ |
| الحديد [مجم/لتر] | ٩ |

جدول ٤: نظرة عامة على قيم التدفق لمعالجة المياه – القيم المتوسطة لفترة التشغيل نوفمبر – ديسمبر ٢٠١٧. قيم الصرف ليست مهمة في هذه الحالة، لأن النظام هنا هو الطرح منعدم السوائل لمياه الصرف.

## مساهمة التقنية المقدَّمة

قدمت شركة Remondis هنا نظام معالجة كامل لمعالجة مياه الصرف ومعالجة المياه المستخدمة في الأغراض الصناعية وفقًا لنظام الطرح منعدم السوائل لمياه الصرف. تعد المعالجة المسبقة القوية عن طريق الترشيح الفائق، والمقاومة العالية للأوساخ، والتنظيف الفعال لمراحل RO، فضلًا عن الترابط المناسب وإعادة استخدام تدفقات المياه، عوامل حاسمة للتشغيل الفعال للنظام. □

دراسة الحالة: تحسين عمليات معالجة المياه بالتناضح العكسي

# المعالجة المثلى للمياه لإنتاج الأسمدة في مصر

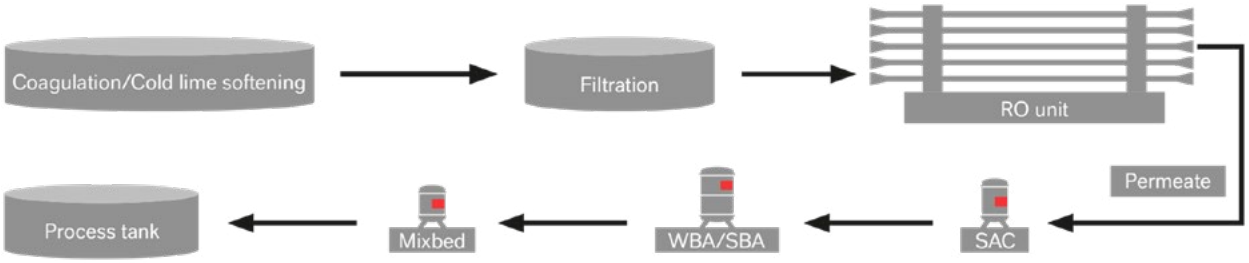
## الخلفية

شركة الإسكندرية للأسمدة (Alexfert) هي واحدة من أكبر الشركات المصنعة للأسمدة في مصر، والتي تأسست عام ٢٠٠٣ كشركة مساهمة. يتطلب إنتاج الأسمدة كميات كبيرة من المياه عالية الجودة و المستخدمة في الأغراض الصناعية، والتي يتم الحصول عليها بشكل أساسي من إحدى القنوات النيلية. نظرًا للتقلبات الموسمية، تمثل المعالجة تحديًا خاصًا، نظرًا لضرورة وجود مياه ذات جودة عالية باستمرار مع إنتاجية عالية في نفس الوقت (جدول ١).

## تحدي خاص/طرح خاص للمشكلة

ينتج المصنع في الإسكندرية تيار تدفق مياه مستخدمة في الأغراض الصناعية يبلغ حوالي ٥,٧٥٠ متر٣/يوم ويحتوي على تنديف لتقليل المواد العضوية وتليين الترسبات الكلسية الباردة للمعالجة المسبقة. ولتحقيق الجودة المرغوبة للاستخدام كمياه تغذية للغلايات، تم على سبيل المثال استخدام مزيج من عمليات التبادل الأيوني المختلفة (شديدة الحمضية (SAC)، والقلوية الضعيفة WBA) ) والقلوية القوية (SBA) والمجرى المختلط) لنزع المعادن. ومع ذلك، نظرًا لأن محتوى مياه القناة من الملح

شكل ٢: معالجة المياه لإنتاج الأسمدة في شركة Alexfert بنظام التناضح العكسي




شكل ١: معالجة المياه المستخدمة في الأغراض الصناعية بالتناضح العكسي والمبادلات الأيونية

يتراوح بين ٣٠٠ و ٥٥٠ مجم/لتر حسب الموسم، كان من الضروري إجراء التجديد المنتظم للمبادلات الأيونية مع الأحماض والقلويات. كما أدى وجود السيليكا إلى تقصير عمر خدمة المبادلات الأيونية.

## نهج الحل

إذا لم يكن متاحًا سوى تشغيل المبادلات الأيونية بشكل غير فعال في ظل ظروف صعبة مع فترات خدمة قصيرة واستخدام مكثف لعوامل التجديد، فقد تكون المعالجة المسبقة ضرورية. تم توسيع النظام الموصوف أعلاه في عام ٢٠١٦ ليشمل التناضح العكسي، مما يقلل من حمل الملح أمام المبادلات الأيونية (الشكل ١، ٢). نظرًا لأن مياه القناة ذات جودة رديئة على الرغم من المعالجة المسبقة، فقد تم استخدام عناصر التناضح العكسي FR Lewabrane B٤٠٠ من شركة LANXESS*، والتي تعد مناسبة بشكلٍ خاص للوصول لمثل هذه الجودة. يتكون النظام من خطّين، يحتوي كل منهما على مستويين من التركيز. ويبلغ ناتج راشح التناضح العكسي ٧٤٪. تُستخدم راتنجات Lewatit أحادية الانتشار لإزالة المعادن باستخدام المبادلات الأيونية من أجل زيادة تحسين استخدام المواد الكيميائية.

| | |
|---|---|
| القدرة | ٥,٧٥٠ م٣/يوم |
| الناتج | حوالي ٧٤ ٪ |
| نوع الماء | مياه قناة من النيل |
| محتوى الملح عند المدخل | ٣٠٠-٥٥٠ مجم/لتر |
| محتوى الملح عند المصرف | <٠,٠١ مجم/لتر |
| التركيب | فبراير ٢٠١٦ |

جدول ١: ملخص لمعلمات النظام في معالجة المياه في شركة Alexfert بالإسكندرية

## النتائج

يمكن لغشاء البولي أميد شديد الارتباط أن يزيل أكثر من ٩٩,٧٪ من الأملاح. تبلغ القدرة على التوصيل بعد التناضح العكسي ٣-٥ ميكرو سيمنز/سم، بينما تبلغ القدرة على التوصيل في المدخل ٧٠٠-١,١٠٠ ميكرو سيمنز/سم. ونظرًا لأن هذه القيمة تُزيد من عمر خدمة المبادلات الأيونية بمعدل أربعة أضعاف، يتم ادخار ٦٠ ٪ من المواد الكيميائية للتجديد. في مصرف المبادلات الأيونية Lewatit، يمكن تحقيق قدرة على توصيل مياه إنتاج تبلغ ٠,٠٨ ميكرو سيمنز/سم، مع تركيز نهائي للسيليكا يبلغ ٢ جزء في البليون.

## مساهمة التقنية المقدَّمة

قدمت شركة LANXESS نظام تناضح عكسي قوي للغاية يضمن جودة راشح عالية باستمرار حتى عندما تكون جودة المدخل منخفضة. يقلل التصميم الخاص لمباعد التغذية بشكلٍ كبير من اتساخ الغشاء، وبالتالي أيضًا يخفض الضغط في الوحدة. يزيد تكامل العملية من عمر خدمة المبادلات الأيونية ويقلل من كمية المواد الكيميائية اللازمة للتجديد. □

*استحوذت شركة SUEZ WTS Germany GmbH على أعمال الأغشية في شركة Lanxess Deutschland GmbH في مدينة راتينغن بعد الموعد النهائي للتحرير.

# ٣ الصناعة الدوائية

## المعلومات الخاصة بالبلد

### الهند

تعد صناعة الأدوية في الهند – باعتبارها قطاعًا فرعيًا للصناعات الكيميائية – ذات أهمية وطنية ودولية كبيرة. الهند هي أكبر منتج للأدوية المكافئة للأدوية ذات العلامات التجارية المسجلة في العالم وتنتج أكثر من ٨٠٪ من أدوية الإيدز (متلازمة نقص المناعة المكتسبة) المستخدمة. وبالإضافة إلى ذلك، تعد الهند هي المنتج الرئيسي للباراسيتامول وأكثر من ٥٠٪ من اللقاحات المستخدمة في جميع أنحاء العالم تأتي من الهند. بلغ نمو القطاع ٩,٨٪ في عام ٢٠١٩، في حين أن نمو القطاعات الفرعية للتكنولوجيا الحيوية يقدر بحوالي ٣٠٪ سنويًا [٥٦]. السوق المتنوع للغاية يعد موطنًا لكلٍ من الشركات الهندية (مثل Sun Pharma و Dr. Reddy's)، بالإضافة إلى شركات الأدوية الأكثر نشاطًا على الصعيد الدولي (مثل Pfizer و GSK و Sanofi و Merck و Roche) [٥٧].

يعتمد تصنيع الأدوية في الهند بشكلٍ كبير على المكونات الدوائية الفعالة المستوردة، والتي يأتي معظمها من الصين. ولذلك، فإن أحد الأهداف المهمة متوسطة المدى لتعزيز الصناعة الوطنية هو تعزيز إنتاج المكونات الفعالة داخل الدولة. بناءً على توصية لجنة كاتوتش، يتم بناء مجمعات صناعية على الصعيد الوطني، والتي تهدف، إلى جانب البنية التحتية المناسبة والخدمات المجمعة (إمدادات الطاقة، ومعالجة مياه الصرف، والمخازن، ومختبرات الاختبار، وما إلى ذلك) إلى تقديم حوافز خاصة لشركات تصنيع المواد الدوائية الفعالة والعقاقير الدوائية. في نهاية عام ٢٠١٩، تقرر تنفيذ مثل هذا المجمع في مدينة حيدر أباد بتمويل مناسب من الدولة ("Hyderabad Pharma City") [٥٨].

في الهند، ينظم المجلس المركزي لمكافحة التلوث "Central Pollution Control Board" الجوانب البيئية والإنتاجية المتعلقة بالمياه بشكلٍ خاص، والتي تحدد، على سبيل المثال، شروط تصريف مياه الصرف الدوائية. وتدور حاليًا مناقشة نقدية حول تصريف بقايا المضادات الحيوية من منشآت الإنتاج، والتي ثبت أنها تؤدي إلى انتشار الجراثيم المقاومة للمضادات الحيوية في المياه السطحية الهندية. تم طرح مشروع قانون لتنظيم ومراقبة أكثر صرامة لتركيزات المضادات الحيوية في مجاري مياه الصرف الصناعي من خلال نقاش برلماني منذ بداية عام ٢٠٢٠ وقد يؤدي ذلك إلى زيادة متطلبات معالجة مياه الصرف الدوائية في الهند في المستقبل بشكلٍ كبير [٥٩].

WARNING

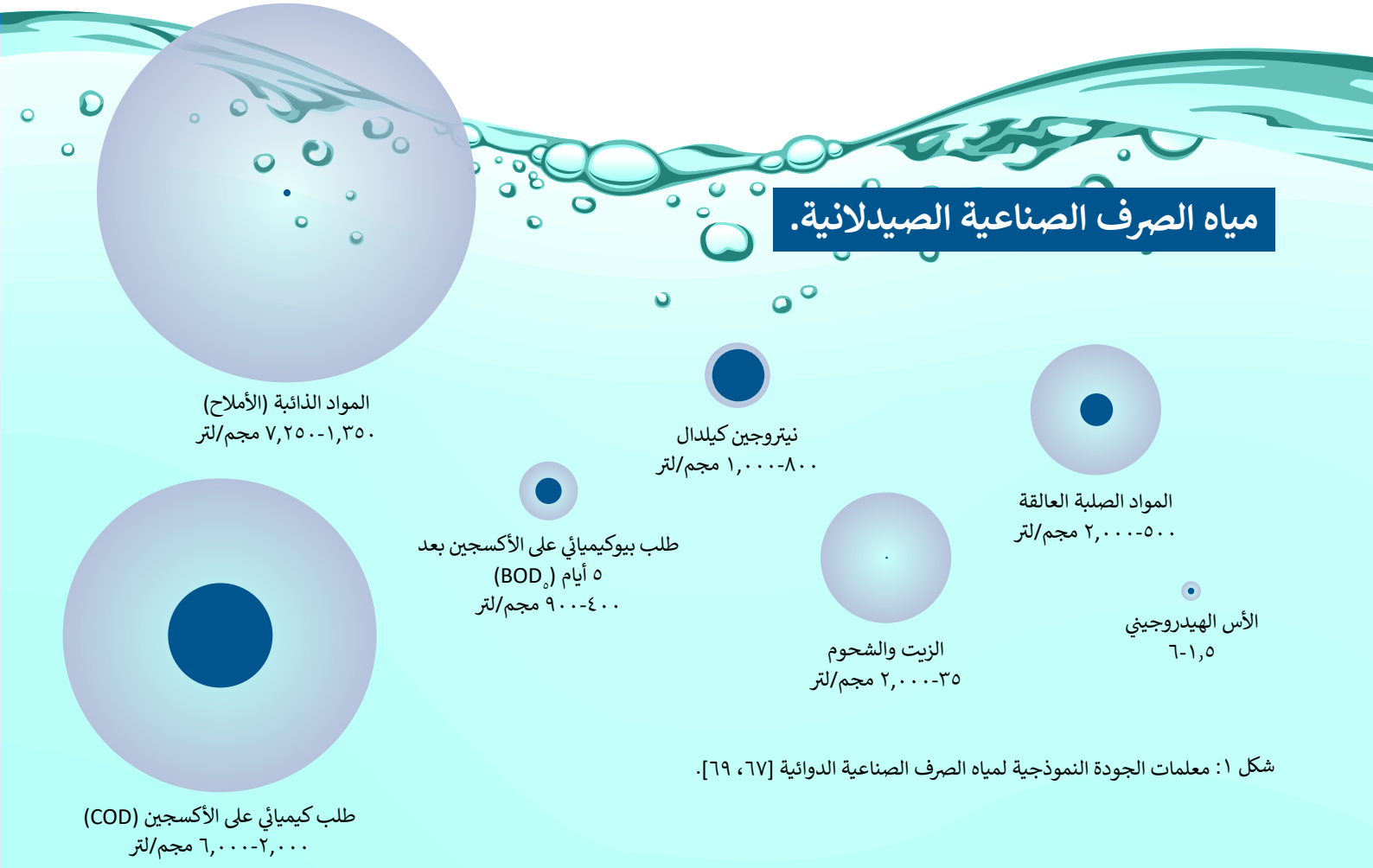
### منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

الصناعات الدوائية في بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا ليست موجهة بالأساس نحو التصدير بل تهدف إلى تغطية الاحتياجات الوطنية. ينتج عن ذلك اعتماد قوي من النظام الصحي الوطني للبلد المعني [٦٠].

تعد مصر أهم مصنع للأدوية في المنطقة، حيث يبلغ معدل النمو السنوي للصناعة بها حوالي ٨٪. تساهم كل من الشركات المخصخصة (Novartis و GSK و Sanofi) والشركات المملوكة للدولة في إنتاج الأدوية، والتي تغطي ٩٠ ٪ من الطلب المحلي على الأدوية (بشكل رئيسي من خلال الأدوية المكافئة للأدوية ذات العلامات التجارية المسجلة). بشكلٍ عام، تعتبر الصناعة مستقرة ومستدامة، حتى لو كانت سيطرة الدولة على أسعار الأدوية والاعتماد القوي على المواد الخام المستوردة (حوالي ٩٠٪) تشكل تحديات للإنتاج في البلاد [٦١، ٦٢].

صناعة الأدوية في المغرب هي ثاني أهم صناعة كيميائية في البلاد (بعد الفوسفات) وثاني أكبر صناعة في إفريقيا (بعد مصر). حيث تنمو هذه الصناعة بمعدل سنوي قدره ٦,٧٪، وتعد الشركة المصنعة الرائدة Sanofi، تليها الشركات المحلية Cooper و Bottu SA [٦٣].

في عام ٢٠١٥، كانت الدولة قادرة على تغطية حوالي ٦٥٪ من الطلب المحلي على الأدوية بإنتاجها الخاص. [٦٤]. وتحقق تونس نسبة مماثلة، حيث تأتي ٦٠٪ من الأدوية من الإنتاج المحلي [٦٥]. ويلعب إنتاج الأدوية في الأردن أيضًا دورًا مهمًا في الاقتصاد الوطني. ويتم تصدير معظم الأدوية المصنَّعة في المناطق الصناعية حول عمان إلى بعض البلدان المجاورة [٦٦].




شكل ١: معلمات الجودة النموذجية لمياه الصرف الصناعية الدوائية [٦٧، ٦٩].

# قطاع الصناعة وإنتاج مياه الصرف

تشمل الصناعة الدوائية تصنيع واستخراج ومعالجة وتنقية وتعبئة المواد الكيميائية أو البيولوجية المستخدمة في المستحضرات الدوائية ومستحضرات التجميل. ويتميز هذا القطاع بمجموعة متنوعة من المنتجات وعمليات الإنتاج. وخطوات العملية الأكثر شيوعًا في صناعة المستحضرات الدوائية هي كما يلي:

- تخليق المواد الكيميائية العضوية
- عمليات التكنولوجيا الحيوية
- استخراج المواد الطبيعية
- تشكيل المنتج وتعبئته

تختلف صناعة الأدوية عن الفروع الأخرى بشكل رئيسي في تكرار تغيير الشحنات وتغيير المنتج. غالبًا ما يتم تنفيذ خطوات الإنتاج الفردية واحدة تلو الأخرى بطريقة الإنتاج شبه المتواصل أو على دفعات تشغيلية في مفاعلات متعددة الأغراض. مع كل عملية تنظيف بينية، يتم إنتاج كميات كبيرة من مياه الشطف، والتي تشكل غالبية مياه الصرف الصناعي. ومن الممكن أن تحتوي مياه الشطف على تركيزات كبيرة من المواد الفعالة دوائيًا ولذلك يجب تنظيفها جيدًا. وبالإضافة إلى ذلك، هناك حلول تجديد ومركزات من معالجة المياه (الخام)، والتي عادةً ما تكون معقدة للغاية، وكذلك مياه إزالة الحمأة من أبراج التبريد. تأتي معظم مياه الصرف الصحي في صناعة الأدوية من عمليات التخليق الكيميائي والتخمير [٢٢].

### التخليق

يشير التخليق إلى إنتاج مواد فعالة دوائية من مواد خام عضوية وغير عضوية في سلسلة من التفاعلات الكيميائية. ينتج عن هذا عادةً تكوين العديد من المنتجات الوسيطة والثانوية. حيث يتم فصل المنتجات المستهدفة أخيرًا باستخدام عمليات الفصل (مثل استخلاص سائل من سائل أو التبلور أو الترشيح). وينتج عن التفاعلات الكيميائية المختلفة مياه صرف غير متجانسة تمامًا تحتوي على مواد أولية ومنتجات فعالة دوائيًا ومنتجات ثانوية بالإضافة إلى مجموعة واسعة من المواد المساعدة. وبالإضافة إلى المذيبات، تستخدم الأحماض والقلويات والنترات والكبريتات والسيانيد أيضًا كمواد مساعدة. مع قيم الأس الهيدروجيني من ١ إلى ١١، يكون الطلب على الأكسجين الكيميائي والبيولوجي لمياه الصرف هذه مرتفعًا في العادة [٦٧].

### التخمير

تشمل عمليات التكنولوجيا الحيوية استنبات الكائنات الحية الدقيقة وزراعتها وتخميرها مثل الفطريات والبكتيريا. أثناء التخمير، يتم تحديد جرعات المغذيات والأملاح غير العضوية والمواد الأخرى، وبعد ذلك يتم فصل المنتجات المستهدفة عن مرق التخمير (على سبيل المثال عن طريق الترسيب والترشيح). تشمل منتجات التخمير المهمة المضادات الحيوية والمنشطات والفيتامينات على سبيل المثال. أهم مجرى لمياه الصرف من عمليات التخمير هو مرق التخمير، الذي لا يحتوي فقط على المواد الخام والمغذيات غير المستخدمة ولكن أيضًا على بقايا الكائنات الحية الدقيقة. توجد أيضًا مواد مساعدة مثل المحاليل الوقائية والخُلابات والمطهرات وكذلك المذيبات والمُرسبات مثل الأملاح المعدنية والهالوجينات في مياه الصرف [٦٧].

# مجاري مياه الصرف وخصائصها

### شوائب نموذجية

تتميز مياه الصرف الدوائية بارتفاع احتياجها إلى الأكسجين البيولوجي والكيميائي، والمركبات العضوية المتطايرة، وفي بعض الحالات، المواد عالية الفعالية أو السامة. وهي تتضمن العديد من المواد الأولية والمحفزات المستخدمة في الإنتاج، وكذلك بالطبع المواد الدوائية الفعالة نفسها [٦٨] (شكل ١). يعد وجود المكونات الدوائية الفعالة في مياه الصرف مشكلة من ناحية بسبب ارتفاع مستوى سميتها البيئية، ومن ناحية أخرى، تلعب مدخلات المواد هذه دورًا في انتشار المقاومة الميكروبية للمضادات الحيوية. المذيبات المستهلَكة (مثل البنزين، أو الفينول أو التولوين)، والتي تستخدم في عمليات الإنتاج كوسيط تفاعل وتنظيف وتنتقل إلى مياه الصرف عبر أنظمة استرجاع المذيبات، ويمكن أن تمثل شكلًا آخر مهمًا من أشكال الشوائب. بشكلٍ عام، يكمن التحدي في صناعة المستحضرات الدوائية في عدم التجانس الكبير في كمية وخصائص مياه الصرف المنفردة الناتجة عن الإنتاج الفردي، وكذلك في الثبات العالي وضعف التحلل البيولوجي للعديد من الشوائب [٢٢، ٦٩].

# طريقة المعالجة

## التنظيف البيولوجي

في صناعة المستحضرات الدوائية، تتم معالجة مياه الصرف تقليديًّا باستخدام عمليات التنظيف البيولوجية. غالبًا ما تحتوي مياه الصرف على حمولة عضوية قابلة للتحلل بسهولة. ومع ذلك، في كثيرٍ من الأحيان، توجد أيضًا مواد في مياه الصرف يصعب تحللها أو حتى يكون لها تأثير سام على البيولوجيا – وهذا يمثل تحديًا للعديد من عمليات التنظيف البيولوجية. وتعتمد قابلية التحلل البيولوجي لمركب كيميائي بشكلٍ أساسي على الكيمياء الفراغية والسمية والتركيز. على الجانب التشغيلي، تلعب ملاءمة السلالة الجرثومية المعنية وظروف التحلل وزمن المكوث في البيولوجيا دورًا مهمًّا [٦٦].

غالبًا ما تستخدم العمليات الهوائية لمعالجة مياه الصرف في صناعة المستحضرات الدوائية لأنها قوية للغاية في التشغيل. وغالبًا ما تكون عمليات الحمأة المنشطة مع الترسيب وأعمار الحمأة العالية هي الطريقة المفضلة، ولكن يتزايد أيضًا استخدام المفاعلات الحيوية الغشائية لتحقيق جودة تصريف عالية. وأثبتت العمليات الهوائية قدرتها على تحليل العديد من المواد الدوائية الفعالة (مثل الإيبوبروفين والنابروكسين والبيزافيبرات والأستروجين)، ولكنها غير فعالة مع السلفونواميدات على وجه الخصوص (مثل سلفاميثوكسازول، كلوباميد، سوتالول). تعتبر العمليات اللاهوائية أقل شيوعًا لأنها ضعيفة نسبيًا أمام العديد من المواد الفعالة دوائيًا والمطهرات [٦٧].

في العقود القليلة الماضية، تزايد التركيز على المواد الدوائية الفعالة في مياه الصرف، والتي تظهر بتركيزات منخفضة نسبيًا، ولكن يصعب إزالتها ولها درجة سمية بيئية عالية. وتحقق إزالة هذه المواد الفعالة في أقرب مكان ممكن من مصدرها (أي بشكل لامركزي في مجرى مياه الصرف المعنيّ) الأهداف الآتية:

- إزالة المواد ذات التأثير السام على البيولوجيا
- زيادة القابلية البيولوجية لتحلل الماء
- إزالة الملوثات غير القابلة للتحلل البيولوجي

واعتمادًا على الشروط الإطارية ومصفوفة مياه الصرف، يمكن أيضًا أن يكون من المجدي زيادة تنقية مجرى مياه الصرف بعد التنظيف البيولوجي. في كلتا الحالتين، تتم إزالة المواد الدوائية الفعالة المستديمة من خلال عمليات تنظيف فيزيائية كيميائية موسعة لاحقة. الطرق الأكثر شيوعًا هي [٦٧، ٦٩]:

- التخثر والتنديف
- الترسيب
- الامتزاز
- الأكسدة
- الترشيح الغشائي

حتى إذا لم تكن هناك قيم حدية ملزمة لإدخال بعض المواد الدوائية الفعالة في العديد من الأماكن، فإن عملية التنقية الموسعة اللاحقة منتشرة بالفعل في العديد من شركات إنتاج الأدوية. أحد أسباب ذلك هو أن الشركات العالمية غالبًا ما تحدد معايير جودة تشغيلية عالية يجب الالتزام بها بغض النظر عن المتطلبات المحلية.

في صناعة المستحضرات الدوائية، يمكن إعادة استخدام مياه الصرف المعالَجة للاستخدامات غير الإنتاجية، إن وجدت. والسبب في ذلك هو متطلبات الجودة العالمية العالية للغاية لتدفق المياه النقية التي يمكن استخدامها لأغراض الإنتاج والتنظيف. كما يعد التصريف في البيئة مشكلة أيضًا بسبب الملوثات. من ناحية أخرى، هناك إمكانية أكبر تكمن في استعادة وإعادة استخدام المواد الخام الأخرى، مثل المذيبات والأحماض والمواد الفعالة الفردية. غالبًا ما يكون أساس نهج الاسترداد هذا هو تشغيل المعالجة الفعالة واللامركزية الموسعة اللاحقة لمياه الصرف [٢٢].

## الأكسدة

يمكن بسهولة التخلص من العديد من المركبات الكيميائية التي يصعب تحللها بيولوجيًا والتي يصعب إزالتها من مياه الصرف عن طريق الإزالة من خلال عمليات الأكسدة. من خلال التفاعل مع الأكسجين، تتشكل منتجات الأكسدة من الجزيئات الأصلية. غالبًا ما يُلاحظ أن منتجات الأكسدة هذه يمكن أن تتحلل بسهولة أكبر من المواد الأصلية وذلك في مرحلة بيولوجية لاحقة. ومع ذلك، تجدر الإشارة أيضًا إلى أن منتجات التفاعل الناتجة ليست ضارة من حيث المبدأ، وفي بعض الحالات قد يكون لها درجة سمية أعلى من المواد الأولية.

عملية الأكسدة الأكثر استخدامًا في معالجة مياه الصرف الصناعي هي المعالجة بالأوزون الغازي. حيث تتفاعل جزيئات الأوزون بشكل انتقائي مع مجموعات وظيفية معينة في مصفوفة مياه الصرف، ولكنها تتفكك أيضًا إلى جذور الهيدروكسيل، والتي تعمل على أكسدة مكونات مياه الصرف بشكل أقل انتقائية ولها إمكانات أكسدة أعلى. تنتشر عمليات الأوزون على نطاق واسع في صناعة الأدوية، على سبيل المثال، من أجل الإزالة المستهدفة للمضادات الحيوية من مجاري مياه الصرف [٧٠].

وكبديل لاستخدام الأوزون، يتزايد استخدام عمليات الأكسدة الموسعة اللاحقة ("Advanced Oxidation Processes")، والتي تهدف في المقام الأول إلى تكوين جذور الهيدروكسيل غير الانتقائية المتفاعلة وتهدف إلى تقليل تكوين منتجات الأكسدة التي تسبب مشاكل. وجديرٌ بالذكر أن نطاق العمليات المجربة والمختبرة كبير ويتراوح بين التفاعلات المتجانسة إلى التفاعلات المحفَّزة غير المتجانسة. والمحفزات المستخدمة هي في الغالب معادن انتقالية؛ ويمكن أيضًا استخدام مصدر خارجي للطاقة، مثل الأشعة فوق البنفسجية. عمليات الأكسدة الموسعة اللاحقة الشائعة لمعالجة مياه الصرف هي، على سبيل المثال [٧١، ٧٢]:

- مزيج من الأوزون وبيروكسيد الهيدروجين
- عملية فنتون (ضوئي) بملح الحديد كعامل مساعد
- الأكسدة الكهربائية
- التحفيز الضوئي TiO ٢ (حاليًا في القياس التجريبي) □

دراسة حالة: صناعة الأدوية في الهند

# الترشيح الغشائي لإعادة تدوير مياه الصرف الدوائية الحيوية حتى الطرح منعدم السوائل لمياه الصرف (ZLD)

## الخلفية

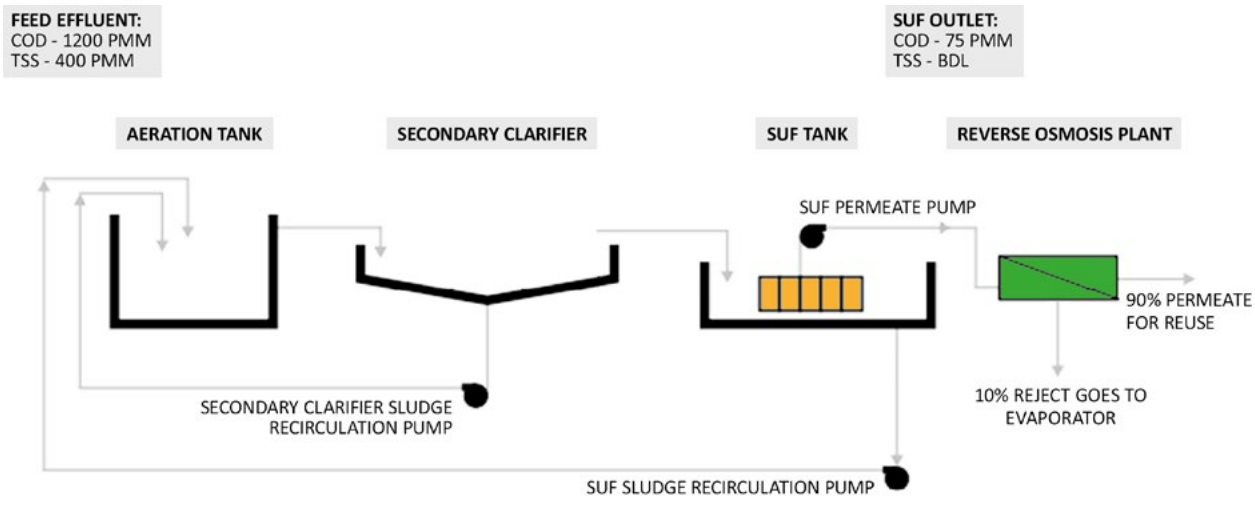
كانت إحدى شركات التكنولوجيا الحيوية العالمية تبحث عن معالجة موثوقة وفعالة لمياه الصرف لمنشأة تصنيع الإنزيمات والكائنات الحية الدقيقة التي تم بناؤها حديثًا بالقرب من مومباي في الهند.

## تحدي خاص/طرح خاص للمشكلة

تتميز المياه العادمة الناتجة عن عمليات إنتاج التكنولوجيا الحيوية عادةً بحمل عضوي عالٍ وسهل التحلل، ويمكن أن تحتوي أيضًا على مواد مساعدة (مثل المرسبات أو المذيبات أو عوامل التثبيط الكيميائية). لذلك، كانت المعالجة البيولوجية أول خيار لمشغل المحطة لتنظيف مجاري الصرف، متبوعةً بالترشيح الغشائي على مرحلتين (الترشيح الفائق والتناضح العكسي). ومع ذلك، في ظل الظروف المحددة في الموقع، كان من المتوقع ظهور المشكلات التشغيلية التالية مع اختيار الإجراء هذا:

- إزالة الحمأة من المرحلة البيولوجية والمعالجة المسبقة المعقدة المناسبة للترشيح الفائق، خاصةً عند ظهور مواد صلبة عالقة
- الحاجة إلى كميات كبيرة من مياه الغسيل الارتجاعي للأنظمة الغشائية والحمل الهيدروليكي الإضافي على النظام المرتبط بالرجوع العكسي لمياه الغسيل
- استهلاك عالٍ للمواد الكيميائية ومتطلبات مساحة كبيرة لمجموعة العمليات

في ضوء هذه التحديات، كان المشغل مهتمًا بحل مصمم خصيصًا وفعال من حيث التكلفة لمعالجة مياه الصرف. كان الهدف الأكثر أهمية هو المعالجة الشاملة لجميع مجاري مياه الصرف من أجل الامتثال لمفهوم الطرح منعدم السوائل لمياه الصرف (ZLD)، والذي غالبًا ما يكون مطلوبًا في الهند، وإعادة استخدام أو مواصلة استخدام المياه النقية بالكامل.




شكل ١: عرض تخطيطي لسير العملية بطريقة SUFRO®

شكل ٢: سعة ٨,٣ متر مكعب/ساعة مصنع SUFRO® بالقرب من مومباي في الهند – (يسارًا) التنظيف البيولوجي (المنتصف) التناضح العكسي (يمينًا) حوض المعالجة النهائية وخزان الترشيح الفائق

## نهج الحل

عملت شركة HUBER Envirotech (AHET) A.T.E. عن كثب مع العملاء لتطوير الحل التكنولوجي التالي: حيث اقترحت AHET نظام المعالجة البيولوجية الخاص بها بتقنية SUFRO®. ويشتمل النظام على ترشيح غشائي Biomem من HUBER SE - عبارة عن رقائق غشائية للترشيح الفائق مغمورة تعمل بالتفريغ وذات حجم مسام يبلغ ٣٨ نانومتر بدلًا من الترشيح الفائق التقليدي بالضغط الزائد - متبوعًا بنظام التناضح العكسي (الشكل ١).

تحتوي هذه التقنية على مزايا كبيرة من حيث تشغيل النظام وكذلك متطلبات الغسيل العكسي والمساحة، وبالتالي تم قبولها منهجيًا والموافقة عليها من قبل إدارة الشركة.

## النتائج

تم تخطيط وتركيب وتشغيل محطة معالجة مياه الصرف البيولوجية القائمة على تقنية SUFRO® بسعة تعادل ٨,٣ متر مكعب/ساعة من قبل شركة AHET.

نظرًا لتصميم وطريقة عمل الترشيح الغشائي الحيوي فإنه يعد أقوى بكثير من الترشيح الفائق بالضغط التقليدي مقارنةً بزيادة محتويات المواد الصلبة العالقة في المدخل. لم تعد المعالجة المسبقة المطلوبة في غير ذلك باستخدام المرشحات الرملية بالضغط أو مرشحات الكربون النشط أو مرشحات السلة ضرورية. حيث يتم الاحتفاظ بالكتلة الحيوية في قناة تصريف فائض المياه للمعالجة النهائية بشكل فعال في الخزان الغشائي وإعادتها إلى حوض التهوية، بحيث يتم منع الكتلة الحيوية من الترشيح. لا يزيد الحمل الهيدروليكي للمعالجة البيولوجية عن طريق تراكم مياه الغسيل الارتجاعي، لأنه يتم جمعها في الخزان الغشائي. كما يستخدم الغسل الارتجاعي الغشائي مواد كيميائية ومياه أقل مقارنةً بالطرق التقليدية. كما يتم تغذية راشح الترشيح الفائق مباشرة في نظام التناضح العكسي ثلاثي المراحل دون معالجة مسبقة إضافية. من خلال مجموعة العمليات، يمكن تقليل محتوى COD من ١٢٠٠ مجم/لتر إلى أقل من ٧٥ مجم/لتر، بينما يتم في نفس الوقت الوصول بالمواد الصلبة العالقة إلى مستوى غير قابل للكشف (الشكل ١). تتيح الجودة العالية لمياه الصرف المعالجة إمكانية إعادة استخدام ما يصل إلى ٩٠٪ من كمية مياه التبريد في منشأة الإنتاج.

## مساهمة التقنية المقدَّمة

يتميز النظام المنفَّذ بمستوى عالٍ من المتانة (على سبيل المثال ضد التركيزات العالية للمواد الصلبة) وسهولة الاستخدام. إن التخلص من المزيد من خطوات المعالجة المسبقة يجعل من النظام حلًا مدمجًا للغاية لإعادة استخدام المياه حتى الوصول إلى الطرح منعدم السوائل لمياه الصرف (ZLD). ويقلل تنظيف الأغشية الفعال للغاية من كمية المياه والمواد الكيميائية المطلوبة إلى الحد الأدنى. □

# ٤ التعدين

# المعلومات الخاصة بالبلد

## الهند

الهند لديها احتياطات معدنية ضخمة وصناعة تعدين متطورة بالقدر المناسب ومستقرة بشكل رئيسي في الشمال الشرقي من البلاد (ولايات جهارخاند والبنغال الغربية وأوريسا). وأهم مواردها هو الفحم وخام الحديد لإنتاج الصلب والبوكسيت الذي يستخرج منه الألومنيوم (شكل ١). بلغ نمو قطاع الصناعة في التعدين الهندي ٣,٦ ٪ في عام ٢٠١٩ ويرتبط ارتباطًا وثيقًا بتطوير قطاع الصناعات التحويلية. والقطاع الأسرع نموًا هو استخراج خام الحديد، والذي يستخدم في البناء والبنية التحتية وصناعة السيارات.

٨٥ ٪ من صناعة التعدين الهندية في أيدي الحكومة (على سبيل المثال، شركة National Mineral Development Corporation، Vedanta، Hinalco Industries)، خاصةً في قطاع استخراج الفحم. كما تنشط الشركات الخاصة الوطنية والدولية بشكلٍ خاص في استخراج الموارد المعدنية [٧٥]. بحسب القطاع، تسمح الدولة بالاستثمار الأجنبي بنسبة تصل إلى ١٠٠ ٪ دون مزيدٍ من المراجعات ومنح عقود الإيجار لمدة تتراوح بين ٢٠ و ٣٠ عامًا. تهدف "السياسة المعدنية الوطنية" التي تم تبنيها في عام ٢٠١٩ أيضًا إلى ضمان التنظيم والشفافية والاستدامة في صناعة التعدين في الهند. لم يتم ذكر التعدين على وجه التحديد في الإرشادات الوطنية لحماية البيئة، ولكن هناك اتجاه لتطوير وتنفيذ خطط تقدمية لإغلاق المناجم بشكل منظم [٧٣، ٧٦].

### منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

تتميز صناعة التعدين في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا باستخراج الموارد غير المعدنية. وأهم مادة خام هي بالتأكيد صخور الفوسفات، حيث يوجد طلب كبير على إنتاج الأسمدة في جميع أنحاء العالم. أهم منتج للفوسفات في المنطقة هو المغرب – فهي البلد ثالث أكبر معدل إنتاج في العالم وحوالي ٧٥ ٪ من احتياطيات الفوسفور العالمية موجودة في الأراضي المغربية. يتم تشغيل عمليات تعدين الفوسفات من قبل الشركة الحكومية OCP (Office Chérifien des Phosphates)، وتشير التقديرات إلى أن تعدين الفوسفات يساهم بحوالي ٧٪ من الناتج المحلي الإجمالي للمغرب [٧٧]. يعد معدن الفوسفات أيضًا أهم مورد في صناعة التعدين في تونس (الشركة المملوكة للدولة Chimique de Tunisie) والأردن (مناجم الفوسفات الأردنية المخصخصة جزئيًا)، إلى جانب المواد الخام غير المعدنية الأخرى مثل أملاح البوتاس أو الجبس. ومع ذلك، فإن التعدين ليس من أقوى القطاعات بشكلٍ عام [٧٨].

تتركز صناعة التعدين المصرية في الصحراء الشرقية وشبه جزيرة سيناء، حيث تستخرج بشكل أساسي الفحم والموارد المعدنية. وبالإضافة إلى الذهب، يعد التانتاليت مادة خام مهمة (رابع أكبر منتج في العالم) – يستخدم هذا المعدن كوسيط تخزين في صناعة الإلكترونيات. تهدف الحكومة من خلال تسهيل الشروط للمستثمرين الأجانب في بداية عام ٢٠٢٠ إلى تعزيز التطوير واستغلال الموارد. [٧٩].

## قطاع الصناعة وإنتاج مياه الصرف

تشمل صناعة التعدين تطوير واستخراج ومعالجة الموارد المعدنية مثل المواد الخام المعدنية والوقود الأحفوري والمعادن. ويمكن استخراج المواد الخام في التعدين المكشوف (مثل الفوسفات والذهب وخام الحديد) أو في التعدين العميق (مثل الفحم). وعادةً ما يتم تكسير الصخور المستخرجة ميكانيكيًا أولًا ثم يتم فصل المادة المستهدفة إما ميكانيكيًا (التعويم أو الفصل المغناطيسي) أو كيميائيًا (عن طريق الإبانة والترسيب). تعد العلاقة بالبيئة قضية عالمية في هذا المجال: وبالإضافة إلى متطلبات المساحة الكبيرة، يلعب الاستهلاك العالي للمياه والإطلاق المحتمل للمواد الضارة بيئيًا في الهواء والماء دورًا مهمًا.

تستخدم المياه العذبة بشكل أساسي في التعدين للأغراض الآتية:

- لنقل المواد الخام على شكل حمأة أو معلقات
- لخطوات عملية التكسير أو الفصل في مرحلة الماء، مثل الطحن أو التعويم
- الاستخراج الحمضي أو القلوي للمعادن من الخامات والتربة

| | الفحم | خام الحديد | البوكسيت | الكروميت |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| مقدار الضخ السنوي | ٧٢٩ مليون طن (٢٠٢٠) | ٢٠٦ مليون طن (٢٠٢٠) | ٢,٩٠٩ مليون طن (٢٠١٩) | ٤,٢ مليون طن (٢٠١٩) |
| المرتبة | ثالث أكبر منتج في العالم | رابع أكبر منتج في العالم | سابع أكبر احتياطي في العالم | ثاني أكبر منتج في آسيا |

شكل ١: أهم الموارد المعدنية في صناعة التعدين الهندية [٧٣] [٧٤]

يشار إلى تدفقات المياه هذه بالمياه المستخدمة في الأغراض الصناعية، وبعد المعالجة المناسبة، يمكن إعادة استخدام جزء كبير منها. يتم إنتاج المياه المستخدمة في الأغراض الصناعية الفائضة كمياه صرف. الجزء الأكبر من مياه الصرف الملوثة في التعدين لا تنشأ من المياه المستخدمة في الأغراض الصناعية، ولكن من التصريف وتسرب مياه الأمطار. عند المرور عبر الحفر وأكوام النفايات بمواقع التعدين، تصبح مياه الأمطار غنية بالشوائب المعدنية ويمكنها أيضًا إثارة تفاعلات التحمُّض. تمثل ما يسمى بمياه الرشح (الحمضية) أكبر مجرى لمياه الصرف في التعدين وأكثرها إشكالية من حيث الحجم [٨٠].

# مجاري مياه الصرف وخصائصها

### المياه المستخدمة في الأغراض الصناعية

تنتج المياه المستخدمة في أغراض التعدين في ظل ظروف خاضعة للرقابة النسبية ويتأثر تكوينها بشكل مباشر بإدارة العملية المعنية. والمياه المستخدمة في نقل المواد الخام أو تكسيرها أو فصلها ميكانيكيًّا تكون ملوثة بشكل أساسي بالمواد الصلبة والشوائب المعدنية. ويجدر النظر إلى تدفق المياه بعد إبانة الحمض بشكل أكثر أهمية: يعد استخدام الأحماض القوية (الكبريتيك أو حمض الفوسفوريك) ضروريًا للإنتاج الواسع للفوسفات من الأباتيت المعدني سيئ الذوبان للغاية. في بعض الحالات، تتم إضافة المواد الكيميائية لتحسين قابلية الذوبان أو التكوين المعقد، مثل السيانيد أو الكبريتات، والتي تتراكم أيضًا في الماء [٨١، ٨٢].

### ماء الرشح

يتم سحق الخامات، التي عادةً ما تكون متداخلة في طبقات الصخور مع استبعاد الأكسجين، وذلك عن طريق التعدين وتتعرض لبيئة مؤكسِدة. ويؤدي التلامس مع الهواء المحيط ومياه الأمطار إلى حدوث تفاعلات كيميائية، اعتمادًا على مدى قابلية المادة الخام للذوبان أو التحلل بالماء أو الامتزاز. وغالبًا ما يكون ماء الرشح الناتج حمضيًا للغاية وبالتالي تذوب المعادن والكبريتات، على سبيل المثال، بتركيزات عالية من الصخور. والخصائص النموذجية لمياه الرشح هي قيم الأس الهيدروجيني <٦ (تصل أحيانًا إلى الأس الهيدروجيني ٩) والتركيزات العالية من الكبريتات في نطاق ١ إلى ١٠ جم/لتر [٨٠].

| التلوث | التركيز في مياه الصرف قبل المعالجة | التركيز في مياه الصرف بعد المعالجة |
|---|---|---|
| الأس الهيدروجيني [-] | ٥–١٠ | ٦–٩ |
| المواد المذابة [مجم/لتر] | n.a. | >١,٠٠٠ |
| المواد الصلبة [مجم/لتر] | ١٠–٥٠٠ | ٥–٣٥ |
| الكبريتات [مجم/لتر] | ٥,٠٠٠–١٠,٠٠٠ | ٥٠–٢,٠٠٠ |
| مركبات النيتروجين [مجم/لتر] | | |
| - النتريت | ٠,١–١ | ٠,٠١–١ |
| - النترات | ١–١٠٠ | ٠,١–٥٠ |
| - أمونيوم | ١–٥٠ | ٠,١–١٠ |
| فوسفور [مجم/لتر] | ٠,١–١٠ | ٠,٠١–٢ |
| كلور [مجم/لتر] | غير متوفر | ٢٠–٢٠٠ |
| طلب كيميائي على الأكسجين (COD) [مجم/لتر] | غير متوفر | ١٥–١٠٠ |
| المعادن [مجم/لتر] | | |
| - الزرنيخ | ٠,١–٥ | ٠,٠١–٠,٠٥ |
| - الكادميوم | ٠,٠٠٥–٠,٥ | ٠,٠٠٢–٠,٠٢ |
| - الكروم | ٠,٠٠٥–٠,٠٥ | ٠,٠٠٢–٠,٠٢ |
| - النحاس | ٠,٠٢–٠,٢ | ٠,٠٠٢–٠,١ |
| - حديد | ٢–٥٠ | ٠,٠٢–٢,٥ |
| - رصاص | ٠,٠٥–٥ | ٠,٠١–٠,٠٥ |
| - نيكل | ٠,١–٠,٥ | ٠,٠١–٠,٢ |
| - زنك | ٠,٥–٥ | ٠,٠١–٠,٥ |
| السيانيد [مجم/لتر] | غير متوفر | <٠,١ |

جدول ١: تلوث نموذجي في المياه المستخدمة في أغراض التعدين [٨٠]

## شوائب نموذجية

غالبًا ما تكون مجاري مياه الصرف الناتجة عن التعدين شديدة الحمضية وملوثة بتركيزات عالية من المعادن وشبه المعادن وأحيانًا الأملاح (جدول ١). تأتي معظم الشوائب في مياه الصرف مباشرةً من التكوينات الجيولوجية المعنية، ولكن يعود بعضها أيضًا إلى مواد مساعدة ناتجة عن معالجة المواد الخام. أهم الأحمال هي على النحو الآتي [٨٠، ٨١، ٨٣، ٨٤]:

- قيمة الأس الهيدروجيني
تتأثر بتكوين الصخور المستخرجة. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تلعب المستخلصات الحمضية أو القلوية دورًا في إذابة المعادن، مثل استخراج الذهب أو الألومنيوم أو اليورانيوم.

- المواد المذابة والمواد الصلبة
يعتمد محتوى المواد المذابة على خصائص المادة الخام. وينتج عن استخراج البوتاس مياه صرف تحتوي على نسبة عالية للغاية من الملح. تظهر تركيزات عالية من المواد الصلبة العالقة بشكل رئيسي في عمليات تعدين الفحم.

- المغذيات
عادةً ما يتم الحصول على النيتروجين عن طريق المتفجرات لاستخراج الصخور وعادةً ما يكون على شكل نتريت أو نترات أو أمونيوم. وعند استخراج الفوسفات، غالبًا ما توجد تركيزات عالية من الفوسفور في مياه الصرف، ولكن في القطاعات الأخرى أيضًا، يمكن نقل الفوسفور إلى مياه الصرف من الكومة الخضراء (على سبيل المثال من خلال تآكل التربة أو من الأسمدة). يظهر الفوسفور بشكل رئيسي على شكل فوسفات في مياه الصرف.

- أخرى
اعتمادًا على تكوين المادة الخام المستخرجة، يمكن أن تحتوي مياه الصرف على تركيزات ذات صلة من الكلور والكبريتات. وهذه الشوائب مهمة بشكلٍ خاص في صناعة البوتاس. يمكن أن تلوث بقايا المعادن المستخرجة من الصخور أيضًا مياه الصرف، مثل الزرنيخ في استخراج الذهب أو الكادميوم في استخراج الفوسفات. تُستخدم بعض المعادن والسيانيد أيضًا كمواد مساعدة، خاصةً لاستخراج الذهب في المحلول القلوي.

# طريقة المعالجة

## اختيار الطريقة ومراحلها

في المناطق الجافة على وجه الخصوص، يلعب إعادة استخدام المياه دورًا مهمًّا في تقليل الحاجة إلى المياه العذبة. حيث يتم جمع المياه المستخدمة في الأغراض الصناعية في الوقت الحاضر بشكل منفصل في معظم عمليات التعدين، ويتم معالجتها وإعادة استخدامها في الغالب في خطوة المعنية من العملية. يمكن أن يتيح ذلك أيضًا الاسترداد الفعال للمواد الخام القيمة من مجاري المياه. ومع ذلك، نظرًا لفائض المياه المستخدمة في الأغراض الصناعية والكميات الكبيرة الإضافية من ماء الرشح، لا يزال التعدين بعيدًا عن تحقيق هدف "الطرح منعدم السوائل لمياه الصرف" عمليًا.

تتم معالجة مياه الصرف عادةً باستخدام عمليات فيزيائية كيميائية تهدف إلى أداء المهام التالية:

- فصل المواد الصلبة
- إزالة الأملاح والمغذيات والمعادن الذائبة
- تحييد واسع النطاق

عند اختيار العملية، يتم استخدام العمليات النشطة المنتشرة أيضًا في الصناعات الأخرى، والتي تتيح المعالجة المستهدفة لمجاري مياه الصرف باستخدام الطاقة و/أو المواد المساعدة. بدلاً من ذلك أو بالإضافة إلى ذلك، يمكن أيضًا القيام بالعمليات غير النشطة، والتي تكون مكتفية ذاتيًا على مدى فترات زمنية أطول (١٠-٣٠ عامًا) دون أي نفقات تشغيلية تُذكر. وهي عمليات بيولوجية أو فيزيائية بشكل أساسي ويمكن استخدامها بالدرجة الأولى عند تدفقات المياه المنخفضة (<٥٠ لتر/ثانية) والأحمال المنخفضة (حمولة حمضية <١٠ كجم/يوم أو <٨٠٠ مجم/لتر). كثيرًا ما تستخدم العمليات غير النشطة، على سبيل المثال، أحواض التنقية أو الأراضي الرطبة الهوائية أو اللاهوائية (المنشأة صناعيًا) [٨٠، ٨٣].

## المعالجة الفيزيائية-الكيميائية

تُستخدم العمليات التي تحركها الجاذبية عادةً لفصل المواد الصلبة عن مياه الصرف، غالبًا مع إضافة المواد الندفية. اعتمادًا على معدل التدفق الحجمي وخصائص المواد الصلبة العالقة، كما تستخدم أيضًا عمليات الترشيح. أفضل التقنيات المتاحة هي:العمليات الآتية [٨٠]:

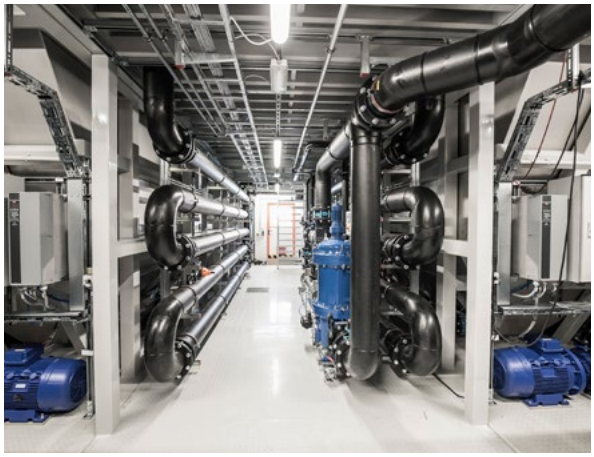
- الترسيب في فرازات الجاذبية أو أحواض التنقية
- تعويم الغاز
- الطرد المركزي
- الترشيح السطحي أو الواسع

أحواض التنقية عبارة عن أحواض صناعية يمكنها استيعاب ما يصل إلى ١٠٠,٠٠٠ متر مكعب من مياه الصرف. يتدفق الماء من خلالها على منحدر مسطح، مع وجود حشوة عازلة محكمة الغلق لمنع تسرب الماء. وهناك عمليتان تجريان بالتوازي هنا، وهما تبخير المياه النظيفة (طالما أن مياه الصرف لا تحتوي على أي مكونات متطايرة) وترسيب المواد الصلبة، مثل منتجات الترسيب [٨١، ٨٠].

تتم إزالة المواد المذابة عادةً من مياه الصرف باستخدام عملية فيزيائية-كيميائية. ويتم استخدام العمليات الآتية، على سبيل المثال، لهذا الغرض:

- الترسيب
- الامتزاز
- التبادل الأيوني
- طريقة الترشيح بالأغشية

اعتمادًا على تكوين مياه الصرف، يمكن أن تؤدي الظروف الكيميائية المختلفة إلى ترسيب الملوثات. تقلل بعض المعادن من قابليتها للذوبان في الظروف المؤكسدة (إما ذات التهوية الصناعية أو من خلال التهوية البيولوجية النشطة)، والبعض الآخر من خلال الاختزال في ظروف لا هوائية. يمكن أيضًا ترسيب العديد من المعادن وفصلها كمركبات هيدروكسيد أو كربونات أثناء عملية التحييد [٨٠، ٨٣]. □



دراسة الحالة: استخراج الذهب في جنوب إفريقيا

# مضخات تصرف المياه من مناجم غمرتها المياه في جنوب إفريقيا

## الخلفية

يعد استخراج المعادن الثمينة صناعة ذات أهمية كبيرة في الهند، ويبين المثال التالي في جنوب إفريقيا أوجه التشابه المحتملة مع الوضع هناك. تأسست مدينة جوهانسبرغ في سياق حمى الذهب في ويتووترسراند في عام ١٨٨٦. ومنذ ذلك الحين، تم استخراج ٤٠,٠٠٠ طنًا - ٣٠٪ من ذهب العالم - من المناجم المحلية هناك. حيث يوجد هناك العديد من الآبار والمناجم المهجورة في المدينة شاهدة على حمى الذهب هذه. ومع ذلك، فهي تمثل خطرًا متزايدًا على الأفراد والبيئة. نتيجة لتغلغل مياه الأمطار في هذه الآبار، تكونت بحيرة بمياه حمضية ملوثة بشدة في بعض الأماكن في المدينة، ولا تزال تواصل توسعها. أثناء عملية التعدين، تم ضخ المياه الجوفية المتغلغلة خارج المناجم عبر البنية التحتية القائمة. ولكن مع إغلاق العديد من المناجم، توقفت هذه العملية. وامتلأ ما يسمى بالحوض الغربي وبدأ في التفريغ في عام ٢٠٠٢. وتوقف الضخ في الحوض المركزي عام ٢٠٠٨، وفي الحوض الشرقي في مطلع عام ٢٠١١.

## تحدي خاص/طرح خاص للمشكلة

يطرح نزح مياه المناجم عددًا من التحديات، لا سيما بسبب التركيب الكيميائي لها. حيث تحتوي الصخور المتحولة في أنفاق المناجم على معدن البيريت، الذي يتفاعل مع مياه الأمطار المؤكسدة أو المياه الجوفية، مما يؤدي إلى زيادة تركيزات الكبريتات ثم في النهاية انخفاض قيم الأس الهيدروجيني. وعند الوصول إلى قيم الأس الهيدروجيني المكونة من رقمين، يذيب حامض الكبريتيك الألومنيوم والمعادن السامة واليورانيوم من الصخور وينتج أكسيد الحديد كمنتج ثانوي عندما ترتفع قيمة الأس الهيدروجيني. نتيجةً لذلك، يمكن أن تصل قيمة الأس الهيدروجيني في الماء إلى مستويات تجعله خطيرًا على الإنسان والبيئة. وهكذا أصبح تصريف الماء من المناجم مشكلة وتحدياً على الصعيد البيئي.

شكل ١: مضخة محرك غاطسة ANDRITZ من سلسلة HDM (التعدين الثقيل)

## نهج الحل

لحماية المياه السطحية والجوفية، يجب استنفاد جميع الخيارات عند إيقاف تشغيل مناجم التعدين، على سبيل المثال الختم الكامل قدر الإمكان أو المعالجة غير النشطة طويلة الأجل لمياه المناجم الناتجة. يمكن لتقنيات الضخ الموثوقة أن تقدم مساهمة مهمة هنا.

تمتلك مجموعة التكنولوجيا الدولية ANDRITZ سلسلة مضخات مصممة خصيصًا لظروف التعدين الصعبة - سلسلة التعدين الثقيل (HDM) (الشكل ١). مع هذا النوع من المضخات، يتم ترتيب مضختين من المحركات الغاطسة واحدة فوق الأخرى في اتجاهين متعاكسين ويتم تشغيلهما بواسطة عمود مضخة متواصل. توجد مناطق الشفط بالمضختين في نهايات سلسلة التعدين الثقيل. وتنقل كل مضخة من المضختين نصف معدل التدفق عند الضغط الكامل نحو مركز المضخة. تقوم مرحلة الانحراف هناك بتوجيه تيار التدفق عبر قنوات المبيت الخارجية إلى خط الضغط. يعمل تصميم التدفق المزدوج على تحييد الدفع المحوري تمامًا ويتم تقليل الأحمال على الوحدة إلى الحد الأدنى.

شكل ٢: تركيب إحدى مضخات ANDRITZ

لإتاحة استخدام هذه المضخات لضخ مياه المناجم الحمضية، يجب حماية بعض المكونات من الأحماض الأكالة. لهذا الغرض، تم تغليف المحركات الغاطسة بحيث يتجاوز الضغط الداخلي الضغط الخارجي. وهذا يمنع الماء من الدخول ويمنع مهاجمة المكونات داخل المحرك. لضمان عمر خدمة طويل للمواد التي تتلامس مع الوسيط، تم اختيار العديد من خيارات المواد وإجراء الاختبارات المؤهِلة. ومن بين هذا المواد المعنية، تم اختيار المواد التي تتمتع بأفضل الخواص الميكانيكية لأجزاء وحدة المضخة من أجل توفير تصميم مدمج. يتراوح علو الضخ المتغير للمضخات المختارة بين ٣٠٠ إلى ٥٠٠ مترًا بمقدار ضخ يصل إلى ١٥٠٠ متر مكعب/ساعة. يبلغ حجم المحرك ٢٤٠٠ كيلو واط.

## النتائج

جميع وحدات المضخات متطابقة ولها نفس المكونات الهيدروليكية. يتم تفكيك مجموعة مضخات كاملة واحدة على الأقل وتخزينها في الموقع؛ هذا يعني وجود مضخة واحدة بديلة متاحة على الفور. وبالإضافة إلى ذلك، يتم أيضًا تخزين عدد من قطع الغيار المختارة في الموقع. تعمل المضختان - اللتان يبلغ وزنهما ٢١ طنًا، وطول الواحدة منهما ١٥ مترًا وقطرها مترًا واحدًا - منذ شهر يونيو ٢٠١٤ (الشكل ٢). حيث تم تعليقهما بحرية على أنابيب بطول ٤٣٠ مترًا مصنوعة من الفولاذ المزدوج، وتنقل مياه المناجم الحمضية إلى السطح ثم إلى محطة معالجة مجاورة. بإضافة الجير هنا، ترتفع قيمة الأس الهيدروجيني، ويتم تحييد الحمض وترسب المعادن الثقيلة المذابة في الماء على شكل هيدروكسيدات.

تقوم السلطات ببناء محطتي ضخ إضافيتين غرب وشرق جوهانسبرغ بهدف طويل الأجل يتمثل في خفض مستوى المياه في المناجم التي غمرتها الفيضانات من ٢٠٠ متر حاليًا إلى عمق ١٠٠٠ متر. بهذه الخطوة، يريد المشغل أيضًا استعادة الوصول إلى المستويات الأعلى حتى يتمكن من استئناف استخراج الذهب وخام الذهب هناك. قدمت شركة ANDRITZ ما مجموعه سبع مضخات تم تركيبها في محطتي الضخ هاتين.

## مساهمة التقنية المقدَّمة

تتمثل مزايا تقنية المضخة المقدمة في عمرها التشغيلي الطويل وعدم حاجتها إلى الصيانة مع معدلات التدفق الكبيرة للغاية في ظل ظروف شديدة الصعوبة. ويتم تحقيق ذلك من خلال الاختيار المستهدف للمواد عالية الاستقرار كيميائيًا وميكانيكيًا، ومن ناحيةٍ أخرى، فإن التغليف الخاص مع زيادة الضغط الداخلي يسمح بحماية مكونات النظام الهامة. □

# ٥ الصناعات الغذائية

## المعلومات الخاصة بالبلد

### الهند

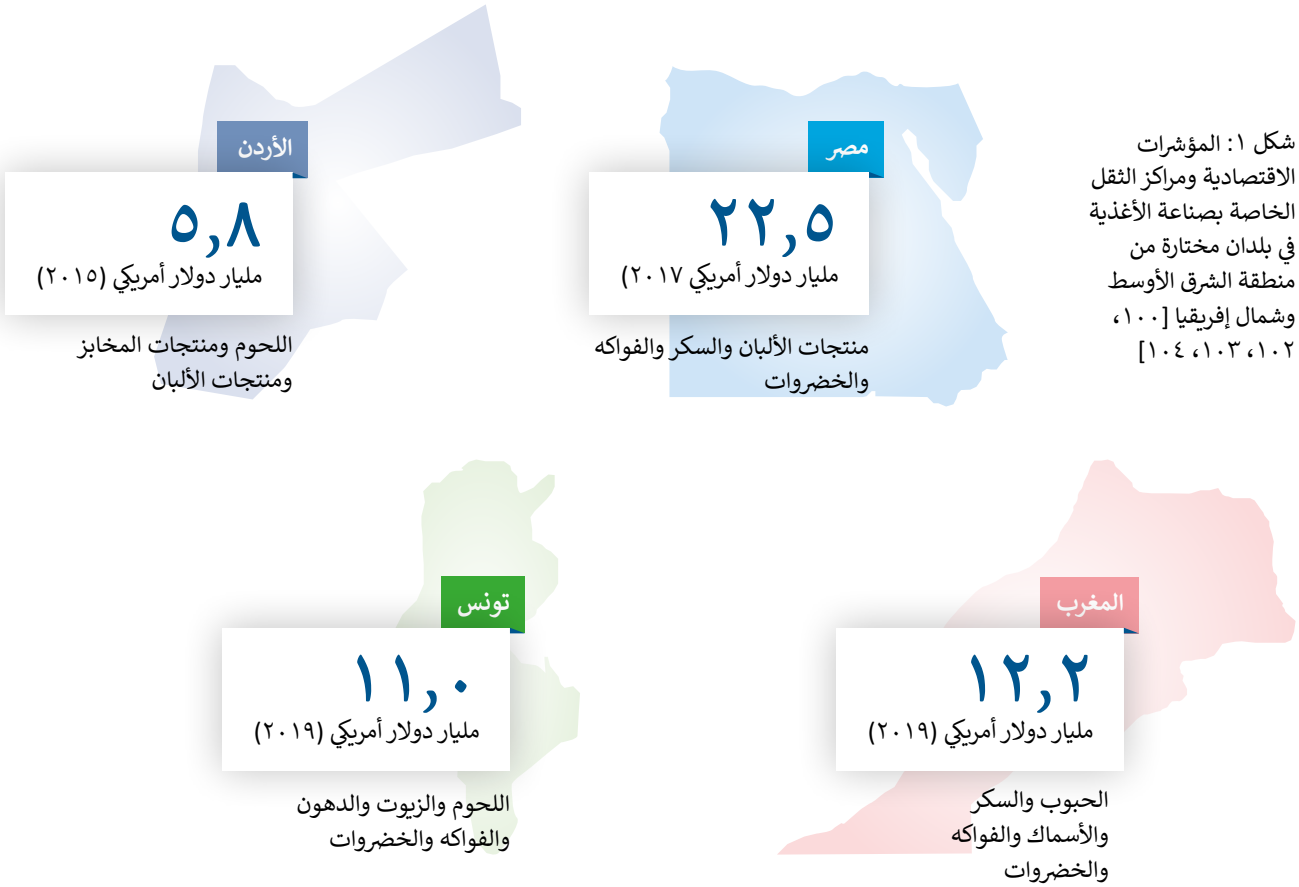
تعتمد صناعة الأغذية الهندية على زراعة وطنية مستقرة مع مساحات شاسعة من الأرض وظروف مناخية مواتية. وجديرٌ بالذكر أن ازدهار مستوى الرفاهية وزيادة التمدن وتغير عادات الأكل يعني أن معالجة المواد الغذائية تلعب أيضًا دورًا مهمًا بشكل متزايد في البلاد. يبلغ صافي القيمة الحالية لصناعة معالجة الأغذية اليوم ما يقرب من ٣٠٪ من صناعة الأغذية الهندية، أي ما يقرب من ١٨٨ مليار دولار أمريكي [٨٥، ٨٦].

البستنة (الفاكهة والخضروات) هي أكثر فروع الزراعة إنتاجية في الهند، وتعد ثاني أكبر منتج للفاكهة والخضروات في العالم (جدول ١). ومع ذلك، تتم معالجة حوالي ٢٪ فقط من المنتجات في الهند، وهي نسبة تعد قليلة للغاية عند مقارنتها دوليًا (الولايات المتحدة الأمريكية: ٦٥ ٪، الفلبين: ٧٨ ٪، الصين: ٢٣ ٪). أما معدلات معالجة الأرز والقمح فهي أعلى قليلًا. حيث تتمتع الدولة بالاكتفاء الذاتي من الأرز والقمح. ويعمل حوالي ١٠ ملايين مزارع ألبان في الهند، مما يجعل البلاد أكبر منتج عالمي للحليب. يتم استخدام حوالي ٣٥٪ من المبيعات في تصنيع الأغذية لإنتاج الحليب المجفف والزبدة والجبن ومنتجات الألبان الأخرى. هذا يجعل صناعة الألبان فرعًا مهمًا من الاقتصاد

| المنتَج | إنتاج سنوي | مبيعات سنوية | نمو سنوي | المناطق الرئيسية |
|---|---|---|---|---|
| الفواكه والخضروات | ٢٨٢ مليون طن (٢٠١٧ - ٢٠١٨) | ٤٢ مليار دولار أمريكي (٢٠١٧ - ٢٠١٨) | ٤,٢٪ (٢٠١٧ - ٢٠١٨) | ماهاراشترا، أندرا براديش، أوتار براديش، البنغال الغربية، بيهار |
| الحليب | ١٧٦ مليون طن (٢٠١٧ - ٢٠١٨) | ٧٢ مليار دولار أمريكي (٢٠١٦) | ١٥ ٪ (٢٠١٠ - ٢٠١٥) | دلهي، البنجاب، غوجارات، سورات، لكناو، بيهار، حيدر أباد |
| الأرز | ١١٣ مليون طن (٢٠١٧ - ٢٠١٨) | ٥٣ مليار دولار أمريكي (٢٠٢٠) | ٦,٥٪ (٢٠٢٠) | البنجاب، هاريانا، البنغال الغربية، أوتار براديش، تاميل نادو، أوريسا، أندرا براديش |
| القمح | ١٠٧ مليون طن (٢٠٢٠) | ٦١ مليار دولار أمريكي (تصدير ٢٠٢٠) | ٣,٥٪ (٢٠٢٠) | البنجاب، هاريانا ، أوتار براديش، ماديا براديش |
| الأسماك (داخل البلاد) | ٩ مليون طن (٢٠١٧ - ٢٠١٨) | ٣,٥ مليار دولار أمريكي (٢٠١٢ - ٢٠١٣) | ٦ ٪ (٢٠١٢ - ٢٠١٣) | البنغال الغربية، أندرا براديش، غوجارات، كيرالا |
| اللحوم | ٧,٧ مليون طن (٢٠١٧ - ٢٠١٨) | ١٦,٥ مليار دولار أمريكي (٢٠٢٠) | ٨ ٪ (٢٠٢٠) | أوتار براديش، البنغال الغربية، أندرا براديش، هاريانا، تاميل نادو |

جدول ١: مقارنة بين القطاعات الرئيسية لصناعة الأغذية الهندية [٨٧، ٨٩، ٩٠، ٩١، ٩٢، ٩٣، ٩٤] [٩٥، ٩٦، ٩٧] [٩٨]

# التركيز على صناعة المواد الغذائية.




شكل ١: المؤشرات الاقتصادية ومراكز الثقل الخاصة بصناعة الأغذية في بلدان مختارة من منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا [١٠٠، ١٠٢، ١٠٣، ١٠٤]

في البلاد، وتهيمن الشركات المحلية الكبيرة على القطاع. يلعب إنتاج الأسماك (ثاني أكبر منتج في العالم) واللحوم (سادس أكبر منتج في العالم) دورًا أيضًا، حتى لو كانت المنتجات تباع في الأساس مغلفة و(مجمدة) فقط [٨٧].

لا تزال صناعة الأغذية الهندية تواجه حاليًا خسائر كبيرة في المنتجات في بعض الحالات (خاصةً في مجال البستنة)، والشروط التنظيمية غير الواضحة وسلاسل التوريد غير المتطورة بالشكل الكافي. وفي المستقبل، سيكون من المهم أكثر فأكثر الالتزام بمعايير الجودة والنظافة الصارمة والتوجه التكنولوجي نحو أفضل الممارسات على الصعيد الدولي. لذلك، فإن وزارة صناعة معالجة الأغذية تشجع التحديث والاستثمار بشكل مستهدف (بما في ذلك الاستثمار الأجنبي بنسبة ١٠٠٪) في هذا القطاع من الصناعة [٨٦، ٨٧].

التطورات التكنولوجية (البيئية) في معالجة الأغذية الهندية مدفوعة بشكل أساسي من قبل الشركات الدولية من خلال اعتماد معايير عالمية وأهداف الاستدامة. وهي تشمل تنظيف مياه الصرف العضوية شديدة التلوث باستخدام العمليات البيولوجية وزيادة معالجة المياه لتعويض نقص المياه الخام في فترات التقلبات الموسمية [٨٨].

## منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

غالبًا ما يرتبط تميز صناعة الأغذية ارتباطًا وثيقًا بالموارد الزراعية في البلد المعني. نظرًا للمناخ الحار والجاف نسبيًا، تركز الزراعة في العديد من بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا على التربية الحيوانية المكثفة لإنتاج الحليب واللحوم وعلى زراعة أنواع مناسبة من الفاكهة

والخضروات والحبوب. وبالتالي فإن أهم قطاعات صناعة معالجة الأغذية هي الألبان ومعالجة اللحوم والأسماك والحبوب (شكل ١). بشكلٍ عام، بسبب انتشار عادات الأكل "الغربية"، يمكن ملاحظة زيادة الطلب على المنتجات سهلة التحضير مثل الحليب المجفف والمعكرونة سريعة التحضير والمنتجات المجمدة، مما يؤدي إلى زيادة في معالجة المواد الغذائية.

تعد صناعة الألبان راسخة بشكل تقليدي في العديد من البلدان وتشهد حاليًا نموًا قويًا (على سبيل المثال، نمو سنوي بنسبة ٣٢٪ في الأردن). من أهم المنتجات في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا الحليب المبستر والزبادي وأنواع مختلفة من الجبن [٩٩، ١٠٠]. ويلعب إنتاج اللحوم أيضًا دورًا مهمًّا في تونس والأردن، وتحظى الدواجن بالنسبة الأكبر بفارق كبير عن البقية. تعد مجموعة شركات Poulina المتنوعة للغاية هي الطرف الفاعل المحلي هنا. حيث تركز المعالجة على حفظ وإنتاج مختلف منتجات النقانق [١٠٠، ١٠١]. وفي قطاع البستنة، تُزرع الطماطم والحمضيات والتمور، والتي نادرًا ما تتم معالجتها قبل بيعها أو تصديرها. وفي تونس، يعد إنتاج الزيتون أيضًا فرعًا مهمًّا من الاقتصاد ويشكل الأساس للإنتاج الصناعي وتكرير زيت الزيتون (أهم منتج شركة "Société de conditionnement des huiles d'olive") المحلية. أما المغرب، بسواحلها البالغة ٣٥٠٠ كيلومترًا، فهي تُعد أكبر منتج للأسماك في إفريقيا.

نظرًا للارتباط الوثيق بالأنشطة الزراعية، لا يمكن دائمًا تحديد استهلاك المياه في صناعة تجهيز الأغذية بشكلٍ واضح – ومع ذلك، يقدر هذا في الأردن بحوالي ١٠٪ من إجمالي استهلاك المياه الصناعية [١٠١]، على سبيل المثال. من أجل حماية موارد المياه العذبة، يتم تعزيز الجهود المبذولة لمعالجة مياه الصرف الصناعي وإعادة استخدام المياه في العديد من الأماكن. وغالبًا ما تفي الشركات متعددة الجنسيات وشركات تصنيع اللحوم على وجه الخصوص بمتطلبات المعيار ISO ١٤٠٠١ وغير ذلك من المعايير الطوعية. ومع ذلك، فإن النسبة العالية من الشركات الصغيرة والمتوسطة الحجم ذات الهيكل المحدود في قطاع الأغذية تجعل من الصعب في كثير من الحالات تنفيذ تدابير حماية البيئة على نطاقٍ واسع [١٠٠، ١٠١].

# قطاع الصناعة وإنتاج مياه الصرف

في صناعة الأغذية، تتم معالجة المنتجات الزراعية للاستهلاك البشري من خلال استخدام المواد الخام والعمالة والتكنولوجيا. ويتم تصنيف قطاعات الصناعة حسب المواد الخام المستخدمة:

- الحليب
  تبريد الحليب وبسترته وإنتاج الجبن والزبدة والزبادي ومنتجات الألبان الأخرى وكذلك الحليب المجفف
- الفواكه والخضراوات
  غسل وتقطيع وإنتاج ومعالجة العصير والمركزات والمعجون حتى المنتجات النهائية (مثل الكاتشب أو المربى أو رقائق البطاطس)
- الحبوب
  طحن ومعالجة الدقيق حتى المنتج النهائي (مثل المعكرونة والمخبوزات)، وكذلك استخراج النشا والجلوكوز والشعير
- اللحم والسمك
  التبريد والتقطيع والحفظ (على سبيل المثال عن طريق التجميد العميق أو التدخين) أو تحضير المنتجات النهائية (على سبيل المثال عن طريق الطهي المسبق أو القلي العميق)

يمكن أن يختلف مستوى شدة المعالجة داخل كل قطاع؛ من المعالجة الخفيفة (الفرز أو الغسل أو التعبئة) إلى المعالجة المكثفة (منتجات التخمير أو المخبوزات). يمكن بشكلٍ عام تخصيص إنتاج المشروبات والوجبات الجاهزة لواحد أو أكثر من القطاعات المذكورة، ولكن في بعض الأحيان يتم إدراجه كقطاع منفصل.

في صناعة الأغذية، تُستخدم المياه العذبة لغسل المواد الخام أو لتنظيف الأنظمة أو مباشرةً في عملية الإنتاج. من خلال الالتزام بقواعد النظافة الصارمة في الإنتاج، تمثل مياه التنظيف إلى حدٍ بعيد الجزء الأكبر من مياه الصرف الصناعي [١٠٥، ١٠٦].

## مياه الصرف الناتجة عن صناعة مُعالجة المواد الغذائية

| القطاع | مجموع المواد الصلبة العالقة (TSS) [جم/لتر] | COD [جم/لتر] | $BOD_5$ [جم/لتر] | الزيت/الدهن [جم/لتر] | الأس الهيدروجيني |
|---|---|---|---|---|---|
| مصنع الألبان | ١–٠,١٥ | ٤,٥–٠,٨ | ٥–٠,٨ | ٠,٥–٠,٠٥ | ١٣–٣,٥ |
| معالجة اللحوم | ٤–٠,٨ | ٨–٢ | ٤–١ | ٢,٥–٠,٣ | ٨–٦ |
| معالجة الأسماك | ٥–٠,٥ | ٥٠–٥ | ١٠–١ | ٠,٥–٠,٠٢ | ٧,١–٤,٩ |
| إنتاج زيت الزيتون | >١٠٠ | ٣٠٠–٣٠ | ١٥٠–١٠ | >٣٠٠ | ٦–٤ |

شكل ٢: الخصائص النموذجية لمياه الصرف في صناعات مختارة لمعالجة الأغذية [٢٢، ١١٥، ١٠٨، ١١٣، ١١٠].

# مجاري مياه الصرف وخصائصها

## مصانع الألبان

في صناعة معالجة الحليب، تُصنع المنتجات الصالحة للأكل من الحليب الخام. والخطوات الإجرائية الهامة في معالجة الحليب هي [١٠٧]:

- في الغالب يتم إزالة جزيئات الأوساخ ونزع الدسم من الحليب، عن طريق الطرد المركزي أو الترشيح
- المجانسة تحت ضغط مرتفع
- المعالجة الحرارية التعقيمية باستخدام البسترة أو التسخين العالي أو التسخين الفائق
- إنتاج الجبن عن طريق تخثير الحليب بالمنفحة، وفصل المرحلة الصلبة عن النضوج
- تصنيع منتجات اللبن الزبادي عن طريق تخمير اللاكتوز وتحويله إلى حمض اللاكتيك
- الحفظ عن طريق إزالة الماء، مثل التبخير أو الترشيح الغشائي

في مصانع الألبان، يتم إنتاج ما متوسطه حوالي ١ متر مكعب من مياه الصرف لكل طن من الحليب المعالج. من ناحية، تأتي مياه الصرف هذه من الإنتاج مباشرةً (مثل خسائر التنقيط وحليب الشطف والمكثفات) ومن ناحية أخرى، من عمليات التنظيف (مثل محاليل التنظيف والتطهير). يمكن إعادة استخدام مياه الصرف الناتجة عن الإنتاج جزئيًا أو التخلص منها دون معالجة، وذلك حسب درجة التلوث. وفي المقابل، يتم إنتاج مياه الصرف الخاصة بالتنظيف بكميات كبيرة للغاية (غالبًا بشكل متقطع) وغالبًا ما تكون شديدة التلوث [٢٢].

أهم مادة ملوثة في مياه الصرف بمصانع الألبان هي الحليب نفسه، مع التركيب العضوي له (خاصةً البروتين واللاكتوز والدهون) (شكل ٢). السمة المميزة هنا هي التركيزات العالية من النيتروجين والفوسفور، وكذلك بالنسبة إلى COD. وبالإضافة إلى ذلك، هناك بقايا من المنتجات الثانوية (مثل مصل اللبن)، ومزارع التخمير، وعوامل التنظيف، ومواد الإنتاج المساعدة (مثل أملاح صناعة الجبن) [١٠٨، ١٠٩].

## معالجة اللحوم والأسماك

تشمل معالجة اللحوم خطوات ما بعد الذبح لإنتاج منتجات صالحة للأكل من اللحوم النيئة. وبالمثل، يؤخذ في الاعتبار هنا تجهيز الأسماك الطازجة أو المجمدة حتى المنتج النهائي. تشمل أهم خطوات المعالجة في كلتا الحالتين ما يلي:

- التنظيف والتشذيب مثل إزالة الجلد والقشور والعظام وأجزاء أخرى من الجسم
- إضافة مواد مثل البهارات والمواد الحافظة والإنزيمات
- الحفظ مثل التخمير أو التدخين أو التجفيف
- تحضير مواد غذائية خاصة، مثل الاستحلاب أو التشكيل أو الطهي
- التعبئة والتغليف، على سبيل المثال، في الأغذية المعلبة

ينتج عن معالجة اللحوم والأسماك كميات كبيرة من فضلات الحيوانات التي يجب جمعها والتخلص منها – يخرج حوالي ٣٠-٧٠٪ من الأسماك كنفايات في صناعة الأسماك المعلبة. في كثير من الحالات، يمكن إعادة تدوير هذه النفايات كوجبات للحيوانات أو للأسماك. تأتي مياه الصرف الصحي بشكل أساسي من التنظيف المتكرر لأسطح وأنظمة العمليات، وهو أمر ضروري لضمان معايير النظافة. في خطوات المعالجة الموسعة اللاحقة، يزداد تلوث مياه الصرف الناتجة، على سبيل المثال، أثناء عمليات الطهي أو إضافة المواد المضافة.

تعد المخلفات الحيوانية – وخاصةً البروتينات والدهون – أهم الملوثات في مياه الصرف الصناعي بفارق كبير عن بقية الملوثات. حيث تؤدي إلى تركيزات عضوية عالية (COD و BOD)، وتكون قيم الفوسفور في نطاق ٣٠-١٠٠ مجم/لتر وقيم النيتروجين في الغالب >١٠٠ مجم/لتر (شكل ٢). يحتوي الدم على وجه الخصوص على نسبة عالية جدًا من COD ولذلك يجب جمعه والتخلص منه بشكل منفصل كلما أمكن ذلك. العديد من بقايا الحيوانات، مثل الريش أو القشر أو الأنسجة، تكون عالقة ويجب فصلها على أنها مواد صلبة [٢٢، ١١٠، ١١١، ١١٢].

## إنتاج زيت الزيتون

يتم إنتاج زيت الزيتون تقليديًا عن طريق الكبس والتصفية، ولكن كما هو الحال في جميع القطاعات الصناعية، يمكن أيضًا ملاحظة زيادة مستوى التكنولوجيا هنا. يتم اليوم استخراج الزيت من الزيتون المهروس بشكل أساسي عن طريق الطرد المركزي على مرحلتين أو ثلاث. تتطلب الدوارق ثلاثية المراحل إضافة ما يصل إلى ٥٠ كجم من الماء العذب لتحضير ١٠٠ كجم من الزيتون

المهروس. في معظم الحالات، يتم تكرير الزيت المستخرج كيميائيًا أو فيزيائيًا من أجل إزالة الدهون الفوسفورية المتداخلة والأحماض الدهنية الحرة والمواد العكرة. يمكن حينها استخدام حمض الفوسفوريك والصودا الكاوية والمواد المساعدة الأخرى.

عند إنتاج زيت الزيتون، عادةً ما يتم إنتاج حوالي ١ متر مكعب من مياه الصرف لكل طن من المنتج، خاصةً في خطوة التكرير، على سبيل المثال، أثناء إزالة الحموضة الرطبة. قبل كل شيء، تتميز مياه الصرف بمستوى عالٍ من التلوث العضوي، والذي يتكون من مادة البوليفينول والسكريات والعفص والدهون وما إلى ذلك (جدول ١٢). يمكن أن تصل الفينولات على وجه الخصوص إلى تركيزات أعلى من ١٠ جم/لتر وهي معروفة بسميتها البيئية العالية [١١٣، ١١٤].

# طريقة المعالجة

## اختيار الطريقة ومراحلها

يتمثل التحدي في معالجة مياه الصرف في صناعات تجهيز الأغذية في ارتفاع مستوى التلوث بالمواد العضوية – المواد الصلبة والزيوت والمواد الذائبة. عادةً ما يتم إزالة المواد الخشنة والعالقة في خطوة المعالجة الأولى لتجنب الانسداد في مراحل العملية اللاحقة. نادرًا ما يتم استخدام الترسيب بالجاذبية المستخدم بشكل متكرر في صناعة الأغذية لأن اختلافات الكثافة بين المرحلة الصلبة والسائلة محدودة نسبيًا. بدلًا من ذلك، يُفضل استخدام التقنيات التالية [٢٢، ١١٠]:

- شبكات ومصافي ثابتة أو متحركة
- الطرد المركزي (أحيانًا أيضًا الطرد المركزي ثلاثي المراحل لفصل الزيت في نفس الوقت)
- التنديف والتعويم

تتم إزالة الزيوت والدهون إما بالتوازي مع المواد الصلبة أو في خطوة معالجة لاحقة. يمكن بعد ذلك عادةً حدوث تحلل بيولوجي للمواد العضوية والمغذيات المذابة بشكل جيد للغاية. نظرًا لمتطلبات النظافة الصارمة، يتم وضع متطلبات عالية بشكلٍ خاص على إعادة استخدام مياه الصرف المعالجة في صناعة الأغذية. يمكن إعادة تدوير تدفقات العملية على الفور في ظل ظروف مواتية؛ أما بالنسبة لمياه الصرف التي يتم تجميعها ومعالجتها، فنادرًا ما توجد مجالات استخدام ذات صلة بالإنتاج.

## فصل الزيوت والدهون

غالبًا ما تحتوي مياه الصرف الصناعي الناتجة عن معالجة الأغذية على دهون وزيوت غير قابلة للذوبان من أصل حيواني أو نباتي. والطريقة الأبسط والأكثر انتشارًا لفصل مرحلة مياه الصرف الزيتية هي فصل الدهون الثابت. عند محدودية سرعة التدفق، يتم استخدام الاختلاف في الكثافة بين مرحلتي الماء والدهون لإزالة طبقة الدهون العائمة على سطح الماء. يتم تحقيق فصل أسرع وأكثر اكتمالًا إذا تم إحداث فصل المراحل بواسطة قوى الطرد المركزي بدلاً من الجاذبية أو عن طريق التعلق بفقاعات الغاز. لهذا، يمكن استعمال إما الدوامات الهيدروليكية الثابتة ذات التدفق الدوار أو أجهزة الطرد المركزي الدوارة أو أنظمة تعويم الغاز.

ولكن في معالجة الألبان واللحوم والأسماك، تظهر الدهون المستحلَبة بشكل أساسي، والتي لا يمكن إزالتها عن طريق الجاذبية التقليدية أو أجهزة الفصل بالطرد المركزي. والأسلوب الأكثر شيوعًا في هذه الحالات هو تكسير المستحلب من خلال استخدام الأحماض أو الأملاح المعدنية أو هيدروكسيد الكالسيوم. يسهل فصل الدهون عن طريق تنديفها، على سبيل المثال، في مرحلة تعويم الغاز اللاحقة. أثبتت طرق التعويم جدواها في فصل الدهون والزيوت، لأن فقاعات الغاز المشتَّتة تفضل الارتباط بالمواد الرافضة للماء وبالتالي يسهل فصل المراحل. يتم استخدام التعويم بإزالة الضغط بشكل أساسي في صناعة المواد الغذائية. فيما يتعلق بمهام الفصل الأكثر تعقيدًا، يمكن أن تكون إزالة الزيت عن طريق الترشيح الفائق حلاً مناسبًا أيضًا. في مثل هذه الحالة، يمكن أيضًا فصل المواد العالقة أو الأصباغ المستعصية بالتوازي مع إزالة الشحوم [٢٢، ١١٠].

## التنظيف البيولوجي

المعالجة البيولوجية مناسبة جدًا لمعالجة مياه الصرف الصحي في صناعة الأغذية. وتجدر الإشارة هنا إلى أنه يجب حماية البيولوجيا من التحميل الزائد بالزيوت والدهون. خاصةً في مصانع الألبان وإنتاج زيت الزيتون، يجب عادةً تخفيف الحمل عن المرحلة البيولوجية عن طريق فصل الدهون في مرحلة أولية.

يمكن استخدام العمليات الهوائية واللاهوائية للمعالجة البيولوجية لمياه الصرف الناتجة من صناعة الأغذية. عادةً ما تكون العمليات اللاهوائية قوية للغاية ومناسبة بشكل خاص لمياه الصرف شديدة التلوث. كما أن هناك ميزة أخرى وهي الإنتاج المنخفض نسبيًا للحمأة

الزائدة. حيث يتم تنفيذ هذا الإجراء عادةً في أحواض الصرف أو في مفاعلات الغاز الحيوي مع إرجاع البكتيريا أو بدونه. في معظم الحالات، يتْبع النظام اللاهوائي مرحلة هوائية من أجل الامتثال للقيم الحدية؛ اليوم عادةً ما تكون في شكل حمأة تنشيط أو عملية تصفية بالتقطير.

عند تشغيل مراحل المعالجة البيولوجية – اعتمادًا على تكوين مياه الصرف – قد تنشأ صعوبات في بعض الأحيان. بعض النماذج النمطية مذكورة هنا [٢٢، ١١٣]:

- تشكُّل الحمأة المتضخمة بسبب التركيزات العالية المتدفقة لـ COD القابل للتحلل بسهولة
- خصائص الترسيب السيئة للحمأة المنشطة بسبب ارتفاع نسبة الصوديوم/الكالسيوم (Na/Ca) في مياه الصرف، على سبيل المثال من معالجة الحليب. في هذه الحالة، يمكن أن يكون فصل الحمأة عن طريق التعويم أفضل من الترسيب التقليدي.
- خلل بالتحلل البيولوجي بسبب وجود المواد المثبطة، مثل الفينولات من إنتاج زيت الزيتون
- إزالة غير كافية للشوائب العضوية ضعيفة التحلل، مثل الأحماض الدهنية طويلة السلسلة أو بعض المركبات الفينولية من إنتاج زيت الزيتون □

دراسة الحالة: صناعة معالجة الزيتون في الأردن وسوريا ولبنان

# معالجة مياه الصرف من مصانع معالجة الزيتون

## الخلفية

تعد معالجة الزيتون عاملًا اقتصاديًّا رئيسيًّا في دول الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. فبالنيابة عن برنامج الأمم المتحدة الإنمائي (UNDP)، قامت شركة enviplan® بتطوير وبناء وتصنيع نموذج أوَّلي لنظام متنقل يمكن من خلاله معالجة مياه الصرف هذه. حيث يوجد في سوريا ولبنان والأردن حوالي ٢٥٠٠ شركة صغيرة تعالج الزيتون الطازج بشكل أساسي. ويلزم توفير ما يقرب من ١ متر مكعب من المياه العذبة لمعالجة ١ طن من الزيتون وتصبح هذه المياه شديدة التلوث. هذه الشركات ليست قادرة اقتصاديًّا على إنشاء نظام خاص بها لمعالجة مياه الصرف. ومن ثم، يود برنامج الأمم المتحدة الإنمائي أن يقدم أنظمة متنقلة خلال حملة المعالجة السنوية لتقوم بتشغيل المصانع المنتشرة في جميع أنحاء البلاد وتعالج مياه الصرف بطريقة لامركزية. والمصنع موجود في سوريا منذ بدء تشغيله في عام ٢٠٠٩.

## تحدي خاص/طرح خاص للمشكلة

تنتج العديد من المصانع اللامركزية مياه الصرف شديدة التلوث عند معالجة الزيتون، مما أدى بالفعل في كثير من الحالات إلى تلوث مياه الشرب. حيث أن النسب العالية لـ COD، والتركيزات العالية من البوليفينول والتشغيل المتقطع تجعل التنظيف البيولوجي مستحيلًا. وتجعل الشروط الإطارية الاقتصادية والفنية من الصعب على المنتجين تركيب محطة معالجة مياه الصرف الخاصة بهم في الموقع. لذلك يجب تنظيف مياه الصرف أثناء الحملة بأنظمة لامركزية ومتحركة في نقاط التجميع.

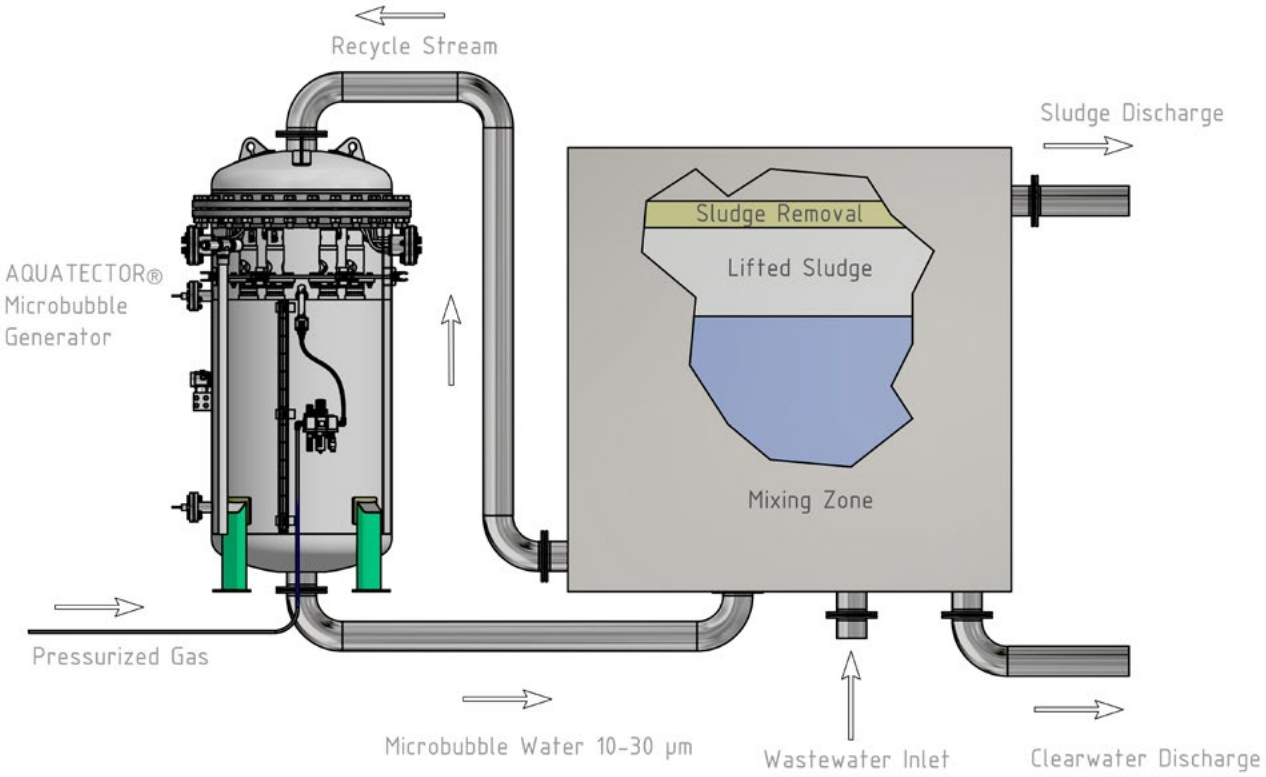
## نهج الحل

العملية الوحيدة في العالم التي تتيح المعالجة الفيزيائية-الكيميائية المسبقة للتنظيف الإضافي اللاحق باستخدام التناضح العكسي الذي يمكن غسله عكسيًّا عن طريق التعويم بالهواء المذاب من قِبل شركة AQUATECTOR® Microfloat® . فهذه العملية المركبة لديها القدرة على معالجة مياه الصرف حتى مستوى مياه الشرب. وتم تقديم العملية التي طورتها شركة enviplan® وحصلت على براءة اختراعها بوصفها مشروع توضيحي تقني في عام ٢٠٠٩ كنظام متنقل معتمد على الحاويات (الأشكال ١-٣). يبلغ إنتاج النظام ٢-٥ متر مكعب/ساعة ويمكن نقله كمقطورة بجهدٍ ضئيل. يمكن أيضًا تنفيذ حلول الحاويات.

تتكون مجموعة الإجراءات من المكونات التالية:

- فاصل الزيت
- تعويم بالهواء المذاب AQUATECTOR® Microfloat® على مرحلتين، كمرحلة تنظيف فيزيائية كيميائية
- نظام التناضح العكسي مفتوح القناة

شكل ١: نظام AQUATECTOR® Microfloat® المتنقل للمعالجة الموسمية لمياه الصرف الناتجة عن معالجة الزيتون كمشاريع تجريبية في لبنان وسوريا والأردن




## النتائج

يحقق النظام المتنقل جودة العملية المدرجة في الجدول ١. وهو عبارة عن تقنية قوية يمكن من خلالها تنظيف كمية معالجة تبلغ ٢-٥ متر مكعب/ساعة في نقاط تجميع مختلفة أثناء تشغيل الحملة. على سبيل المثال، تم بناء ثلاثة أنظمة مركزية في إسبانيا بسعة ٣٥ متر مكعب/ساعة. تُستخدم الأنظمة حصريًا مع تقنية AQUATECTOR® Microfloat® كمراحل معالجة أولية لمياه الصرف، حيث كان التشغيل على مدار العام مطلوبًا. تتم مراقبة عملية التعويم بالهواء المذاب بواسطة نظام كاميرا عالي الدقة، مما يتيح إجراء تقييم بصري لسقف الطفو. يتم أيضًا التحكم في جودة تصريف النظام من خلال قياس التعكر وقياس القدرة على التوصيل والتحكم في درجة الحرارة ومتابعة الأس الهيدروجيني.

## مساهمة التقنية المقدَّمة

يتيح نظام AQUATECTOR® معالجة مياه الصرف بكفاءة فيما يتعلق بالزيوت والمواد الصلبة والمواد العضوية الأخرى. وينصب التركيز هنا على متطلبات المساحة الصغيرة والمتانة الكبيرة للعملية. يمكن معالجة مياه الصرف بطريقة مدمجة في مجموعة عمليات فصل الزيت والتناضح العكسي، بطريقة متكاملة للغاية حتى الوصول إلى جودة مياه الشرب. □

| المعلمة | الوحدة | مدخل النظام | مصرف النظام (اختزال) |
|---|---|---|---|
| زيوت حرة | جم/لتر | الحد الأقصى ٢٠ | ٩٥-٩٩٪ |
| COD | مجم/لتر | ١٠٠,٠٠٠ | ٩٠-٩٥٪ |
| BOD | مجم/لتر | ٥٠,٠٠٠ | ٩٠-٩٥٪ |
| مواد صلبة | مجم/لتر | ٣,٠٠٠-٢,٠٠٠ | ٩٩٪< |
| بوليفينول | مجم/لتر | ٥,٠٠٠-٥٠٠ | ٩٥-٩٨٪< |

جدول ١: قيم التدفق الداخل والصرف للنظام المنفَّذ (عينة من القيم)

دراسة الحالة: صناعة معالجة الأسماك في المغرب

# معالجة مياه الصرف البيولوجية لضمان الامتثال للمتطلبات القانونية

## الخلفية

هناك مصنع لإنتاج الأسماك المعلبة في جنوب المغرب يعالج السردين والماكريل والتونة بشكل أساسي، وكان من المقرر إنشاء محطة لمعالجة مياه الصرف تتوافق بشكل موثوق مع جميع المواصفات القانونية للتصريف في نظام الصرف الصحي المحلي. وتتعلق المواصفات المغربية بشكل أساسي بمعلمات درجة الحرارة، والأس الهيدروجيني، وCOD وBOD$_5$ والدهون ومحتوى المواد الصلبة.

## تحدي خاص/طرح خاص للمشكلة

عند معالجة الأسماك، تخرج كميات كبيرة من القشور وفضلات الأسماك والدهون والزيوت والنفايات العضوية الأخرى، والتي يدخل جزء منها في مياه الصرف الناتجة عن الإنتاج. ومن الممكن أن يؤدي حمل مياه الصرف هذا إلى انسداد نظام الصرف الصحي للبلدية وانبعاث روائح كريهة.

كان من المقرر تخطيط وبناء محطة معالجة لمياه الصرف، والتي من شأنها أن تقلل بأمان الحمل العالي للغاية من مياه الصرف العضوية إلى القيم الحدية المطلوبة مع مساحة تركيب محدودة للغاية. تعتبر التقلبات اليومية الشديدة في كميات وأحمال مياه الصرف من سمات الإنتاج. وبالإضافة إلى ذلك، يجب أن يتجنب حل النظام انبعاث الروائح الكريهة ويجب أن تحقق معالجة الحمأة مادة جافة (TS) بنسبة ٣٠٪.

## نهج الحل

قامت شركة EnviroChemie بتخطيط وتركيب وتشغيل حل لنظام متعدد المراحل للمهمة. قبل التخزين المؤقت لكمية يومية من مياه الصرف الناتجة عن الإنتاج في خزان، تتم معالجتها مسبقًا باستخدام مرشح مصفاة شريطي عالي الأداء وفاصل شحوم. ويتم إزالة المواد الصلبة، وخاصةً قشور الأسماك، و٥٠٪ من محتوى الدهون والزيت من مياه الصرف. بعد ذلك، يقوم نظام التعويم بإزالة الضغط من نوع Flomar® بإزالة المكونات العضوية وغير العضوية لمياه الصرف وبالتالي يقلل بشكل فعال واقتصادي من حمل تلوث مياه الصرف. يسبق مرحلة التعويم المستمر، التشغيل المسبق لتكييف كيميائي فيزيائي. ويزيل ذلك ما يصل إلى ٩٨٪ من المواد الصلبة والدهون وما يصل إلى ٦٠٪ من COD. يتم تفريغ الحمأة العائمة من الماء وإيداعها مع الحمأة الزائدة بمحتوى مادة جافة بنسبة ٣٠٪ ويتم تحويل مياه الصرف التي تنشأ من الصرف إلى أحد المصارف.

يتم بعد ذلك إدخال مياه الصرف في مفاعل هوائي من نوع Biomar® OBBR (مفاعل غشائي حيوي ذو طبقة متحركة مؤكسدة)، حيث يتم مواصلة تقليل

شكل ١: مُثبت بشكل موفر للمساحة - نظام تعويم Flomar® للمعالجة المسبقة لمياه الصرف والمكبس اللولبي لنزح مياه الحمأة في مصنع أسماك في المغرب

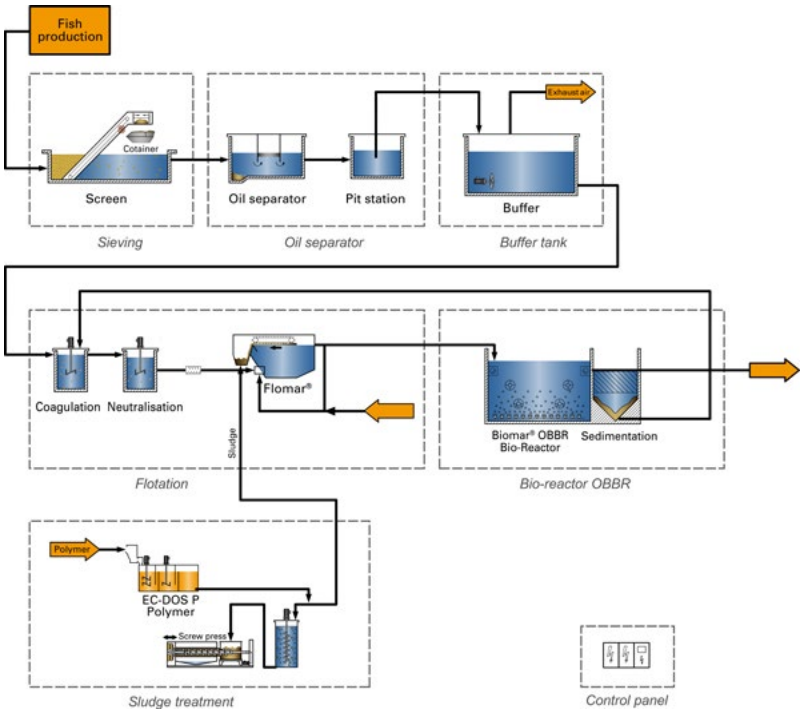
حمل COD وBOD. وتستخدم تقنية Biomar® OBBR أجسام بلاستيكية مطورة خصيصًا توفر سطح نمو مثالي للكائنات الحية الدقيقة في بيئة محمية. وتتحرك هذه الأجسام البلاستيكية بحرية في الماء وتظل تطفو في المفاعل عن طريق التهوية. ويضمن الهيكل الفريد لأجسام النمو السطحي والحركة الحرة في الماء حماية الكتلة الحيوية وتمكين الاتصال الأمثل للغشاء الحيوي مع مكونات مياه الصرف والأكسجين. كما يتم ضمان تهوية البيولوجيا من خلال استخدام الضواغط.

بعد فترة مكوث تبلغ يومًا واحدًا تقريبًا، يتم إدخال مياه الصرف في نظام ترسيب. ويتم إعادة استخدام جزء من الحمأة الحيوية في البيولوجيا، ويتم تخزين الباقي في خزان الحمأة مع الحمأة العائمة. وفي النهاية، يتم تفريغ الحمأة من الماء وإيداعها بمكبس لولبي.

يتم تغطية الخزان العازل وخزان الحمأة والتعويم. ويتم امتصاص الغازات الناتجة وإدخالها إلى البيولوجيا من أجل تكسير جزيئات الرائحة. يعمل النظام بشكل أوتوماتيكي بالكامل وجميع المحركات مزودة بمحولات تردد لتحسين استهلاك الطاقة.

| المعلمة | الوحدة | مدخل النظام | مصرف النظام |
|---|---|---|---|
| كمية مياه الصرف | متر مكعب/ يوم | ٨٠٠ | ٨٠٠ |
| الشحوم والزيوت | مجم/ لتر | ٦,٠٠٠–٣,٠٠٠ | ٥٠ > |
| COD | مجم/ لتر | ٢٥,٠٠٠–١٣,٠٠٠ | ٢,٥٠٠ > |
| BOD | مجم/ لتر | ١٢,٥٠٠–٦,٥٠٠ | ١,٠٠٠ > |

جدول ١: قيم التدفق الداخل والصرف للنظام المنفَّذ




شكل ٢: رسم تخطيطي لمحطة معالجة مياه الصرف في مصنع أسماك في المغرب

## النتائج

حل النظام الموفر للطاقة والذي تم تركيبه حديثًا لمعالجة مياه الصرف يحقق بأمان جميع أهداف التنظيف المطلوبة (انظر الجدول ١). يتم منع الروائح بشكل فعال. تحقق معالجة الحمأة مادة جافة بنسبة تبلغ ٣٠٪. كما تم أتمتة تقنية النظام بالكامل بالإضافة إلى كونه مرئيًا لسهولة تعامل المشغل في الموقع.

هناك فائدة إضافية تنتج عن إزالة حوالي ٩٥٪ من القشور وفضلات الأسماك من مياه الصرف الصحي. حيث تتم معالجتها وتحويلها إلى مسحوق سمك يمكن تسويقه. يتم أيضًا معالجة الدهون والزيوت بعد فصلها وتحويلها إلى مسحوق سمك.

## مساهمة التقنية المقدَّمة

يتضمن النظام المثبت هنا معالجة كاملة مصممة خصيصًا لمياه الصرف بما في ذلك مراحل المعالجة الميكانيكية والبيولوجية. يتقبل النظام المدمج للغاية التقلبات في حجم وحمل مدخل مياه الصرف ويقلل من تكون الروائح. تستخدم الزيوت والدهون والقشور وفضلات الأسماك المفصولة كمسحوق سمك. □

دراسة الحالة: معالجة الحليب في الهند

# معالجة المياه المستخدمة في الأغراض الصناعية الخاصة بمياه الصرف بمصانع الألبان

## الخلفية

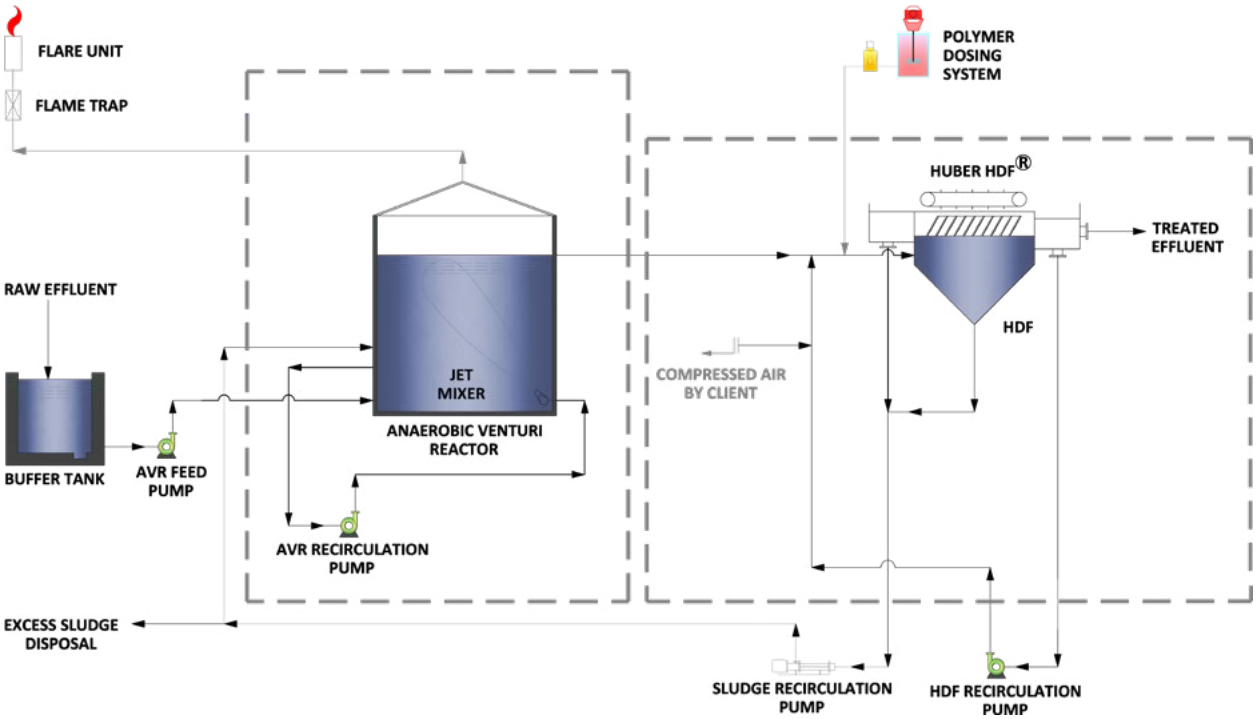
واجهت شركة Chitale Dairy، وهي شركة رائدة في صناعة معالجة الألبان في الهند، مهمة تجهيز موقع الإنتاج الموسع في بيلوادي بولاية ماهاراشترا، بنظام معالجة جديد للمياه المستخدمة في الأغراض الصناعية.

## تحدي خاص/طرح خاص للمشكلة

يكمن التحدي في معالجة مياه الصرف بمصانع الألبان عادةً في محتواها العالي من الدهون، وCOD وBOD، والتي يجب إزالتها. في هذه الحالة، يجب تحديد خطوات العملية المناسبة لمعالجة كميات مياه الصرف شديدة التلوث بتكاليف استثمار وتشغيل معقولة.

## نهج الحل

عند توسيع موقع المصنع، طلبت الشركة إنشاء محطة معالجة للمياه المستخدمة في الأغراض الصناعية بمعدل تدفق يبلغ ١٨٠٠ متر مكعب/يوم. وبناءً على ذلك، قدمت شركة HUBER Envirotech (AHET) A.T.E. نظرة عامة شاملة على التقنيات المتاحة في السوق بالإضافة إلى مزاياها وعيوبها. ومع التشغيل المستقر للمحطة والمراقبة بتقنية القياس المناسبة، يمكن أن تمثل العمليات البيولوجية خيارًا فعالًا لتنظيف مياه الصرف بمصانع الألبان. بعد مناقشة تفصيلية مع المشغلين، تم اتخاذ القرار لصالح تقنية AVR-AF® من شركة AHET، والتي تعد مناسبة للانحلال الفعال للدهون والبروتينات وزيوت الطعام.




شكل ١: مخطط تدفق لهيكل النظام على أساس تقنية AVR-AF ® من شركة HUBER Envirotech A.T.E. في شركة Chitale dairy في بيلوادي بولاية ماهاراشترا في الهند

شكل ٢: النظام لشركة Chitale dairy في بيلوادي بولاية ماهاراشترا في الهند

تقنية AVR-AF® عبارة عن مفاعل فنتوري لاهوائي مزود بنظام تعويم لاحق بإزالة الضغط (HUBER HDF®) ومعالجة لاحقة هوائية (الشكل ١). وهو مفاعل ذو تصميم حلقي لمناطق التدفق. في المفاعل، تُستخدم الخلاطات النفاثة الموفرة للطاقة بدلًا من الخلاطات الميكانيكية، التي لا تحتوي على أجزاء متحركة وتضمن الخلط المتساوي. هذه الطريقة مناسبة للتركيزات العالية من المواد العالقة التي تصل إلى ١٥,٠٠٠ مجم/لتر.

بالمقارنة مع التقنيات الأخرى، تتميز تقنية AVR-AF® بانخفاض إنتاج الحمأة وانخفاض متطلبات الصيانة. ويمكن تطوير المفاعلات بشكلٍ مستمر لتصبح خزان مقلب لاهوائي يعمل بتقنية AVR-AF®. ويساعد التعويم بإزالة الضغط في الحفاظ على تركيز عالٍ من المواد الصلبة العالقة. وهذا بدوره يساهم في زيادة كفاءة العملية وتقليل حجم الخزان اللاهوائي. وتتم معالجة الغاز الحيوي المتولد في المرحلة اللاهوائية (إزالة $H_2S$) وتحويله إلى طاقة كهربائية في محطة مؤتلفة للقدرة والحرارة. في ضوء كفاءة تكلفة التشغيل، كان توليد الطاقة معيارًا حاسمًا آخر للمشغل.

## النتائج

تم تصميم وتركيب وتشغيل محطة لمعالجة ١٨٠٠ متر مكعب/يوم من مياه الصرف بمصانع الألبان بواسطة شركة AHET. كان متوسط محتوى COD في المدخل ٢١٠٠ مجم/لتر وفي المصرف أقل من ٥٠ مجم/لتر، وهو ما يتوافق مع إزالة COD بنسبة ٩٦٪ تقريبًا. ومن ثم، تتوافق جودة العملية مع جميع معايير حماية البيئة الهندية، ويتم إنتاج ما يقرب من ٧٥٠ متر مكعب من الغاز الحيوي يوميًا، مما يغطي ٥٠٪ من متطلبات الطاقة بالمحطة.

## مساهمة التقنية المقدَّمة

تتيح تقنية AVR-AF® المستخدمة هنا المعالجة الموفرة للطاقة لمياه الصرف بسبب تقنية الخلط بالفوهة الخاصة، بالإضافة إلى تركيزات المواد الصلبة العالية للغاية جنبًا إلى جنب مع نظام التعويم بإزالة الضغط (HUBER HDF®). هذا يعني أن النظام مدمج وبالمقارنة مع العمليات الأخرى، فإن تكاليف الصيانة وإنتاج الحمأة منخفضة. وبالإضافة إلى ذلك، سيتم إنتاج الغاز الحيوي كمصدر للطاقة. تعمل المعالجة الهوائية اللاحقة على التخفيض الشديد لتركيزات المصرف. □

دراسة الحالة: معالجة الأغذية، الصويا

# إعادة استخدام مياه الصرف المُعالجة لأنظمة التبريد ذات التناضح العكسي

## الخلفية

يُعَدّ إنتاج ومعالجة فول الصويا من فروع الصناعة الهامة، سواء في الهند أو في غيرها من العديد من المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية. والشركة، التي يقع مقرها في تايلاند، والتي تقوم بمعالجة فول الصويا للاستخدامات الغذائية، كانت تستخدم في السابق مياه الصنبور لوحدات التبريد الخاصة بها. وبالطبع، ارتفعت تكلفة مياه الصنبور في المنطقة بشكل كبير في السنوات الأخيرة. ومن ثمّ، كان العميل يبحث عن حل يتيح له إعادة استخدام مياه الصرف المعالَجة من محطة معالجة مياه الصرف الحالية، حيث تتم تغذية التيار الجزئي لمياه الصرف المعالَجة من أجل التناضح العكسي، والذي يقوم أيضًا بإمداد المياه المعالَجة إلى نظام التبريد.

## التحديات

جودة مياه الصرف المعالَجة سيئة للغاية. تشكل الكميات الكبيرة من البروتينات والزيوت غير المتحللة تحديات يومية يمكن أن تؤدي إلى تلوث الأغشية بشكلٍ كبير. وبالإضافة إلى ذلك، فإن تخزين مياه الصرف في أحواض الصرف يؤدي إلى تكاثر الطحالب. ومن ثم، فإن استخدام تقنية الأغشية لمعالجة مياه الصرف يُعد خيارًا مناسبًا في ظل هذه الظروف - كما هو وارد في هذا المثال بسبب المعايير الاقتصادية - حيث ينبغي إعادة استخدام المياه المعالجة أو مواصلة استخدامها.

| المعلمات | الوحدة | المدخل | المصرف |
|---|---|---|---|
| اللون | رقم لون البلاتين الكوبالت | ١١٧ | ٣٩ |
| COD | مجم/لتر | ٦٨ | ٣٠ |
| $BOD_5$ | مجم/لتر | ٩ | ٤ |
| TSS | مجم/لتر | ١٨ | <١ |
| TDS | مجم/لتر | ٩٤٦ | ٩٦٧ |
| العكارة | مجم/لتر | ١١,٢ | ٠,١٨ |
| تركيز الزيت | مجم/لتر | ٧,٢ | ٠,٢ |

جدول ١: التركيزات ذات الصلة لمدخل ومخرج محطة Cerafiltec

## نهج الحل

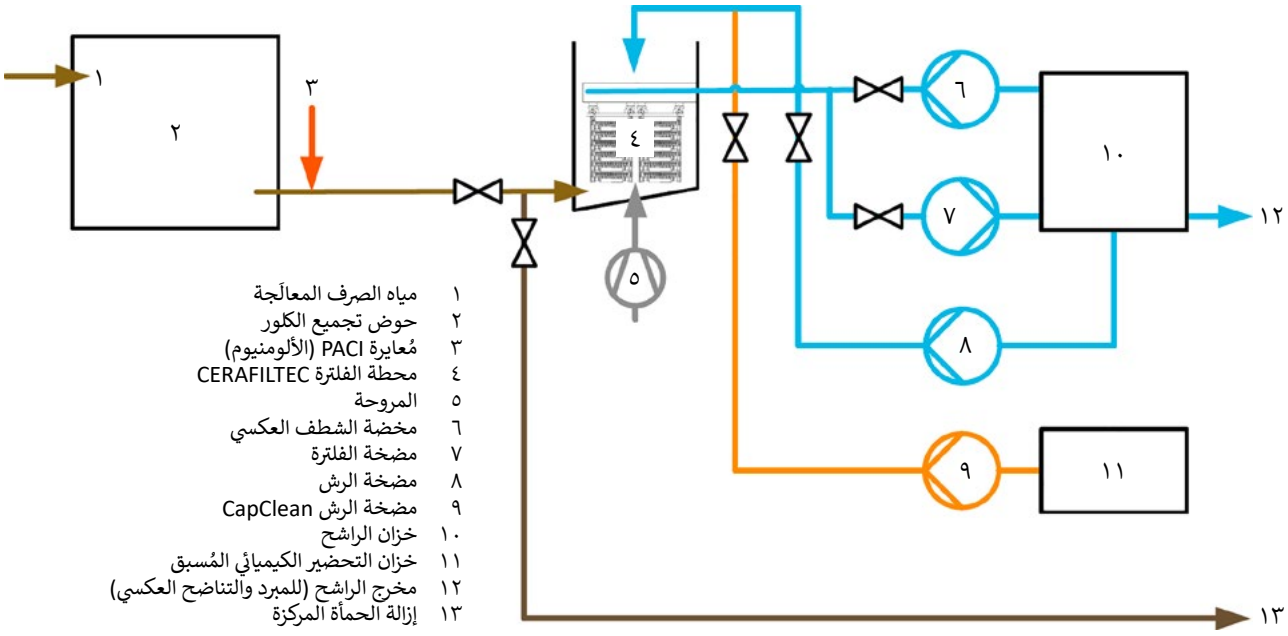
يتم التغلب على تحديات جودة المياه من خلال أغشية السيراميك المسطحة من CERAFILTEC مع وظيفة التنظيف بالأغشية المدمجة (CapClean). ويتم تجديد أغشية الفلترة الفائقة المغمورة بالكامل مع كل دورة تنظيف تلقائية باستخدام الكلور مع وقت نقع يبلغ ٣ دقائق. هذا النوع الجديد من إجراءات التنظيف متاح حصريًا مع أغشية السيراميك المسطحة الخارجية ومع تصميم الوحدة المزود بنظام الرش الكيميائي. ويتم إرجاع الناتج المستبعد (٨٪) إلى محطة معالجة مياه الصرف. ويراقب المشغل في الموقع بشكل روتيني قِيَم التدفق والضغط والعكارة، وقيمة الأس الهيدروجيني داخل النظام.

## النتيجة

تم تشغيل المرحلة الأولى في المحطة بطاقة ٣٠٠ م³/ يوم في ديسمبر ٢٠١٩. وبعد تقييم الأداء لمدة ٦ أشهر، بدأ العميل في تخصيص سعة إضافية في المصنع بمقدار ٢١٠٠ م³/ يوم. ونظرًا لأن النظام يستهلك قدرًا شديد الانخفاض من الطاقة ويوفر استهلاك مياه الصنبور، تم تحديد نقطة التعادل لفترة أقل من ٣ سنوات.

## مساهمة التقنية المقدَّمة

يحتوي نظام الغشاء المركب على خاصية تنظيف متكاملة، وبفضل تصميم الوحدة المدمج به، فإنه يتيح التنظيف الغشائي بكفاءة عالية. ونتيجة لذلك، يمكن تشغيله بثبات وباستهلاك منخفض للطاقة حتى في ظل الظروف الصعبة، مثل حالات التلوث الشديدة لمياه الصرف. □




١ مياه الصرف المعالَجة
٢ حوض تجميع الكلور
٣ مُعايرة PACI (الألومنيوم)
٤ محطة الفلترة CERAFILTEC
٥ المروحة
٦ مخضة الشطف العكسي
٧ مضخة الفلترة
٨ مضخة الرش
٩ مضخة الرش CapClean
١٠ خزان الراشح
١١ خزان التحضير الكيميائي المُسبق
١٢ مخرج الراشح (للمبرد والتناضح العكسي)
١٣ إزالة الحمأة المركزة

شكل ١: مخطط تدفق العملية لمحطة الفلترة Cerafiltec لإعادة استخدام المياه

شكل ٢: صورة فوتوغرافية لمحطة Cerafiltec المدمجة

# ٦ إنتاج المعادن ومعالجتها

## المعلومات الخاصة بالبلد

### الهند

لطالما كانت صناعة المعادن محركًا مهمًّا للاقتصاد الهندي بسبب الموارد الخام الموجودة به. ومن ثم، تطورت صناعة الصلب لتصبح ثاني أكبر منتج على مستوى العالم في العقد الماضي، وبإنتاج سنوي يقارب ١١٠ مليون طن، تسهم مساهمة كبيرة في الناتج المحلي الإجمالي القومي (جدول ١٣). يتم أيضًا استخراج معادن أخرى مثل النحاس أو الألومنيوم بكمياتٍ كبيرة. وبالإضافة إلى القيمة المضافة في إنتاج المعادن، يشكل الفولاذ أساسًا مهمًّا لعدد كبير من الصناعات التحويلية. يتم استخدام الحصة الأكبر بفارق كبير (أكثر من ٦٠٪) من الصلب المنتج في صناعة البناء، على سبيل المثال في البنية التحتية وتشييد المباني. ومن القطاعات الأخرى المستهلكة للصلب هي السلع الاستهلاكية وصناعات السيارات [٩].

ونظرًا لقربها الجغرافي من موارد خام الحديد والفحم الطبيعية في الهند، فإن مراكز إنتاج الصلب هي ولايات أوديشا وجهارخاند وتشهاتيسجاره وكارناتاكا. حيث يتم

فيها إنتاج أنواع مختلفة الجودة من الفولاذ في مصانع الصلب الحديثة. يتم إنتاج ٤٥٪ من الصلب مباشرةً في أفران الصهر العالية ذات التهوية. ويعد الحديد الإسفنجي أيضًا منتجًا وسيطًا مهمًا لصناعة الصلب الهندية، والذي يتم الحصول عليه عادةً عن طريق الاختزال المباشر باستخدام الفحم ثم صهره في الغالب في أفران القوس الكهربائي.

الجزء الأكبر من صناعة المعادن الهندية (حوالي ٨٠٪) مملوكة للقطاع الخاص، والشركة الأكثر هيمنة هي شركة Tata Steel الدولية. يتم إنتاج حوالي ٥٠٪ من الفولاذ بواسطة شركات الإنتاج المتكاملة التي تغطي سلسلة الإنتاج بأكملها بدايةً من صهر الفولاذ حتى عمليات المعالجة اللاحقة [٩، ١١٦]. وبالإضافة إلى الاستهلاك العالي للطاقة بشكل غير طبيعي في هذه الصناعة، تقفز جوانب حماية البيئة الأخرى بشكل متزايد إلى المقدمة. وتقوم الحكومة حاليًا بإعداد متطلبات أكثر صرامة لحماية البيئة. ويعتبر الالتزام بخطط إدارة الطاقة والمياه للشركات هو المعيار بالفعل - وأهم إجراء ملموس هنا غالبًا ما يكون إعادة استخدام تدفقات المياه المرتبطة بالإنتاج وتدوير مياه التبريد [١١٧].

### منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

أيضًا في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، يرتبط الطلب على المعادن والمكونات المعدنية ارتباطًا وثيقًا بالنمو الاقتصادي العام. ومع ذلك، فإن معظم البلدان تعتبر مستورد صريح وتنتج الصلب بكميات محدودة محليًا فقط (جدول ١٣). في بعض البلدان، مثل مصر أو الأردن، لم يتم استخدام السعات الإنتاجية الحالية بشكل كافٍ لسنواتٍ بسبب محدودية المواد الخام والغاز الطبيعي. يلعب إنتاج المعادن غير الحديدية دورًا ثانويًّا ويقتصر أساسًا على الألومنيوم وكميات صغيرة من النحاس والبرونز والرصاص والقصدير [١١٨].

يتم إنتاج الصلب عادةً في أفران القوس الكهربائي، ولكن يزيد عليها أفران الصهر العالية التي تعمل في مصر فقط [١١٩]. تتكون منتجات الصلب بشكل أساسي من الفولاذ الكربوني والفولاذ المقاوم للصدأ جزئيًا، بينما يلعب الفولاذ الخاص والفولاذ السبيكي دورًا أقل بكثير. عادةً ما يتم صقل السطح - إن وجد - في شكل جلفنة بالغمس الساخن. أهم عميل للصلب في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا هو قطاع البناء، على سبيل المثال، في تشييد المباني والبنية التحتية. أما على المدى المتوسط، فمن المتوقع أيضًا زيادة الطلب على الصلب في قطاعي السيارات والطاقة المحليين. تماشيًا مع الطلب، تنتج صناعة الصلب منتجات طويلة (حوالي ٧٠-٨٠٪) أكثر بكثير من المنتجات المسطحة (حوالي ٢٠-٣٠٪). في المغرب ومصر والأردن، يهيمن حديد التسليح إلى حدٍ بعيد على الحصة الأكبر من المبيعات في سوق الصلب [١٢٠].

# قطاع الصناعة وإنتاج مياه الصرف

يعد إنتاج المعادن ومعالجتها فرعًا مهمًّا من فروع الصناعة لتصنيع مختلف السلع الاستهلاكية والاستثمارية. ويشمل ذلك إنتاج الحديد وsوالصلب والمعادن الأخرى ومعالجتها باستخدام العمليات الأولية وعمليات التشكيل وصقل الأسطح وكذلك تصنيع المنتجات المعدنية.

## إنتاج المعادن

عادةً ما يتم إنتاج المعادن الحديدية وغير الحديدية عن طريق صهر الخامات المناسبة. يتم استخراج الحديد الزهر تقليديًّا في أفران الصهر العالية عند درجات حرارة تصل إلى ٢٠٠٠ درجة مئوية ثم يتأكسد إلى الفولاذ، حيث

## كميات الإنتاج السنوية

| البلد | صلب | ألومنيوم | نحاس | زنك |
|---|---|---|---|---|
| الهند | ١٠٩,٢٧٢ | ٢,٧٥٠ | ٤٥٠ | ٦٨٨ |
| مصر | ٧,٨٠٧ | ٣١٧ | ٤ | غير متوفر |
| المغرب | ٦٠٠ | غير متوفر | غير متوفر | غير متوفر |
| الأردن | ١٥٠ | غير متوفر | غير متوفر | غير متوفر |
| تونس | ٥٠ | غير متوفر | غير متوفر | غير متوفر |

جدول١: كميات الإنتاج السنوية من مواد مختارة في عام ٢٠١٨ [١٠٠٠ طن سنويًّا] [١١٨، ١١٩].

يتكون غاز المحوِّل الملوث بشدة بالغبار وخبث أعمال الصلب كتيارات نفايات. بدلاً من ذلك، أصبح الفولاذ المصهور من الحديد الإسفنجي أو الحديد الخام في فرن القوس الكهربائي هو السائد على المستوى الإقليمي. في المعالجة المعدنية اللاحقة، يتم إزالة الأكسجين أو الكربون أو النيتروجين أو الهيدروجين وتفريغه مع غاز العادم لضبط سبائك الصلب ونقاوتها [١٢١، ١٢٢].

يتم استخلاص المعادن غير الحديدية من الخامات باستخدام المعالجة بالمحاليل المائية أو المعالجة بالمعادن الحرارية ويتم تركيزها بشكل أكبر باستخدام عمليات التحليل الكهربائي. ويعتبر النحاس من المعادن الصناعية غير الحديدية المهمة اليوم بفضل القدرة الحرارية والكهربائية الممتازة على التوصيل. وبالإضافة إلى ذلك، تتزايد أهمية الألومنيوم بسبب انخفاض وزنه. وعادةً ما يتم الحصول على الألومنيوم من البوكسيت في عملية باير، عن طريق إذابة المعدن في الصودا الكاوية عند درجات حرارة مرتفعة ثم ترسيبه على شكل هيدروكسيد الألومنيوم [١٢٣]. نظرًا للكميات الكبيرة من تدفقات الغازات العادمة شديدة التلوث، فإن أهم تدفقات مياه الصرف في إنتاج المعادن تنشأ من مياه الغسيل المستخدمة في تنظيف غاز العادم.

### العمليات الأولية والتحويلية

عادةً ما يتم اليوم صب الفولاذ والمعادن الأخرى بشكل مستمر باستخدام عملية الصب المستمر ثم معالجتها وتحويلها إلى منتجات طويلة أو مسطحة في مطحنة الدرفلة الساخنة. عند الصب في أفران العمود، يمكن أن ينشأ غاز الفرن العالي، وهو مشابه لغاز المحوّل ويجب تنظيفه تنظيفًا جافًا أو رطبًا وفقًا لذلك. في عملية الدرفلة الساخنة، لا يتم استخدام الماء للتبريد غير المباشر فقط، ولكن أيضًا لإزالة الترسبات بالضغط العالي والتبريد المباشر كما أنه له اتصال مباشر بالمنتج المعدني حينها. بعد المعالجة الميكانيكية أو الكيميائية للأسطح، على سبيل المثال لإزالة الترسبات، يتم تحسين خصائص المنتج المعدني بشكلٍ أكبر عن طريق الدرفلة على البارد. تشكل المعالجة الإضافية عن طريق عمليات القطع أو التشكيل أو التوصيل حلقة وسيطة للانتقال إلى تصنيع المنتجات المعدنية وعادةً لا تستهلك كمية كبيرة من الماء [١٢٤، ١٢٥].

### صقل السطح

في كثيرٍ من الحالات، تخضع المكونات المعدنية لصقل السطح من أجل تحسين خصائصها الوظيفية أو الزخرفية، على سبيل المثال، للحماية من التآكل. في البداية تكون المعالجة المسبقة للأسطح من خلال التنظيف الكيميائي وأحيانًا بمساعدة ميكانيكية أو إزالة الشحوم أو التخليل ضرورية. جوهر صقل السطح عبارة عن طلاء معدني، والذي يمكن تنفيذه عادةً عن طريق الترسيب الإلكتروليتي، وأيضًا عن طريق عمليات الاختزال أو الغمر. وتشمل عمليات الطلاء الأكثر انتشارًا الطلاء الكهربائي (مثل الطلاء بالكروم) والغمس الساخن (مثل الجلفنة بالغمس الساخن). وأخيرًا، يمكن تعديل سطح المعدن عن طريق الأكسدة (مثل الصقل). عادةً ما يتم صقل السطح الكيميائي والإلكتروليتي في حمامات الغمر أو الرش، والتي يتم تجديدها باستمرار (تقريبًا)، كما يتم تشغيلها بدون مياه صرف، باستثناء حالاتٍ قليلة. تتولد مياه الصرف بشكل أساسي في عمليات الشطف التي تتبع كل خطوة معالجة فردية [١٢٦، ١٢٧].

## مجاري مياه الصرف وخصائصها

### تنقية الغاز

تنشأ غازات العادم شديدة التلوث، على سبيل المثال، أثناء إنتاج فحم الكوك، في أفران الصهر العالية وعمليات المعالجة الأخرى بالمعادن الحرارية. وبالإضافة إلى التنقية الجافة لغاز العادم، يظل الغسل الرطب للغاز من أحدث التقنيات في العديد من الحالات اليوم، عندما يتعين إزالة الشوائب الغازية والجسيمات. وتُستخدم عمليات إزالة الغبار الجافة بشكل أساسي مع أفران القوس الكهربائي، بحيث لا يكاد يوجد أي ماء لتنقية الغاز مقارنةً بمسار فرن الصهر العالي. وعادةً ما يتم تشغيل مياه الغسيل الناتجة في دورة شبه مغلقة. ومن أكثر الشوائب شيوعًا في مياه تنقية الغاز هي (جدول ٢) [١٢٢، ١٢٨، ١٢٩]:

- جزيئات الغبار العالقة

  تحتوي مياه الصرف الناتجة عن تنقية الغاز في أفران الصهر العالية على ما يقرب من ١-١٠ كجم من المواد الصلبة لكل طن من المعدن المنتج. وهي تتكون أساسًا من أكاسيد الحديد والمنجنيز، بالإضافة إلى مركبات الفوسفور والنيتروجين.

- غازات قابلة للذوبان في الماء
بدايةً، يمكن أن تحمل الغازات المحولة والغازات المماثلة الناتجة عن الإنتاج غير المعدني كميات كبيرة من أكاسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت إلى مياه الصرف. كما أن هناك ملوث شائع آخر وهو السيانوجين المذاب.

- مركبات النيتروجين المذابة
غالبًا ما تحتوي مياه تنقية الغاز الناتجة عن فحم الكوك على مركبات نيتروجين عضوية ونيتروجين غير عضوي (خاصةً الأمونيوم، وأيضًا الثيوسيانيد).

- أملاح ذائبة
تحتوي غازات العادم عادةً على شوائب غير عضوية مذابة أخرى، مثل مركبات الكبريت والفلوريدات والكلوريدات، وذلك عندما تتلامس مع المادة الخام الثانوية. يمكن أن تلعب المعادن الثقيلة (مثل الزرنيخ) أيضًا دورًا مهمًا، خاصةً في مياه تنقية غاز المحول

- مواد مذابة عضويًا
تتلوث العديد من أنواع مياه تنقية الغاز بالشوائب العضوية، على سبيل المثال، بالفينول أو النفثالين أو الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات. ويمكن أيضًا أن تحمل غازات الأفران العالية الناتجة من أفران المسابك مواد مساعدة من قوالب الصب إلى مياه الصرف (مثل مواد الفصل والمواد الرابطة كالأمينات)

- السيانيد
لوحظت تركيزات متزايدة من السيانيد في معظم مياه تنقية الغاز. يرتبط حمل السيانيد ارتباطًا وثيقًا بعمليات الإعتاق وبدء التشغيل والإغلاق، وذلك في غاز المحول.

### الاتصال المباشر بالمنتج

في بعض خطوات العملية في هذه الصناعة، تتلامس المياه المستخدمة في الأغراض الصناعية بشكل مباشر مع المعدن أو المنتجات الثانوية. وينطبق ذلك، على سبيل المثال، على تحبيب المياه لمعالجة خبث الأفران العالية، والذي يتفاعل قلويًا ويحتوي على كبريتيدات. ومع ذلك، فإن أكبر تدفق لمياه الصرف الملوثة بسبب التلامس المباشر مع المنتج ينشأ من مياه تبريد المنتج المستخدمة في الصب المستمر والدرفلة الساخنة. وتكون ملوثة بشكل أساسي بالمواد الصلبة – حيث يدخل حوالي ١٥-٤٠ كجم من قشور الحديد لكل طن من الفولاذ المدلفن في المياه المستخدمة في الأغراض الصناعية. وبالإضافة إلى ذلك، غالبًا ما توجد تركيزات عالية من الزيوت والمستحلبات التي تنشأ من تزييت المنتج والنظام أو التسريبات الهيدروليكية (جدول ٢) [٢٢، ١٣٠].

### صقل السطح

عادةً ما يتم تجديد حمامات المعالجة الحمضية أو القلوية وأحواض الإلكتروليت لصقل السطح باستمرار (تقريبًا)، وبعد فترة طويلة من عمر الخدمة، يتم التخلص منها، إذا لزم الأمر، كنفايات خطرة، بعد الوصول للتركيز المناسب.

| الخطوة الإجرائية | شوائب نموذجية | |
|---|---|---|
| تنقية الغاز (فرن فحم الكوك) | ١-٤ جم/لتر | الفينول |
| | ٢-٦ جم/لتر | $NH_4^+$ |
| تنقية الغاز (الغاز المحول) | ٠,٢-١٠ جم/لتر | مجموع المواد الصلبة العالقة |
| | ٠,١-٥٠ مجم/لتر | الفينول |
| | ٢-٢٠٠ مجم/لتر | $NH_4^+$ |
| | ٠,١-٥٠٠ مجم/لتر | السيانيد |
| التبريد المباشر (الدرفلة الساخنة) | ٠,١-٢٠ جم/لتر | مجموع المواد الصلبة العالقة |
| | ١٠-٢٠٠ مجم/لتر | الزيت |
| إزالة الشحوم | ٠,٥-١٠ جم/لتر | مجموع المواد الصلبة العالقة |
| | ٠,١-٠,٢ جم/لتر | الزيت |
| | ٠,٣-٠,٥ جم/لتر | COD |
| مجموع المواد الصلبة العالقة | ٥-١٠٠ مجم/لتر | مجموع المواد الصلبة العالقة |
| | ٠,١-١٠ جم/لتر | COD |
| | ٠,١-١٠٠ مجم/لتر | فوسفات-P |
| | ٠,١-٠,٥ مجم/لتر | VOX (الهالوجينات العضوية المتطايرة) |

جدول ٢: نطاقات تركيز أهم الشوائب في مياه الصرف للخطوات الإجرائية المختلفة في إنتاج المعادن ومعالجتها [١٣٠، ١٣١، ١٣٣].

يتم تدوير المياه المستخدمة في الأغراض الصناعية الناتجة أثناء عمليات شطف المنتج البينية وفقًا لأحدث المستويات التقنية في دائرة شبه مغلقة، حيث يتعين معالجة التدفق الجزئي المنصرف على أنه مياه صرف.

مياه الشطف الناتجة عن المعالجة المسبقة هي في الغالب محاليل حمضية (خاصةً حمض الهيدروكلوريك أو الكبريتيك أو حمض النيتريك) (جدول ٢). حتى إذا لم يعد هذا من أحدث التقنيات، فيمكن أن تحتوي أيضًا على مذيبات عضوية وهيدروكربونات مكلورة. وبالإضافة إلى المعادن المذابة، فإن الملوثات النموذجية في مياه الشطف هذه هي السيانيدات والكلوريدات والكبريتات والفوسفات. وبالإضافة إلى أيونات المعادن المناسبة، فغالبًا ما تحتوي مياه الصرف الناتجة عن عمليات التحليل الكهربائي على مجموعة من المواد المساعدة مثل عوامل الترطيب، ومواد التبييض، والمواد الخافضة للتوتر السطحي، وعوامل مركبة، ومصدات الأس الهيدروجيني. وفي عملية الجلفنة بالغمس الساخن وعمليات الغمر الأخرى، يتم استخدام الماء بشكل أساسي للتبريد غير المباشر لأفران الصهر وبالتالي يمكن أ يتلوث بأملاح التصلب والمبيدات الحيوية ومضادات التكلس (مثبطات التكلس) [١٣١، ١٣٢].

### مياه التبريد

تُستخدم مياه التبريد في جميع العمليات الصناعية تقريبًا وتُستخدم لتبديد الطاقة الزائدة وإعادة مياه المنتج أو المياه المستخدمة في الأغراض الصناعية إلى درجة الحرارة المحيطة بعد المعالجة. في أعمال المعادن في درجات حرارة عالية على وجه الخصوص، يتم استخدام كميات كبيرة من مياه التبريد – فكلما زاد استخدام الطاقة في العملية، يجب تبديد المزيد من الطاقة. الاستخدامات المحتملة لمياه التبريد (وفقًا لـ [٢٢]) المدرجة أدناه كأمثلة، تنطبق أيضًا جزئيًا على القطاعات الصناعية الأخرى.

عند التبريد المستمر، يتم استخدام الماء مرة واحدة للتبريد، على سبيل المثال يتم سحبه من بئر أو مياه سطحية، ثم يترك المصنع بعد الاستخدام. ينتج عن هذا استهلاك مرتفع للغاية للمياه، ومع ذلك، فبالاعتماد على ظروف التصريف، لا تكون هناك حاجة لمعالجة المياه إطلاقًا أو يتم ذلك بشكلٍ محدود فقط.

في دائرة التبريد المفتوحة، يتم تبخير الماء عبر برج تبريد رطب تقليدي ويتم تدويره جزئيًا. وينتج عن ذلك استهلاك أقل للمياه مقارنةً بالتبريد المستمر، لكن التبخر الجزئي يؤدي أيضًا إلى زيادة تركيز المكونات الكيميائية. ومن الممكن أن يؤدي ذلك إلى ترسبات وتآكل وبالتالي يجب إزالته من مياه التبريد. وعلاوةً على ذلك، فإن البيئة الدافئة والرطبة لدائرة التبريد هي بيئة مثالية لنمو البكتيريا – والخطر من الفيلقية مهم بشكلٍ خاص هنا.

في دائرة التبريد المغلقة، يتم التبريد عن طريق مبادل حراري بحيث لا يتلامس ماء التبريد مع الغلاف الجوي المحيط – ينتج فقدان الماء الوحيد هنا عن التسريبات أو الفقدان في مواضع أخرى في النظام. وبالتالي، فإن زيادة تركيز المكونات لا تلعب أي دور تقريبًا في هذا النظام، على الرغم من إمكانية تراكم نواتج التآكل. والعيب الرئيسي في هذه العملية هو ارتفاع مستوى الاحتياج للطاقة نسبيًا.

## طريقة المعالجة

### اختيار الطريقة ومراحلها

يمكن أن تختلف مياه الصرف الناتجة عن إنتاج المعادن ومعالجتها اختلافًا كبيرًا من حيث تدفقاتها الحجمية وتكوينها، مما يعني أن اختيار طرق التنظيف المناسبة يعتمد بشكل كبير على الموقع والمصنع. وتنتشر المعالجة الشائعة لجميع مياه الصرف المجمعة في محطة معالجة مياه الصرف الصناعي المركزية باستخدام العمليات الكيميائية الفيزيائية (مثل الترسيب، والتثفل، والترشيح) و/أو التنظيف البيولوجي. يكون الهدف عادةً هو الآتي [٢٢]:

- فصل المواد الصلبة
- فصل الزيوت والدهون، إذا لزم الأمر
- إزالة الملوثات العضوية والمعدنية وغير العضوية المذابة
- التحييد، إذا لزم الأمر

في كثيرٍ من الحالات، يمكن للمعالجة اللامركزية المسبقة لمجاري مياه الصرف الفردية أن تحسن بشكل كبير الكفاءة الكلية لمعالجة مياه الصرف. يمكن تعديل مخطط المعالجة بشكل محدد ليتناسب مع الملوثات ذات الصلة وأهداف التنظيف.

يعد التنظيف اللامركزي لمياه الصرف الصناعي شرطًا أساسيًا لإعادة الاستخدام (الجزئي) للمياه. ويمكن عادةً تنفيذ دوائر المياه المغلقة تمامًا في أنظمة التبريد المغلقة، على سبيل المثال، لتبريد قوالب الصب عبر المبادلات الحرارية. في كثيرٍ من الحالات، يمكن إعادة استخدام مياه الصرف المعالَجة التي لا تتمتع بالنقاء المطلوب في تطبيقات أخرى ذات متطلبات جودة أقل [٢٢، ١٣٠، ١٣٤].

## تنقية الغاز

في معظم الحالات، يتم تحييد ماء تنقية الغاز الناتج أولاً قبل إزالة المواد الصلبة العالقة الموجودة فيه. يتم فصل المواد الصلبة عن طريق الترسيب في مصافي دائرية، عادةً مع إضافة مواد التنديف، من أجل تحسين خصائص الترسيب للجسيمات العالقة الدقيقة. في حالاتٍ فردية، قد يكون من الضروري الجمع بين العملية مع الفرازات الدوامية المائية أو المرشحات الرملية من أجل الوصول إلى الخلو التام تقريبًا من المواد الصلبة في الصرف.

قد تكون عملية التنقية الإضافية، على سبيل المثال، عن طريق التبادل الأيوني أو الامتزاز، مجدية إذا تحتم تحرير مياه الصرف من المواد الخطرة بيئيًا (مثل الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات) أو إذا كانت تحتوي على مركبات معدنية قيّمة تستحق العناء اقتصاديًا لاستعادتها. يمكن معالجة مياه الصرف المحتوية على السيانيد عن طريق النزع أو الأكسدة أو التحلل البيولوجي أو التعقيد. غالبًا ما يستخدم التفاعل مع الجليكونيتريل مع إضافة الفورمالديهايد، مع أكسدة الجليكونيتريل اللاحقة (على سبيل المثال، مع بيروكسيد الهيدروجين) [١٢٨، ١٢٩، ١٣٤].

## الاتصال المباشر بالمنتج

غالبًا ما تحتوي مياه الصرف الناتجة عن التلامس المباشر مع المنتج على تركيزات عالية من المواد الصلبة، مما قد يؤدي إلى ترسبات وتلف النظام (على سبيل المثال بالمضخات). لهذا السبب، عادةً ما يتم تثبيت مصيدة رمل واحدة على الأقل في أقرب مكان ممكن من نقطة الصرف من أجل إزالة جزء كبير من المواد الصلبة. تركز معالجة مياه الصرف عادةً على فصل الزيوت وتنضيب المزيد من المواد الصلبة. في الخطوة الأولى، تتم إزالة معظم الزيوت والدهون العائمة عن طريق الفصل بالجاذبية من أجل الحيلولة دون انسداد الأنظمة اللاحقة. عادةً ما تتم إزالة المواد الصلبة في عملية من مرحلتين، تتكون من الترسيب والترشيح الرملي. غالبًا ما يتم أيضًا احتجاز مخلفات الزيوت والدهون في عملية الترشيح الرملي. وأحيانًا يتم استخدام طرق بديلة للفصل المتزامن للزيت والجسيمات، مثل الترشيح الفراغي أو التعويم. إذا كانت مياه الصرف تحتوي على تركيزات كبيرة من مستحلبات زيوت التبريد، فقد يكون من الضروري أيضًا فصل المستحلب الحراري أو الكيميائي، ربما بالاقتران مع المعالجة اللاحقة البيولوجية أو المؤكسدة. إذا تمت معالجة مياه الصرف وفقًا لأحدث ما توصلت إليه التقنيات الحديثة ، فيمكن إعادة الاستخدام بنسبة تصل إلى ٩٥٪ (على سبيل المثال لتبريد المنتج في مصانع الدرفلة الساخنة) [٢٢، ١٣٠، ١٣٥].

## صقل السطح

الخطوة الأولى في معالجة مياه الصرف الناتجة عن المعالجة المسبقة للأسطح وصقلها هي في الغالب التحييد، على سبيل المثال، باستخدام هيدروكسيد الكالسيوم أو الصودا الكاوية، وذلك بسبب قيم الأس الهيدروجيني المنخفضة غالبًا. في كثيرٍ من الحالات، تحدث تفاعلات الترسيب بالفعل، أي تترسب أيونات المعادن المذابة على شكل هيدروكسيدات ويمكن فصلها كمواد صلبة في الخطوة التالية. عادةً ما يتم فصل المواد الصلبة عن طريق الترسيب (مع إضافة مواد التنديف إذا لزم الأمر)، وأحيانًا أيضًا بالاقتران مع عملية الترشيح.

من الضروري إجراء المزيد من المعالجة إذا كانت مياه الصرف تحتوي على مواد مذابة خطرة على البيئة. حيث يتأكسد السيانيد عادةً عن طريق الأشعة فوق البنفسجية أو بيروكسيد الهيدروجين، حيث إن استخدام الهيبوكلوريت يمكن أن يؤدي إلى تكوين هالوجينات مرتبطة عضويًا قابلة للامتزاز. إذا تم استخدام الكروم

عالي السمية (VI) في المعالجة السطحية، فيجب تقليل المخلفات المقابلة في مياه الصرف إلى الكروم (III) الأقل إشكالية باستخدام ثنائي كبريتيت الصوديوم أو كبريتات الحديد (III). في بعض الحالات، يمكن إعادة استخدام المياه المعالجة بشكل مناسب لشطف المنتج - غير أن إعادة استخدامها في عمليات التخميل والكرومات على وجه الخصوص غير وارد نظرًا لمتطلبات نقاء المياه العالية فيها [٢٢، ١٣١، ١٣٦].

## مياه التبريد

كما ذكرنا أعلاه، تعد معالجة مياه التبريد في دوائر التبريد المفتوحة واسعة الانتشار عملية مهمة [٢٢]. من ناحية، غالبًا ما تتسبب التركيزات العالية للكلوريد في نظام التبريد – خاصةً عند قيم الأس الهيدروجيني المنخفضة – في تآكل المعدن، مما قد يؤدي إلى حدوث تسريبات في النظام. وتعد الترسبات على المبادلات الحرارية وعناصر التبريد الأخرى، على سبيل المثال، بسبب كربونات الكالسيوم ، ظاهرة شائعة أخرى. ويؤدي الترسب إلى فقدان القدرة على نقل الحرارة ويعزز أيضًا نمو الأغشية الحيوية. كما أن النمو البكتيري - خاصةً الأغشية الحيوية التي يمكن أن تحتوي على الفيلقية المُمرضة – يعد أحد المشاكل الرئيسية في أنظمة التبريد ويمكن أن يؤدي سريعًا إلى إغلاق المصانع بسبب المخاطر الصحية العالية. عادةً ما يتم معالجة هذه المشاكل من خلال استخدام المواد الكيميائية مثل المبيدات الحيوية، والمليّنات ومثبطات التآكل. حيث يجب شراؤها من الخارج وغالبًا ما تُستخدم بكمياتٍ كبيرة وهو أمر سلبي من الناحية الاقتصادية. وبالإضافة إلى ذلك، غالبًا ما تكون المواد المستخدمة ضارة بالبيئة، ولهذا السبب يجب أيضًا تنظيف مياه التبريد الخارجة من المصنع. لهذه الأسباب، يتم بشكل متزايد تطوير عمليات بديلة واستخدامها لتقليل استهلاك المواد الكيميائية. يتم ذكر بعض الأمثلة هنا (بناءً على [١٣٧] على سبيل المثال):

- التطهير بالأشعة فوق البنفسجية لإزالة البكتيريا
- الترشيح (الغشائي) لفصل المواد الصلبة
- إزالة الأملاح والتكييف الفيزيائي للمياه
- إنتاج المبيدات الحيوية في الموقع
- ترسيب كهربائي لإزالة مستهدفة للأيونات □

دراسة الحالة: استخراج الزنك/ترشيح الزنك في الهند

# استخدام مجسات الأس الهيدروجيني وجهاز قياس معياري متعدد القنوات للتحكم في الأس الهيدروجيني

## الخلفية

شركة Hindustan Zinc Ltd هي شركة هندية كبرى للتعدين وإنتاج المواد الخام بمبيعات سنوية تبلغ حوالي ٢٥٠ مليون يورو ويعمل بها حوالي ٦,٨٠٠ موظفًا. المنتجات الرئيسية بها هي الزنك والرصاص والفضة والكادميوم. في موقع شيتورغاره/راجستان، كان من المقرر تحسين عملية استخراج الزنك بشكل أكبر وأتمتتها باستخدام تقنية قياس قوية.

## تحدي خاص

يستخدم الماء كمذيب في استخلاص الزنك من كالسيت الزنك. من أجل إذابة الزنك من أكسيد الزنك، يكون لمياه العملية قيمة أس هيدروجيني متعادلة أو حمضية قليلاً في مرحلة المعالجة الأولى. يجب تعديل ذلك مع إضافة حامض الكبريتيك والحفاظ عليه أثناء العملية. في خطوة إجرائية أخرى، يتم تخصيب ماء العملية مرة أخرى وتحويله إلى محلول حمضي قوي لاستخراج الزنك المتبقي من أكسيد الزنك وحديد الزنك. تكون نتيجة هذه العملية مادة صلبة وسائل؛ يحتوي السائل على الزنك ويسمى منتج الترشيح؛ تُعرف المادة الصلبة بالبقايا، ولكنها تحتوي على معادن ثمينة (عادةً الرصاص والفضة) وتُباع كمنتجات ثانوية. في نهاية العملية، يجب تنظيف مياه العملية ومعادلتها. بسبب تركيبتها الكيميائية، تلوث مياه العملية حساسات الأس الهيدروجيني الكهروكيميائية السابقة، مما يقلل بدوره من عمر الخدمة وموثوقية القيم المقاسة. ولذلك، تم السعي إلى الجمع بين تقنية القياس القوية المناسبة وسحب العينات بطريقة آلية وتنظيف المستشعر بالإضافة إلى التحكم المتكامل في الأس الهيدروجيني.

شكل ١: مستشعرات الأس الهيدروجيني ومجموعة الأكسدة والاختزال JUMO tecLine HD

شكل٢: جهاز قياس معياري متعدد القنوات مزود بوحدة تحكم متكاملة ومسجل غير ورقي JUMO AQUIS touch S

## نهج الحل

عند استخراج الزنك، يقيس العميل وينظم قيمة الأس الهيدروجيني لمياه العملية. من أجل تحسين هذه العملية وأتمتتها، اقترحت شركة Jumo تركيب مجموعة من منتَجَيْن، كل منهما بتصميم مزدوج: سلسلة القياس أحادية العصا للأس الهيدروجيني ومجموعة الأكسدة والاختزال JUMO tecLine HD مع أقطاب HD الكهربائية وجهاز القياس المعياري متعدد القنوات لتحليل السائل مع وحدة تحكم متكاملة ومسجل غير ورقي JUMO AQUIS touch S.

## النتائج

تم تركيب سلسلة القياس أحادية العصا للأس الهيدروجيني ومجموعة الأكسدة والاختزال JUMO tecLine HD في خط تحويلي، حيث يتم قياس عينات من مياه العملية. يتكون النظام المدمج من مستشعر الأس الهيدروجيني وجهاز إرسال ومستشعر مستوى الامتلاء ونظام تنظيف وصمامات لجرعات الأحماض والماء والذي تم تصميمه خصيصًا للعميل. يمكن من خلال هذه المجموعة إجراء القياس وتحسين وأتمتة العملية بأكملها في وحدة تحكم واحدة. يمكن بشكل عام تقليل استخدام مياه العملية وحمض الكبريتيك بشكلٍ كبير، مع توفير قيم مستهدفة بين ٨٪ كحدٍ أدنى و ١٥٪ كحدٍ أقصى. العميل راضٍ تمامًا عن الحل الذي وضعته شركة JUMO.

## مساهمة التقنية المقدَّمة

توفر تقنية القياس التي تم تركيبها أقصى قدر من المرونة بفضل برمجة النظام المستقلة، حيث تم تحقيق التشغيل الأمثل لتسلسل العملية. كما أن التوافر الكبير لقطع الغيار في الموقع يقلل أيضًا من تكاليف الخدمة. □

# ٧ صناعة النسيج والجلود

## المعلومات الخاصة بالبلد

### الهند

تعد صناعة النسيج صناعة رئيسية في الدولة، حيث تساهم بحوالي ٦١ مليار دولار أمريكي في الناتج المحلي الإجمالي الوطني (٢,٣٪). تقع أهم مراكز إنتاج النسيج في تاميل نادو وغوجارات وماهاراشترا وراجستان. أدى الدعم المقدم من الحكومة الهندية في شكل إجراءات دعم الصادرات والموافقة على الاستثمارات الأجنبية بنسبة ١٠٠٪ إلى زيادة الاستثمار في هذه الصناعة في السنوات الأخيرة [١٣٨].

تغطي صناعة المنسوجات الهندية مجموعة واسعة من الشركات متعددة الأحجام، بدايةً من الشركات الصغيرة التقليدية إلى المصانع كثيفة رأس المال للشركات متعددة الجنسيات (مثل Arvind وVardhman Textiles و Welspun India). وتمثل الشركات الصغيرة ومتناهية الصغر الأغلبية. ويتم فيها تمثيل سلسلة القيمة المضافة بأكملها بدايةً من معالجة المواد الخام وحتى إنتاج الملابس. كما يتم استخدام الألياف الصناعية، مثل البوليستر والفسكوز والنايلون، وكذلك الألياف الطبيعية كمواد خام. تعد الهند أكبر منتج للقطن في العالم بإنتاج سنوي يبلغ ٣٣,٧ مليون بالة وثاني أكبر منتج للحرير بحصة تبلغ ١٨٪ من إنتاج الحرير العالمي. تشكّل مصانع الغزل والنسيج والحياكة أقوى فروع صناعة النسيج في الهند. ينشط عدد كبير من مصانع الصباغة والطباعة الصغيرة والمتوسطة الحجم في تشطيب النسيج. ويتم إكمال سلسلة القيمة المضافة من قبل مشاغل الخياطة ذات الصبغة الصناعية في الغالب. تم تصنيف القطاعات الفرعية لتشطيب النسيج والصباغة والتبييض على وجه الخصوص من قبل المجلس المركزي لمكافحة التلوث Central Pollution Control Board على أنها ضارة بالبيئة للغاية وبالتالي يتم مراقبة تلويثها للمياه عن كثب. مطلوب أيضًا من الشركات التي يزيد حجم مياه الصرف فيها عن ٢٥ متر مكعب/يوم الالتزام بنهج الطرح منعدم السوائل لمياه [١٣٩، ١٤٠]. وذلك يمثل تحديًا كبيرًا للعديد من الشركات، حيث إن أبسط أنظمة معالجة مياه الصرف (مثل أحواض الترسيب، والتحييد) غالبًا ما تكون غير متوفرة، أو ذات أبعاد غير صحيحة أو لا يتم صيانتها وتشغيلها بشكلٍ جيد.

باعتبارها ثاني أكبر منتج، تساهم صناعة الجلود الهندية بحوالي ١٣٪ من الإنتاج العالمي من الجلود والمصنوعات الجلدية. يعد توافر المواد الخام المناسبة أساسًا مهمًّا لهذا - تمتلك الهند ٢٠٪ من الأبقار على مستوى العالم و ١١٪ من المواشي الأخرى وتنتج ٢٨٠ مليون متر مربع من الجلود سنويًا في مدابغها. يقع جزء كبير من إنتاج الجلود في ولايات تاميل نادو والبنغال الغربية وأوتار براديش. تعمل الحكومة حاليًا في هذه المناطق، وأيضًا في مناطق واعدة أخرى، على تعزيز تطوير مجمعات الجلود الضخمة

"Mega Leather Clusters". وهي مجمعات صناعية متخصصة مصممة لزيادة كفاءة القطاع وتحسين حماية البيئة من خلال الربط المثالي بالبنية التحتية. هناك أيضًا تركيز على إنشاء محطات معالجة مياه الصرف الصناعي المشتركة، حيث تعتبر المدابغ من أكثر ملوثات المياه في الهند، وقد تم تصنيف مياه الصرف الخاصة بالمدابغ مؤخرًا على أنها شديدة التلوث [١٤٠، ١٤١].

### منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

صناعة النسيج في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا موجهة بشكل كبير إلى التصدير، حيث تمثل الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا أهم أسواق المبيعات. في حين أن العديد من البلدان تركز تقليديًّا على إنتاج المواد الخام والمواد الأولية، يتزايد اليوم تطوير المزيد من سلاسل القيمة المضافة الكاملة. في كثيرٍ من الحالات، تحاول الحكومات دعم الصناعة من خلال تدابير التمويل المستهدفة. بالإضافة إلى إبرام الاتفاقيات التجارية، يشمل ذلك أيضًا الدعم المالي لإنشاء مواقع إنتاج جديدة (مثل مصر) وفي التدريب الارتقائي للمتخصصين (مثل المغرب) [١٤٢، ١٤٣].

تلعب صناعة النسيج دورًا مهمًّا في مصر، حيث تساهم بحوالي ٣٪ من الناتج المحلي الإجمالي للبلاد. يمثل توافر القطن كمادة خام أساسًا مهمًّا لهذا، في حين أن الألياف الصناعية عادةً ما يتم استيرادها. تشمل سلسلة القيمة المضافة الإضافية مصانع الغزل والنسيج وتشطيب المنسوجات وتهيمن عليها شركات القطاع العام. في المقابل، فإن مشاغل الخياطة مملوكة للقطاع الخاص بنسبة ٩٠ ٪، على سبيل المثال، النساجون الشرقيون كواحد من أكبر مصنعي السجاد في العالم وشركة Yesim كمنتج لعلامات تجارية مثل Nike [١٤٢، ١٤٣]. تشهد صناعة النسيج المغربية انتعاشًا منذ تطوير سلاسل القيمة المضافة بما يتجاوز مجرد توفير المواد الخام (القطن والخيط). ومن المقرر تعزيز هذا التطور من خلال التمويل الموجه بهدف زيادة حصة الناتج المحلي الإجمالي الوطني (حاليًا ٨٪) وخلق المزيد من فرص العمل [١٤٣، ١٤٥]. وبالمقارنة، فإن صناعة النسيج في تونس والأردن أقل قوة. تمثل الشركات الأجنبية الجزء الأكبر من الاستثمارات في هذه الصناعة، لكن الشكوك الاقتصادية تضعف القدرة التنافسية الدولية للبلدين. وهناك رؤية مستقبلية محتملة، خاصةً في تونس، تركز على القطاعات الفرعية ذات القيمة المضافة، مثل المنسوجات التقنية [١٤٦، ١٤٧].

تعد صناعة الجلود ومعالجتها راسخة بشكل تقليدي في العديد من بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، ولكنها في الغالب تلعب دورًا ثانويًا في الاقتصاد اليوم. وكما هو الحال في صناعة النسيج، يتم هنا أيضًا استغلال الإجراءات الحكومية في العديد من الأماكن لزيادة القدرة التنافسية والجاذبية للمستثمرين الأجانب.

ويشمل ذلك أيضًا دعم مواقع إنتاج جديدة ذات بنية تحتية حديثة من أجل الحد من تلوث المياه، وخاصةً من المدابغ، والوفاء بالمعايير الدولية [١٤٨، ١٤٩، ١٥٠].

## قطاعات الصناعة وإنتاج مياه الصرف

### صناعة النسيج

في صناعة النسيج، تُصنع الأقمشة المنسوجة المسطحة من ألياف خام ويتم معالجتها لتصبح منسوجات. تعد صناعة النسيج أهم مرحلة أولية في صناعة الملابس، ولكن يتم أيضًا إنتاج منسوجات للاستخدامات التقنية أو الطبية. في صناعة النسيج، يتم استخدام الماء بكميات كبيرة من ناحية كمذيب للأصباغ الكيماوية والمواد المساعدة، ومن ناحية أخرى لإزالة المواد الكيميائية الزائدة. وأهم الخطوات الإجرائية في صناعة النسيج هي على النحو الآتي [١٥١]:

- الغزل
  تصنيع خيوط من ألياف خام طبيعية (مثل صوف الحيوانات والقطن) أو ألياف تركيبية (مثل البوليستر والبولي أميد والبولي بروبيلين)

- النسيج
  تصنيع النسيج المسطح، في الغالب عن طريق النسج أو عمليات تشكيل الغرز أو تجديل الخيوط

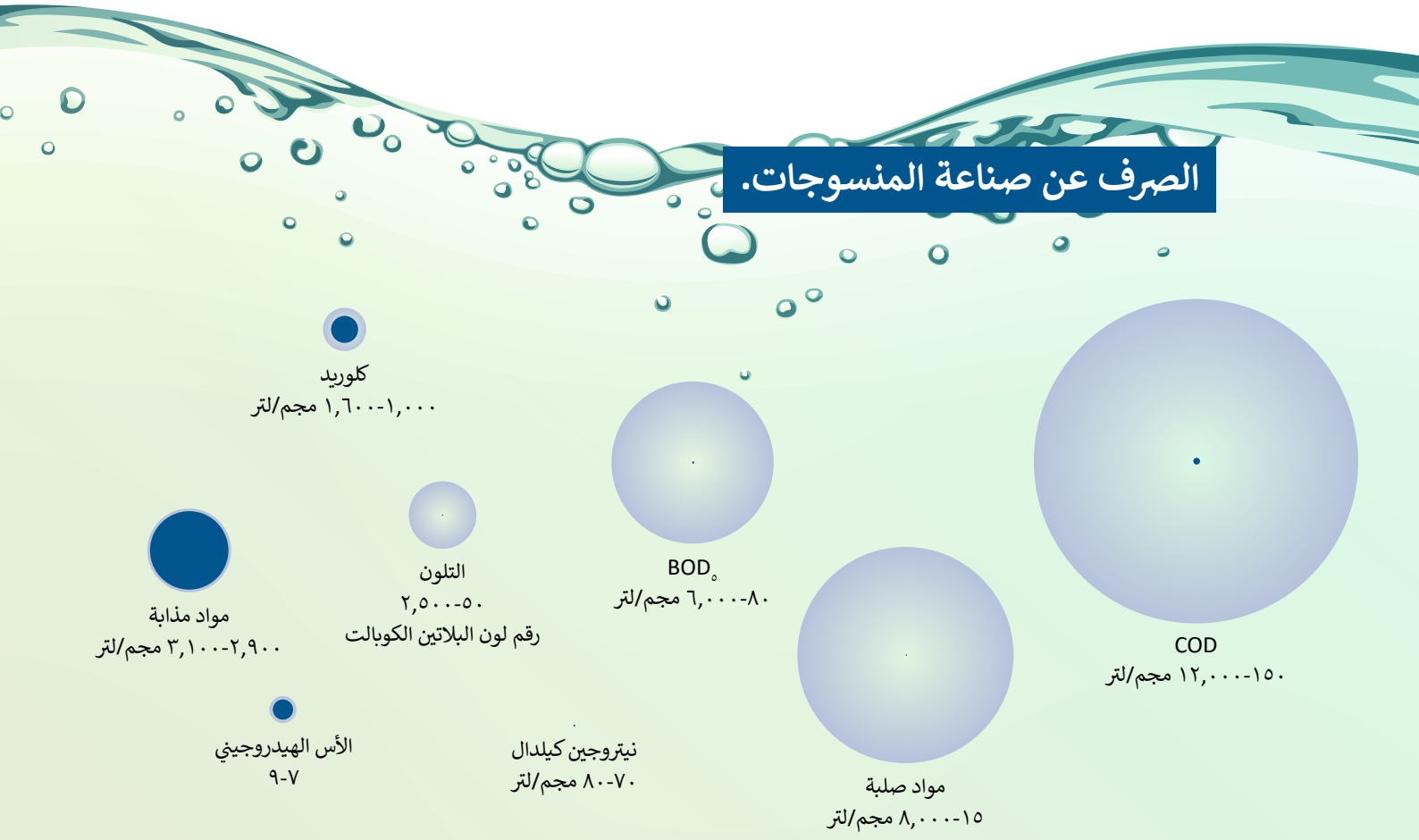
- التشطيب
  يمكن إجراء عمليات التشطيب على الألياف أو الخيوط أو النسيج المسطح أو على المنتجات الجاهزة. وهي تشمل المعالجة المسبقة (بما في ذلك إزالة النشا، والتبييض، والمرسرة)، والصباغة، والتجهيز (على سبيل المثال، التجهيز المضاد للثنيات، والتجهيز المقاوم للهب)، والطباعة والطلاء.

### صناعة الجلود

تشمل صناعة الجلود إعادة تصميم وتغيير جلود الحيوانات إلى جلد متين يدوم طويلًا ومتعدد الاستخدامات. أهم خطوات الإنتاج في صناعة الجلود هي [١٥٢]:

- ورشة المياه: تحضير الجلود بالنقع والتجيير (إزالة الشعر) وإزالة اللحم
- المدبغة مع كل الخطوات البينية المرتبطة بها
- التجهيز الرطب والمصبغة: تحييد وتشحيم وصباغة الجلد وتجفيفه
- التجهيز المسبق والنهائي: ترصيع الجلد وصقله ونقشه وتليينه
- صناعة المصنوعات الجلدية: المزيد من معالجة الجلود لتحويلها إلى أحذية وسلع جلدية أخرى على سبيل المثال

تعتبر صناعة الجلود فرعًا كثيف الاستهلاك للمياه ومياه الصرف، حيث يتم استخدام المياه كأهم مذيب ووسيلة نقل. تنتج معالجة ١ طن من جلود الحيوانات حوالي ٦٠٠ كجم من النفايات الصلبة و ١٥-٥٠ متر مكعب من مياه الصرف. يتم استخدام حوالي ٥٠٠ كجم من المواد الكيميائية للمعالجة، ويتم التخلص من ٨٥٪ منها بمياه الصرف. تتكون أكبر نسبة من مياه الصرف في ورشة المياه أثناء النقع والتجيير والدباغة بفارق كبير عن باقي المراحل. في المقابل، فإن التجهيز المسبق والنهائي والمعالجة الإضافية للمصنوعات الجلدية أقل صلة بتلوث البيئة بشكلٍ ملحوظ [١٥٣، ١٥٤].




شكل ١: تركيزات نمطية للشوائب في مياه الصرف الناتجة عن صناعة النسيج [١٥٥]

# مجاري مياه الصرف وخصائصها

## الغزل والنسيج

يمكن أن تحتوي مياه الصرف الناتجة عن صناعة النسيج على جميع المواد الكيميائية التي تمر بها على طول سلسلة التصنيع. في الغسل المسبق لمصانع الغزل، غالبًا ما يتم نقل الشوائب من الألياف الخام، مثل بقايا المبيدات الحشرية من الألياف الطبيعية، إلى مياه الصرف الصحي. ويتم وضع النشا على الخيوط (أي تشريبها) قبل تصنيع القماش ومن ثم إزالة النشا مرةً أخرى. وبالتالي، تحتوي مياه الصرف الناتجة عن إزالة النشا على عوامل النشا (مثل النشا، وإيثرات النشا، والكحول أو كحول البولي فينيل) والمواد المساعدة على إزالة النشا (مثل الأحماض أو العوامل المؤكسدة) [٢٢].

## تشطيب المنسوجات

أهم تدفقات مياه الصرف في محطات التشطيب هي مياه الصرف الناتجة عن المعالجة المسبقة والصباغة والتجهيز، والتي يمكن أن تحتوي على الشوائب التالية وذلك حسب نوع المعالجة ونوع الألياف (شكل ١):

- الأصباغ
- كيماويات التجهيز (على سبيل المثال، منعمات النسيج، ومركبات الألكيل المشبعة بالفلور ومتعددة الفلور (PFAS)، ومثبطات اللهب)
- المواد الكيميائية المساعدة للمعالجة المسبقة والصباغة والتجهيز (مثل العوامل الخافضة للتوتر السطحي والعوامل المركبة وعوامل الاختزال والأكسدة)
- الأحماض والقلويات والأملاح المحايدة

| المرحلة الإجرائية | خطوة العمل | مياه الصرف |
|---|---|---|
| النقع وإزالة اللحم | نقع الجلود (التي قد تكون محفوظة) باستخدام مواد مساعدة ثم إزالة اللحم ميكانيكيًا | - BOD، و COD ومواد صلبة من أصل حيواني<br>- أملاح<br>- نيتروجين عضوي<br>- المواد المساعدة |
| التجيير وإزالة الشعر | تورم وتمزق الجلد تحت ظروف قلوية لفصل الشعر | - الجير والقلويات<br>- كبريتيدات<br>- نيتروجين عضوي (أمونيوم)<br>- BOD، و COD ومواد صلبة من أصل حيواني |
| إزالة الجير والتخليل | إزالة مخلفات التجيير، ثم تحضير الجلد لامتصاص مادة الدباغة عن طريق إضافة الإنزيمات، وإذا لزم الأمر، الأحماض | - أمونيوم<br>- كبريتيدات<br>- أملاح الكالسيوم<br>- BOD، و COD ومواد صلبة من أصل حيواني |
| الدباغة وإعادة الدباغة | تحويل ألياف الكولاجين إلى ألياف جلدية والحفاظ على الجلود من خلال دمج مواد الدباغة، وربما إعادة الدباغة بعد التحييد | - مواد الدباغة، مثل الكروم (III)<br>- أحماض<br>- عوامل مركبة<br>- المواد المساعدة |
| الألوان | صبغ الجلد من خلال تثبيت الصبغة، ثم صبغ أو طلاء إضافي إذا لزم الأمر | - الأصباغ<br>- مذيبات عضوية<br>- هالوجينات مرتبطة عضويًا (AOX) |

جدول ١: خطوات العمل وملوثات مياه الصرف النمطية بمراحل العملية الأكثر صلة بالبيئة في صناعة الجلود [١٥٧]

وبالإضافة إلى خطوات العملية الأخرى ذات الحمل العالي لد COD، مثل إزالة النشا، لا يتم نقل بقايا العوامل المؤكسدة فحسب، بل يُنقل أيضًا أي منتجات تفاعل ومواد مساعدة إلى مياه الصرف أثناء التبييض. إذا تم استخدام هيبوكلوريت الصوديوم (NaClO)، غالبًا ما يتم تكوين مركبات الهالوجين العضوية، مثل ثلاثي كلورو ميثان. عند التبييض باستخدام بيروكسيد الهيدروجين، تكون المواد المساعدة أكثر إشكالية، مثل العوامل المركبة المستخدمة في التثبيت.

يعتمد تكوين مياه الصرف الناتجة عن المصابغ بشكلٍ كبير على الألياف وصبغات الألوان المعنية. بسبب اختلاف الأصباغ المركبة المعدنية المستخدمة في كل حالة، تكون الشوائب النمطية هي النحاس مثلاً عند صباغة الألوان الداكنة أو الكروم (III) عند صباغة البولي أميد والصوف. يمكن أن تكون اليوريا مصدرًا مهمًا للنيتروجين في مياه الصرف، والتي تُستخدم لطباعة السليلوز باستخدام الأصباغ التفاعلية. غالبًا ما يتم استخدام الفلور العضوي والمركبات منخفضة الوزن الجزيئي ومثبطات اللهب في التجهيز [١٥٣، ٢٢].

### ورشة المياه

يتكون ٧٥٪ من BOD و COD الخاص بتصنيع الجلود في ورشة المياه (جدول ١، ٢). عند النقع والتجيير بشكل أساسي، تذهب المخلفات العضوية مثل بقايا الدم والأنسجة أو البروتينات القابلة للذوبان إلى مياه الصرف. يمثل الشعر المنفصل والمواد الصلبة الأخرى تلوثًا شديد الأهمية لمياه الصرف هنا. غالبًا ما يتم استخدام الجير والأمونيوم وكبريتيد الهيدروجين المذاب كمواد مساعدة لإزالة الشعر، والتي تتسرب أيضًا إلى مياه الصرف وتؤدي إلى ارتفاع قيم الأس الهيدروجيني إلى ١٢ وأكثر. يمكن أن تحتوي مياه الصرف أيضًا على مواد مساعدة مثل المواد الحافظة (معظمها كلوريد الصوديوم) أو المواد الخافضة للتوتر السطحي أو الإنزيمات أو المبيدات الحيوية [٢٢، ١٥٦].

| المرحلة الإجرائية | قيمة الأس الهيدروجيني [-] | COD [مجم/لتر] | نيتروجين عضوي [مجم/لتر] | نيتروجين الأمونيوم [مجم/لتر] | كبريتيد [مجم/لتر] | كروم [مجم/لتر] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| النقع وإزالة اللحم | ٧–١٣ | ٢,٥٠٠–١٠٠,٠٠٠ | ٢٠٠–٥,٠٠٠ | ٢٠–٣٠٠ | ١,٢٠٠–٤,٠٠٠ | |
| التجيير وإزالة الشعر | ١٢–١٣ | ١٧,٠٠٠–١٠٠,٠٠٠ | ٢,٠٠٠–٥,٠٠٠ | ١٠٠–٣٠٠ | ١,٢٠٠–٤,٠٠٠ | |
| إزالة الجير والتخليل | ٧–٩ | ١,٠٠٠–١٧,٠٠٠ | ٣٠٠–٩٠٠ | ٣٠–٧,٠٠٠ | ٣٠٠> | |
| الدباغة وإعادة الدباغة | ٣–٤ | ٣,٠٠٠–١٢,٠٠٠ | حوالي ٢٠٠ | ٣٠٠> | | ٣٠٠–٤,٠٠٠ |
| الألوان | ٣,٥–٥ | ٨,٠٠٠–٧٠,٠٠٠ | حوالي ٢٠٠ | ١٠٠–٩٠٠ | | ١٠–٥٠٠ |

جدول ٢: تركيزات نمطية للشوائب في مياه الصرف الناتجة عن صناعة الجلود [١٥٤]

### مدبغة الجلود

يتم الانتهاء أخيرًا من إنتاج الجلود واستقرار المادة من خلال استخدام مواد الدباغة المعدنية أو الصناعية أو النباتية. حوالي ٨٠-٩٠٪ من المدابغ في جميع أنحاء العالم تستخدم أملاح الكروم (III) للدباغة لأنها سهلة التوفير وتنتج جلودًا عالية الجودة. في هذه الحالات، غالبًا ما تكون مياه صرف المدابغ وأيضًا مياه العديد من خطوات المعالجة اللاحقة، ملوثة بشدة بالكروم. من المواد البديلة للدباغة، خاصةً في صناعة الأثاث والجلود، مركبات الغلوتارلديهايد السامة والخطرة على البيئة. وبالإضافة إلى مواد الدباغة، غالبًا ما تحتوي مياه صرف المدابغ على ألياف جلدية وأملاح غير عضوية ودهون [١٥٧، ٢٢].

# طريقة المعالجة

### اختيار الطريقة ومراحلها

مياه الصرف الناتجة عن صناعة النسيج والجلود لها خصائص مختلفة تمامًا اعتمادًا على فرع الصناعة ومرحلة المعالجة والمنتج المحدد. وتتمثل الأهداف الرئيسية لمعالجة مياه الصرف فيما يلي:

- فصل المواد الصلبة العالقة
- الحد من التلوث العضوي (BOD و COD) وكذلك النيتروجين والفوسفور
- إزالة المواد الكيميائية المساعدة عالية التركيز
- إزالة اللون
- التحييد

غالبًا ما تتطلب مياه الصرف الناتجة عن ورشة المياه مثلًا عند معالجة الجلود على وجه الخصوص، معالجة منفصلة لفصل المواد الصلبة. اعتمادًا على حالة الاستخدام، يتم استخدام تقنيات الترسيب وكذلك الترشيح أو التعويم لهذا الغرض. وهذا يضمن الكفاءة والتشغيل الخالي من الأعطال لمعالجة مياه الصرف لاحقًا. عادةً ما تكون المرحلة المركزية لمعالجة مياه الصرف في كلٍ من صناعات النسيج والجلود معالجة بيولوجية، حيث يتم تفكيك أحمال BOD وCOD بالإضافة إلى العديد من الشوائب العضوية وغير العضوية بشكلٍ جيد. في صناعة الجلود، تُستخدم العمليات الهوائية على وجه الخصوص للتخلص من النيتروجين البيولوجي، على سبيل المثال عملية نزع النيتروجين المتقطع في المنبع أو عند المصب. تتم إزالة المواد (المساعدة) المستديمة في التدفق الكامل أو في التدفقات الجزئية الفردية باستخدام عمليات فيزيائية كيميائية متقدمة مثل الترسيب أو الامتزاز أو الأكسدة أو الاختزال [١٥٨، ١٥٩].

### مثال على إزالة اللون

تلعب عمليات الصباغة دورًا مهمًّا في إنتاج المنسوجات والجلود. حيث يتم امتصاص بعض الأصباغ المشتتة أو عالية الوزن الجزيئي على الحمأة المنشطة في مرحلة التنظيف البيولوجي، لكن التحلل البيولوجي الهوائي لا يحدث على الإطلاق أو يحدث ببطءٍ شديدٍ فقط. وهذا يجعل عملية إزالة اللون المستهدفة من مياه الصرف ضرورية. الأساليب التالية متاحة لإزالة اللون [٢٢، ١٦٠]:

### الاختزال

الانقسام الاختزالي لأصباغ الآزو مع ملح الحديد (II) في بيئة قلوية (يتم تعديلها بحليب الجير)، عادةً قبل المعالجة البيولوجية.

### الامتزاز

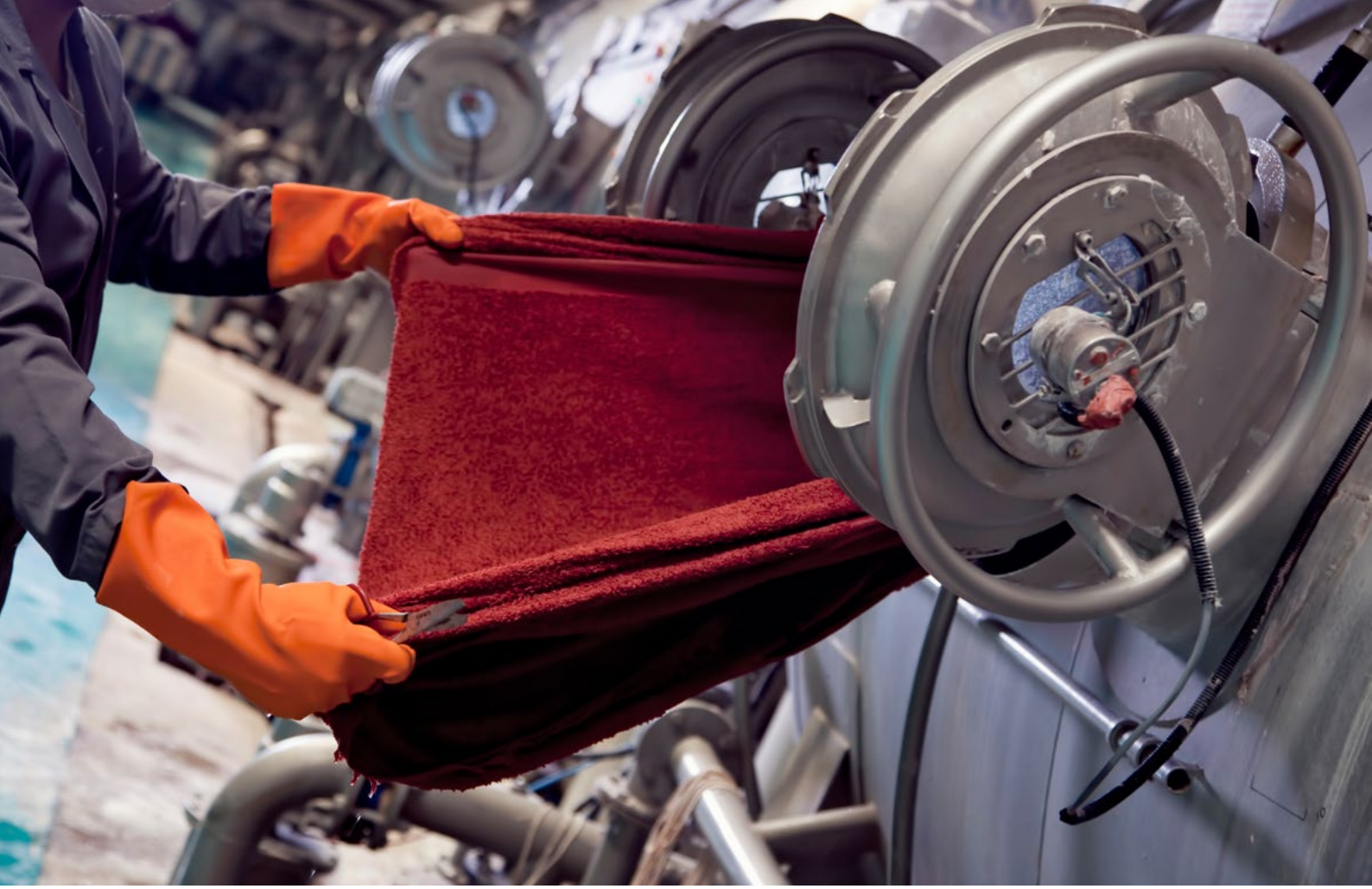
يمكن تحقيق إزالة اللون بنسبة ٨٠٪ وأكثر عن طريق الامتزاز على حبيبات الكربون النشط في الفلاتر ذات الترشيح الحبيبي. يزيد استخدام مسحوق الكربون النشط من مرونة العملية.

### الترسيب

يمكن إزالة الأصباغ الأنيونية أو المحلل المائي باستخدام بوليمرات عضوية كاتيونية. عند قيمة أس هيدروجيني قلوية قليلًا – اعتمادًا على الصبغة – يمكن تحقيق إزالة اللون بنسبة ٩٠٪ تقريبًا.

### الترشيح الغشائي

يمكن الاحتفاظ بالعديد من الأصباغ عالية الوزن الجزيئي جيدًا عن طريق الترشيح الفائق أو النانوي. في ضوء التكاليف المرتفعة، فإن هذا النهج مهمٌ فقط إذا تم استخدام مزيد من أوجه التآزر، مثل احتجاز المواد الصلبة أو إعادة تدوير المياه.



### إزالة الكروم (III)

إذا تم استخدام أملاح الكروم (III) كعوامل دباغة في إنتاج الجلود، يمكن أن تظهر تركيزات للكروم تصل إلى ٤ جم/لتر في مياه الصرف الصناعي الخاصة بالعملية. فيما يتعلق بالعملية نفسها، يمكن تقليل تصريف الكروم من خلال الاستبدال بمواد دباغة بديلة أو تحسين كفاءة العملية. فيما يتعلق بمياه الصرف، يتم إزالة نسبة كبيرة من الكروم في المعالجة البيولوجية. يرتبط الكروم في الحمأة بواسطة الامتزاز ويتم التخلص منه أخيرًا مع حمأة الصرف (كنفايات خطرة في بعض الأحيان).

في بعض الحالات، قد تكون المعالجة المسبقة المستهدفة ضرورية أيضًا لتقليل حمل الكروم في مياه الصرف. يتم ذلك عادةً في أكثر تدفقات مياه الصرف تركيزًا من خلال الترسيب بأكسيد المغنيسيوم والجير المطفأ و/أو كلوريد الألومنيوم. في الظروف المواتية، يمكن بعد ذلك إذابة الحمأة المترسبة مرة أخرى باستخدام حمض الكبريتيك، وبعد إضافة المواد المساعدة الضرورية، يمكن استخدامها مرةً أخرى لدباغة الكروم [٢٢، ١٦١].

### كبريتيد الهيدروجين

كبريتيد الهيدروجين غاز عديم اللون، وآكال، وقابل للاشتعال وشديد السمية، ويستحق أن نوليه اهتمامًا خاصًا في معالجة مياه الصرف المحتوية على الكبريتيد. مركبات البروتين الحيوانية، بالصورة التي تظهر بشكلٍ خاص في مياه الصرف الناتجة من ورشة المياه، تتحلل بسرعة إلى $H_2S$ المذاب أو، في بيئة حمضية، إلى كبريتيد الهيدروجين الغازي.

يمكن منع تكوين كبريتيد الهيدروجين عن طريق تقليل مدخلات الكبريتيد في مياه الصرف ومنع اختلاط تدفقات المياه الحمضية (من الدباغة مثلًا) وتدفقات المياه المحتوية على الكبريتيد (خاصةً من الجير) في نظام الصرف الصحي الداخلي. وتتضمن أفضل التقنيات المتاحة أيضًا إزالة مركبات الكبريت من التدفقات الجزئية لمياه الصرف قبل المعالجة البيولوجية، على سبيل المثال، عن طريق الترسيب بأملاح الحديد أو الأكسدة التحفيزية بأملاح المنغنيز. في البيولوجيا، يتأكسد كبريتيد الهيدروجين المذاب بالكامل إلى كبريتات في النهاية أو يتحول إلى كبريت أولي. في جميع الأحوال، يعد التغليف الموثوق به لجميع مصادر الانبعاث الممكنة واستخراج هواء العادم ومعالجته بشكل موثوق أمران مهمان [١٥٧، ١٦٢]. □

دراسة الحالة: **صناعة النسيج في الهند**

# أكبرمجفف شمسي صناعي في العالم

## الخلفية

قررت جمعية المنسوجات الهندية NTIEM - التي تضم ما يقرب من ١٢٠ شركة عضوًا وذات حجم إنتاج نسيج سنوي يبلغ ٢٨٠٠ مليون متر تقريبًا - توسيع محطة معالجة مياه الصرف المشتركة مع تصريح صرف سابق بمقدار ٤٠ متر مكعب/يوم لتصل إلى سعة تصميمية قصوى مقدارها ٤٥٠ متر مكعب/يوم. بلغ إجمالي حجم الحمأة في مياه الصرف المزاحة بالمحطة ١٦٠ طنًا/يوم في عام ٢٠١٧. بالإضافة إلى تقليل كتلة النفايات وتكاليف التخلص منها، تم التخطيط لإنتاج وقود بديل محايد لثاني أكسيد الكربون CO ٢ للاستخدام الصناعي.

في البداية، تم التخطيط لمجفف حزام شبكي منخفض الحرارة لتجفيف الحمأة الأولية ومستودع تخزين الحمأة الثانوية (الحمأة الزائدة). لهذا الغرض، كان من المقرر تخزين الحمأة مؤقتًا في مستودع بمساحة ١٢,٠٠٠ متر مربع، ثم عودة ماء الرشح إلى المحطة للمعالجة ثم التخلص من الحمأة في مكب النفايات.

## تحدي خاص/طرح خاص للمشكلة

كانت أعمال البناء الخرسانية المسلحة للمستودع قد اكتملت بالفعل عندما تم اتخاذ القرار لصالح نظام التجفيف الشمسي من شركة Zizmann. حيث كان الخط الخاص بالصرف على جانب المستودع، وتمت التغذية بالحمأة بواسطة اللوادر ذات العجلات والعمال. لم يكن من الممكن تحقيق محتوى المادة الجافة المطلوبة بنسبة ٢٥ ٪ بشكل متسق مع وحدات نزح المياه . أدت التأثيرات الميكانيكية بسبب عمليات التجريف وتحميل مركبات النقل عن طريق اللوادر ذات العجلات والكب في منطقة التجفيف إلى تدهور جودة الحمأة. كان هناك أيضًا خطر متزايد للتلوث بالرائحة الناجم عن المركبات الكيميائية والبيولوجية المتطايرة. وكان ضعف أداء التجفيف بسبب الرطوبة العالية أثناء الرياح الموسمية مشكلة رئيسية توجب أخذها في الاعتبار.

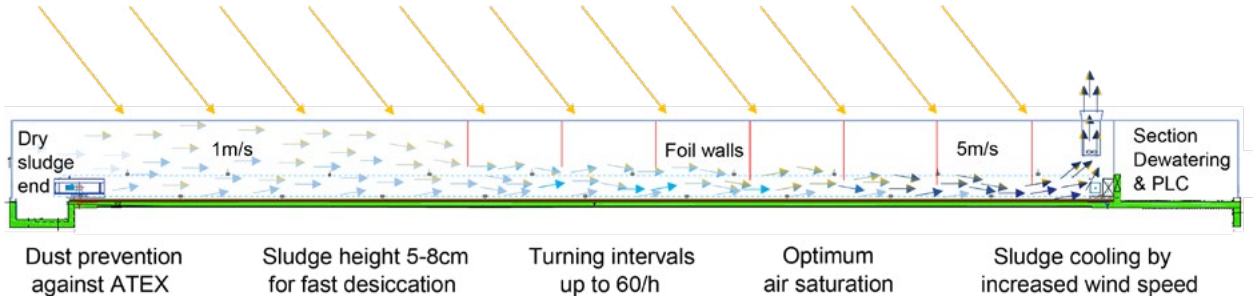
كانت التكنولوجيا الاقتصادية والجديرة بالثقة مطلوبة لمثل هذا المشروع الكبير. حيث أن الجمع بين تقنية التجفيف الشمسي من شركة Zizmann والإنتاج والتجميع بواسطة شريك محلي يلبي جميع متطلبات العميل. بناءً على الخبرات السابقة في موضوع انتشار الغبار أثناء عملية التجفيف حتى محتوى المادة الجافة بنسبة ٩٠٪ من المخلفات الجافة (TR)، كانت هناك حاجة إلى تقنية لتجفيف حمأة مياه الصرف وتلبي أيضًا متطلبات الحماية الصحية.

## نهج الحل

نظرًا للمرونة الميكانيكية، يمكن بسهولة تكييف النظام مع الظروف الحالية (شكل ١). مع الأساسات الشريطية العاملة كسطح تشغيل لنظام التجفيف Zizmann، كان من الممكن الاستغناء عن تفكيك الهيكل الخرساني الموجود. تم تقليل ارتفاع المبنى الأصلي لمستودع تخزين الحمأة بأكثر من خمسة أمتار، مما قلل بشكل كبير من التكاليف المخطط لها لبناء المستودع، ومن ناحية أخرى، غطى جزءًا من تكاليف نظام التجفيف.

تم تصميم مجففات Zizmann كنواقل سلسلة لا نهائية، وهي في المشروع الحالي مدفوعة بمحرك معشَّق من شركة Siemens بقوة ٤ كيلوواط، انظر مكشطة السلسلة بحوض المعالجة النهائية. نظرًا لحقيقة أن التجفيف يحدث فقط على السطح الملامس للهواء النقي، فإن التوليد المتكرر لأسطح التبخر الجديدة من خلال تقنية الدوران يعد أمرًا ضروريًا. يضمن النظام المعتمد فترات دوران فاصلة تصل إلى ٦٠ مرة في الساعة لحركة الحمأة الخالية من الغبار. يضمن التبادل المستمر للهواء بسرعات التدفق الملائمة تجفيفًا خاليًا من ATEX في منطقة التصريف بسرعة ١ م/ث، بالإضافة إلى تجفيف سريع للسطح في منطقة دخول الحمأة الرطبة بسرعة ٥ م/ث جنبًا إلى جنب مع التبريد التبخيري على سطح الحمأة، والذي يقلل من مخاطر تكون رائحة مجددًا في منطقة الحمأة الرطبة (تأثير الرياح - البرد).

بهدف إنتاج وقود بديل محايد من ثاني أكسيد الكربون CO ٢ عالي الجودة بقيمة حرارية ١٢MJ/kg Ø عن طريق ٩٠٪ من المخلفات الجافة، تم النظر في خيارات إعادة التدوير الأكثر فعالية من حيث التكلفة في صناعة الإسمنت بدلًا من الاستمرار في التخلص منها في مقالب القمامة.




شكل١: عرض تخطيطي لتجفيف الحمأة الشمسي

خلال موسم الرياح الموسمية، يتم تخزين الحمأة مؤقتًا وتغذيتها في مرحلة التجفيف مع تأخير زمني. تم بالفعل مراعاة إمكانية التحسين اللاحق أثناء أعمال الإنشاء الهيكلية، بحيث يمكن الآن التزويد بالتدفئة الإضافية عند الحاجة. وهذا من شأنه أن يجعل مناولة الحمأة موسميًّا شيئًا من الماضي.

## النتائج

على الرغم من التقلبات في محتوى المخلفات الجافة أثناء نزح المياه، فإن حجم مدخلات الحمأة هو ٣٥,٠٠٠ طن/سنة بدلاً من ٣٠,٠٠٠ طن/سنة المخطط لها، ما يعني زيادة بنسبة + ١٥ ٪ أعلى من المتوقع. في بعض الحالات، تم الوصول إلى نسبة ٩٣,٥٪ من محتوى المادة الجافة في الصيف. يبلغ متوسط تبخر المياه ٢٧,٢٠٠ طن/سنة، بحيث يتم استخدام ٧,٨٠٠ طن/سنة فقط من حمأة الصرف الصحي الجاف كوقود بديل في صناعة الأسمنت.

تم تصميم نظام التجفيف في الأصل فقط لمعالجة الحمأة الثانوية، ويتم تغذية النظام الآن بمزيج من الحمأة الأولية والثانوية نظرًا لمزاياها التشغيلية وأدائها المستقر.

تم تركيب أحد عشر خط تجفيف مستقل (شكل ٢). في نهاية المستودع، يضمن نظام التصريف الأوتوماتيكي المزود بناقل شريطي وناقل مائل لنقل الحمأة إلى الصومعة، حيث يتم تخزينها حتى يتم إزالتها. عندما تم تشغيل النظام، يتخذ العميل إجراءات لنقل آلات نزح المياه إلى جانب مدخل المستودع من أجل تقليل خطوات العمل وبالتالي تقليل التأثيرات الميكانيكية على جودة الحمأة، لإتاحة التشغيل على مدار الساعة طوال أيام الأسبوع وبالتالي زيادة قدرة التجفيف.

مع نظام الإدخال والتصريف الأوتوماتيكي، يبلغ جهد العمل المبذول للفحص البصري وأعمال الصيانة ٠,٥ ساعة لكل خط في اليوم. توجد المحركات العاملة بتقنية الدوران والتهوية في نهايات مستودع التجفيف، بحيث تكون صيانة التقنية سهلة للغاية وممكنة دون الحاجة إلى عبور المستودع بأكمله.

من خلال تقليل الكتلة المراد التخلص منها إلى ما يقرب من ٢٢٪ فقط من كمية حمأة الصرف التي تم التخلص منها في الأصل، تم تقليل حركة مرور المركبات والانبعاثات المرتبطة بها وكذلك متطلبات الوقود وفقًا لذلك. كما أن التعاون مع مصنع أسمنت محلي يساعد أيضًا في تقليل تكاليف التخلص من النفايات بشكل كبير، لدرجة أنه يتم توفير التكاليف من خلال إعادة تدوير الحمأة الجافة بحوالي ٢٥-٣٠٪.

## مساهمة التقنية المقدَّمة

بفضل مرونة النظام، فإن تجفيف حمأة الصرف الصحي بالطاقة الشمسية يجعل المتطلبات منخفضة نسبيًا على الظروف المكانية في مستودعات التجفيف. وتتيح تقنية الدوران الأوتوماتيكية التشغيل الخالي من الغبار والروائح إلى حدٍ كبير بأقل تكاليف تشغيل وصيانة. يتم تحقيق أداء تجفيف أعلى بنسبة تصل إلى ١٥-٢٠٪، وفي هذه الحالة دون الحاجة إلى معالجة الماء أو الهواء المتبخر. □

# ٨ صناعة الورق ولباب الورق

## المعلومات الخاصة بالبلد

### الهند

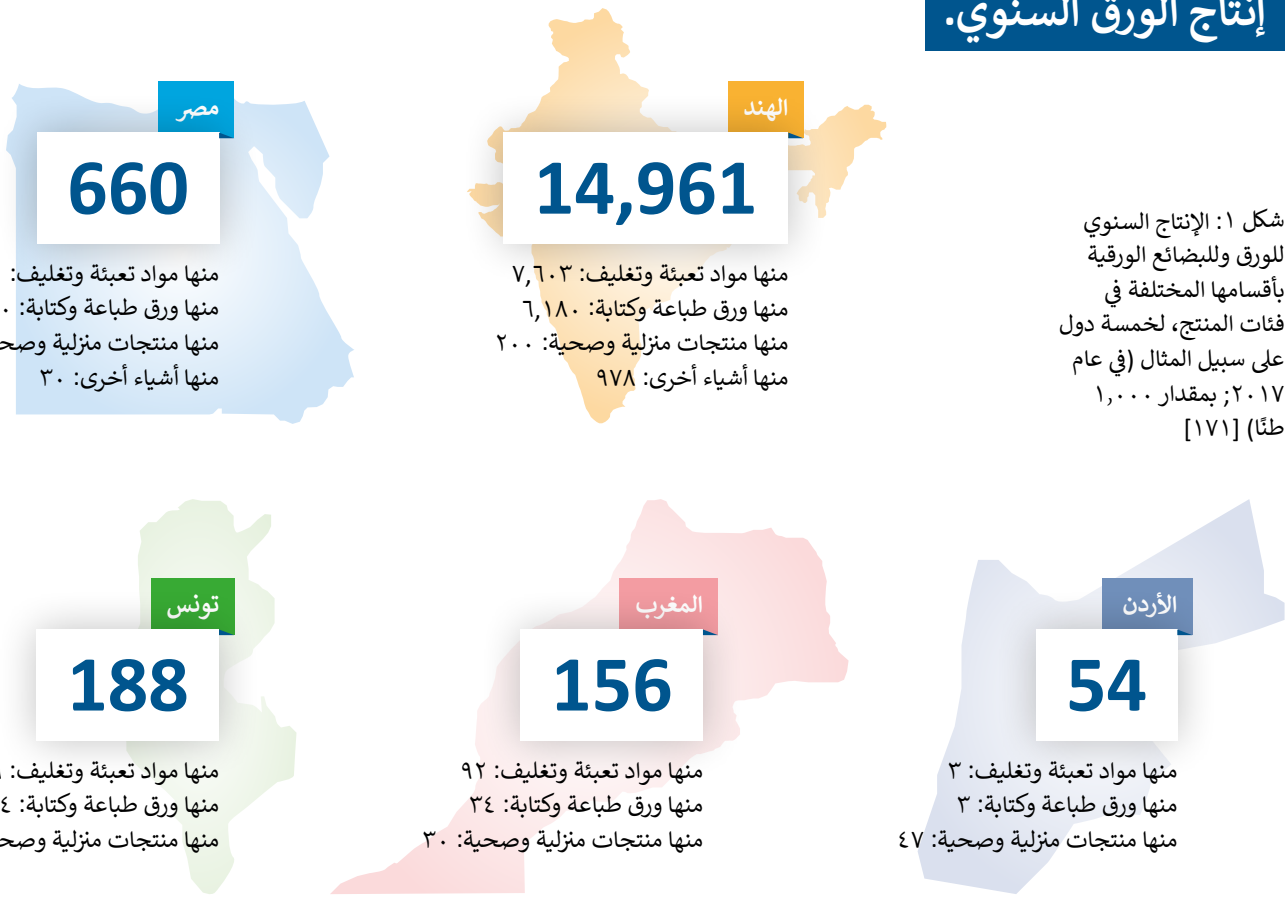
تلعب صناعة الورق في الهند دورًا ثانويًّا إلى حدٍ ما على مستوى العالم بإنتاج سنوي يبلغ حوالي ١٥ مليون طن وإيرادات سنوية تبلغ ٩,٦٢ مليار دولار أمريكي. تنتج مواقع الإنتاج التي يبلغ عددها حوالي ٨٠٠ في البلاد بشكل أساسي مواد التعبئة والتغليف (٥١٪ من الإنتاج) وورق الطباعة والكتابة (٣١٪) وورق الصحف (١٨٪) (شكل ١). يعد استهلاك الورق للفرد في الدولة منخفضًا في المقارنة الدولية – مترافقًا مع ارتفاع مستويات الدخل، وزيادة معدل معرفة القراءة والكتابة وتزايد تداول الصحف، ومع ذلك، من المتوقع حدوث زيادة كبيرة في السنوات القليلة المقبلة [١٦٣، ١٦٤، ١٦٥].

أهم عنصر تكلفة في إنتاج الورق (حوالي ٥٠٪ من تكاليف الإنتاج) هو المادة الخام المطلوبة. هناك تقريبًا ٠,٧ مليون كيلومتر مربع من مساحة الهند التي تبلغ ٣,٣ مليون كيلومتر مربع مُشجرة ونظرًا للشروط الصارمة على اقتلاع الأشجار، يعد الخشب في الهند مادة خام محدودة للغاية. وبالتالي فإن عدم توفر المواد الخام المناسبة والمنافسة مع المنتجات المستوردة يمثل تحديًّا كبيرًا لصناعة الورق الوطنية. ومن ثَم فإن التركيز يتحول بشكل متزايد نحو المواد الخام البديلة: حتى اليوم، لا يزال الورق يُصنع من ألياف خشبية بنسبة ٣٠-٤٠٪، ومن النفايات الورقية المعاد تدويرها بنسبة ٥٠-٦٠٪، ومن المخلفات الزراعية بنسبة ١٥-٢٥٪ [١٦٣، ١٦٦، ١٦٧].

تهيمن المصانع الصغيرة والمتوسطة على صناعة الورق الهندية، بعضها في حاجة كبيرة جزئيًّا للتحديث للوفاء بمعايير الإنتاجية وكفاءة الطاقة وحماية البيئة الحالية. صنف المجلس المركزي لمكافحة التلوث Central Pollution Control Board في الهند تصنيع الورق بوصفه قطاع صناعي شديد التلويث للبيئة بشكل خاص ومنذ عام ٢٠١٥ أصدر عددًا من التدابير لتحسين حماية المياه الصناعية. ومن ثم يتعين على مصانع الورق وضع خطة إدارة بيئية وتقديم ما يثبت معالجة مياه الصرف بطريقة مناسبة. فيما يتعلق بالسائل الأسود على وجه الخصوص، تنطبق لوائح الطرح منعدم السوائل لمياه الصرف [١٦٤، ١٦٥]. ومع ذلك، لا تزال هناك بعض الشكوك فيما يتعلق بالتنفيذ الفني والتعامل مع الرُكازَة الناتجة.

Tragfähigkeit 75.000kg
metso

## إنتاج الورق السنوي.




شكل ١: الإنتاج السنوي للورق وللبضائع الورقية بأقسامها المختلفة في فئات المنتج، لخمسة دول على سبيل المثال (في عام ٢٠١٧; بمقدار ١,٠٠٠ طنًا) [١٧١]

### منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

يعد تصنيع الورق في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا سوقًا محدد التسويق، وتعتبر كل البلدان تقريبًا مستوردة بشكل صريح للألياف والمنتجات الورقية [١٦٨، ١٦٩، ١٧٠]. السبب الأكثر أهمية لهذا هو محدودية توافر المادة الخام: وجود الغابات - حسب البلد والمنطقة - عادةً في النطاق الأقل من ٥٪، بحيث يجب استيراد ألياف الخشب لإنتاج الورق. لذلك، ركزت بعض البلدان على معالجة الألياف البديلة، مثل الثفل وقش الأرز كمورد للألياف المستخدمة بكثرة في مصر. لا تزال المادة الخام الأكثر أهمية لتصنيع الورق في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا هي النفايات الورقية المعاد تدويرها.

تُستخدم نسبة كبيرة من المنتجات الورقية المنتجة لأغراض التعبئة والتغليف، على سبيل المثال كورق مقوى أو ورق تعبئة وتغليف (شكل ١) [١٧١]. يذهب الباقي من الإنتاج - حسب البلد - إلى قطاعات مختلفة متعلقة بورق الكتابة والطباعة من ناحية والمنتجات المنزلية والصحية من ناحية أخرى. الاستثناء هنا هي الأردن، حيث كان إنتاج المنتجات المنزلية والصحية في السنوات الأخيرة أكبر بكثير من إنتاج الورق.

ما يميز صناعة الورق الإقليمية عمومًا هو مواقع الإنتاج القديمة وكمية الإنتاج المنخفضة. خاصةً في مصر، تهيمن الشركات المملوكة للدولة عليها بوضوح، والتي لا تستغل القدرات الإنتاجية الحالية بالشكل الكافي. لتعزيز هذه الصناعة، سيكون تحسين إعادة تدوير الورق القديم ضروريًا على المدى المتوسط، لزيادة توافر المواد الخام في الموقع. كما أن الرؤى المستقبلية تركز على الأنشطة والاستثمارات المكثفة ذات القيمة المضافة في تقنيات الإنتاج الحديثة [١٧٠، ١٧٢].

# قطاع الصناعة وإنتاج مياه الصرف

يُصنع لب الورق من المواد التي تحتوي على السليلوز - عادةً من الخشب أو غيرها من المواد الخام النباتية، على سبيل المثال الثفل، أو القش أو أعواد القطن. تحتاج أيضًا معالجة النفايات الورقية كمواد ابتدائية في صناعة الورق مزيدًا من الاهتمام. يشمل إنتاج اللب التقطيع الميكانيكي والتفتيت الكيميائي للمواد المصاحبة للسليلوز، مثل اللجنين والهيميسيلولوز. في ٩٥٪ من إنتاج اللب العالمي، يتم تحقيق التفتيت في عملية تستخدم فيها الكبريتات من خلال الغليان مع محلول كبريتيد الصوديوم القلوي تحت الضغط المرتفع. ثم يتم غسل اللب، وتبييضه أيضًا في بعض الأحيان. إذا تم استخدام ألياف النفايات الورقية، فسيتم الاستغناء عن مرحلة التفتيت الكيميائي. يتم تفكيك النفايات الورقية بعد إزالة المكونات غير الورقية في الأسطوانات، ثم يتم فرز ألياف النفايات الورقية وتجزئتها. في إنتاج الأوراق الرسومية، تكون إزالة أحبار الطباعة ضرورية من خلال طرق التعويم ("إزالة الحبر") أو الغسيل ("إزالة الحبر" عن طريق الغسيل). في مصانع الورق، تتم معالجة المادة الليفية للورق والكرتون والورق المقوى، إذا لزم الأمر، مع إضافة حشوات أو غراء أو أصباغ. يتم إنتاج مسارات الورق عن طريق تصريف الماء من النسيج الورقي في مصافي ماكينات الورق، والمكابس والمجففات الحرارية [١٧٣، ١٧٤].

يعمل الماء كأهم أداة تذويب ونقل في إنتاج اللب والورق، ويستخدم أيضًا للتبريد والتنظيف وتوليد البخار. تعد أحدث التقنيات اليوم هي تدوير مياه المعالجة بأقصى قدرٍ ممكن - مع وجود نظام تنظيف لمياه التدوير أو بدونه- قبل التخلص منها. يتراوح الاستهلاك الفعال للمياه لعملية تصنيع الورق بالكامل بين ١٠٠٠-٢٠٠٠ متر مكعب لكل طن من الورق ويتأثر بشكل كبير بجودة المواد الخام ومتطلبات المنتج والشروط الحدية الفنية (مثل التآكل والتركيز والترسبات). بسبب تكرار التدوير، تتلوث مياه الصرف الناتجة عن تصنيع الورق بأحمال COD تزيد عن ١,٠٠٠-٢٠,٠٠٠ مجم/لتر وكميات عالية من المواد القابلة للترشيح (جدول ١). تعتبر مياه الصرف الناتجة عن إنتاج اللب مشكلة كبيرة، حيث تحمل حوالي ٥٠ ٪ من المخلفات الناتجة من عملية تفتيت اللب. لذلك فهي

| العملية | كثافة مياه الصرف [متر مكعب/طن] | COD [كجم/طن] | مواد قابلة للفلترة (AFS) [كجم/طن] | فوسفور [جرام/طن] | نيتروجين [جرام/طن] | AOX [كجم/طن] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| إنتاج اللب (عملية الكبريتات) | ٢٠–٩٠ | ٥–٣٠ | ٠,٢–٥ | ١٠–٤٠ | ٥٠–٥٠٠ | ٥٠–٢٠٠ |
| إنتاج اللب (عملية الكبريتيت) | ٢٠–٨٠ | ٢٠–٧٠ | ٠,٥–٦ | ١٠–٢٠٠ | ١٠٠–٢,٠٠٠ | ٠–٤٠٠ |
| إنتاج اللب (ميكانيكي) | ١٠–٢٠ | ١–١٥ | ٠,١–١ | ٢–١٠ | ٤٠–٢٠٠ | ٠–٥ |
| تجهيز الورق لإعادة التدوير | ١–٣٠ | ٠,٥–٤ | ٠,١–٢ | ١–٢٠ | ١٠–٢٠٠ | ٠,٣–١ |
| تصنيع الورق | ٣–٢٠ | ٠,٢–٢ | ٠,٠٢–١ | ٠–١٠ | ٠–١٠٠ | غير متوفر |
| تصنيع أوراق خاصة | ١٠–٥٠ | ٠,٥–٧ | ٠,١–٢ | ٠–٦٠ | ٠–٥٠٠ | غير متوفر |

جدول ١: التركيزات النموذجية للشوائب في مياه الصرف الناتجة من صناعة اللب والورق [١٧٩]، مزيد من المعلومات في [٢٢]

تختلف اختلافًا جوهريًا من حيث الكمية والتكوين عن مياه الصرف الناتجة عن تصنيع الورق. يعتبر محلول الغلي الناتج عن عملية التفتيت الكيميائي أكثر مياه العمليات تلوثًا وعادةً ما يتم تبخيره وحرقه. وبالإضافة إلى ذلك، يتم إنشاء مياه الصرف الملوثة عندما يتم تبييض الألياف وإزالة اللون منها [١٧٥، ١٧٦، ١٧٧].

# مجاري مياه الصرف وخصائصها

## إنتاج اللب

### محلول ومكثفات الغلي

تُعرف مياه العملية الناتجة عن التفتيت الكيميائي بمحلول الغلي (في عملية الكبريتات المنتشرة على نطاق واسع) أو حمض الغلي (في عملية الكبريتيت الأقل شيوعًا). عادةً ما يتم اليوم تكثيفها وحرقها في مصانع الاسترداد. تحتوي مكثفات التبخر على مكونات نباتية قابلة للذوبان بالإضافة إلى مواد دقيقة غير قابلة للذوبان والمواد المساعدة الكيميائية. وأكثر الملوثات إشكالية هي مركبات اللجنين ضعيفة التحلل البيولوجي، وكذلك المركبات العضوية الأخرى، مثل السكريات والأحماض الدهنية وأحماض الراتنج [٢٢، ١٧٤].

### تبييض مياه الصرف

يتم تبييض اللب تقليديًا من خلال استخدام الكلور الأولي أو مركبات الكلور. منتجات الأكسدة الناتجة عن هذه العملية، مثل الأحماض المكلورة والفينولات، شديدة السمية ومستديمة، ولهذا السبب يتم تجنب استخدام عنصر الكلور إلى حدٍ كبيرٍ اليوم. تتحسن المشكلة الرئيسية لمياه الصرف المبيضة - وهي السمية وانخفاض قابلية التحلل البيولوجي للمكونات - بشكلٍ كبير باستخدام عمليات خالية من الكلور الأولي وخالية تمامًا من الكلور. وفقًا لأحدث التقنيات اليوم، يُفضل استخدام ثاني أكسيد الكلور، وهيدروكبريتيت الصوديوم، والأوزون، وبيروكسيد الهيدروجين كعوامل تبييض. في عملية الاختزال باستخدام هيدروكبريتيت الصوديوم، لا تدخل أي مواد في المحلول، لذلك يعتبر المحلول خاليًا من مياه الصرف. من ناحية أخرى، يمكن أن ينتج التبييض بالأكسدة باستخدام بيروكسيد الهيدروجين منتجات أكسدة قابلة للذوبان يمكن العثور عليها في مياه الصرف [١٧٣، ١٧٤].

## تصنيع الورق

عادةً ما تكون مياه الصرف الناتجة عن إنتاج الورق قليلة التركيز وغير سامَّة. يرجع انخفاض مستوى التلوث إلى أن المواد الخام المستخدمة غير قابلة للذوبان في الماء ولا يتم استخدام سوى كمية صغيرة من المواد المساعدة القابلة للذوبان في الماء. أهم الملوثات هي مخلفات لب الورق أو لب الخشب أو النفايات الورقية التي لا يتم الاحتفاظ بها في مصافي ماكينات الورق، على سبيل المثال المواد التي يمكن ترشيحها و COD (يصعب تحلل بعضها). تتكون المادة العضوية في مياه الصرف من ٣٠-٦٠٪ كربوهيدرات، بالإضافة إلى مركبات اللجنين ومنتجات التحلل. نسبة $BOD_5$: تتراوح قيمة COD في مياه صرف مصنع الورق غير المعالجة عادةً من ٠,٣ إلى ٠,٦ مع كون ٠,٥ هي القيمة النموذجية. في بعض الأحيان قد يمثل وجود مواد مساعدة نشطة للإنتاج السطحي (مثل مزيلات الرغوة ومزيل الغازات من المواد) مشكلة يمكن أن تؤثر على معالجة مياه الصرف الصحي أو تسبب لها اختلالًا [٢٢].

# طريقة المعالجة

## اختيار الطريقة ومراحلها

يتمثل الهدف الأساسي لمعالجة مياه الصرف في صناعة اللب والورق في إزالة المواد الصلبة والأحمال العضوية. تتكون المعالجة النموذجية من معالجة مسبقة ميكانيكية - بشكل أساسي لفصل المواد الصلبة - ومرحلة بيولوجية. تُستخدم العمليات الفيزيائية والكيميائية عندما تحتوي مياه الصرف ضعيفة التحلل البيولوجي، أو عندما يجب ضمان تقليل COD بشكل أفضل أو احتجاز المواد الصلبة على نطاق أوسع.

## التنظيف الأوَّلي

في حالة حدوث تدفقات لمياه الصرف على فترات غير منتظمة، يتم توصيل خزانات الموازنة ذات الأبعاد المناسبة في الجزء العلوي من وحدة معالجة مياه الصرف. يتم استخدام التنظيف الأوَّلي الميكانيكي بشكل أساسي لفصل المواد الصلبة، وخاصةً ألياف السليلوز، عن تدفقات المعالجة ومياه الصرف. عادةً ما يتم استخدام العمليات التالية، غالبًا مع إضافة المواد الندفية:

- الترسيب
- التعويم، وعادةً ما يتم تحرير الضغط عن طريق التعويم
- الترشيح، وعادةً ما تكون مرشحات قرصية

نظرًا لأن المواد العالقة صغيرة نسبيًا وعبارة عن جزيئات خفيفة، يتم عادةً تعيين حد أعلى يبلغ ١-١,٥ متر مكعب/ساعة للتحميل السطحي للترسيب. ينتج عن هذا فترات مكوث طويلة، ومع درجات حرارة مرتفعة، يكون هناك خطر التحلل اللاهوائي في حوض الترسيب [٢٢، ١٧٩]. في حالة التدفقات الفردية للمواد، مثل الماء المتكثف من عملية الكبريتيت، فإن معالجة التدفق الجزئي الإضافية ضرورية قبل إدخالها في وحدة معالجة مياه الصرف.

## التنظيف البيولوجي

غالبًا ما تحتوي مياه الصرف لمصنع اللب والورق على تركيبة غذائية أحادية الجانب - مع المركبات القابلة للتحلل فإنها تتكون أساسًا من الكربوهيدرات، بينما تكون تركيزات كل من النيتروجين (N) والفوسفور (P) منخفضة. لهذا السبب، غالبًا ما يكون من الضروري معايرة جرعة العناصر الغذائية بالشكل المناسب لتحقيق نسبة $BOD_5$: N : P من حوالي ١ : ٥ : ١٠٠. بالإضافة إلى نقص العناصر الغذائية، يمكن أن تتمثل المشكلة الرئيسية في المعالجة البيولوجية في عدم كفاية التحلل الميكروبيولوجي لمكونات مياه الصرف الفردية، فعلى سبيل المثال، يشكل اللجنين حوالي ٥٠ ٪ من مواد السليلوز المصاحبة في الخشب ولا يتم استقلابه إلا ببطءٍ شديد بواسطة الكائنات الحية الدقيقة.

يمكن استخدام العمليات الهوائية واللاهوائية بشكلٍ عام للمعالجة. العملية الهوائية الأكثر استخدامًا هي عملية الحمأة المنشطة أحادية أو متعددة المراحل، والتي يتم تصميمها أحيانًا أيضًا كمفاعل حيوي غشائي لتحسين احتجاز المواد الصلبة. ولكن يتم أيضًا استخدام أنظمة الأغشية الحيوية الرقيقة، مثل المرشحات الحيوية المغمورة أو المرشحات المتقطرة. يتم استخدام المفاعلات اللاهوائية بشكل متزايد لمعالجة مياه الصرف الناتجة من تصنيع الورق على أساس النفايات الورقية بسبب الأحمال العالية المحددة لـ COD. وعادةً ما يتم تنفيذ التنظيف اللاهوائي في مفاعلات UASB (طبقة ندفات لاهوائية ذات تدفق صاعد "Upflow anaerobic sludge blanket") أو مفاعلات EGSB (مرشح بالندفات الحبيبية الممتدة "Expanded granular sludge blanket") ذات الأحمال الكبيرة من COD [١٧٣، ١٨٠]. يمكن استخدام الغاز الحيوي الذي تم الحصول عليه لتوليد الكهرباء.

## تدابير الإنتاج المتكاملة

في كلٍ من إنتاج اللب والورق، تتوفر إجراءات داخلية لتقليل كمية مياه الصرف والانبعاثات بشكلٍ كبير. يمكن اعتبارها شرطًا مسبقًا للتدابير التالية لإزالة تلوث مياه الصرف المتبقية إلى حدٍ كبير. من خلال تدابير الإنتاج المتكاملة، يمكن تقليل استهلاك المياه في إنتاج الورق بشكلٍ كبير، على سبيل المثال، من ١٠٠ متر مكعب إلى أقل من ١٠ متر مكعب لكل طن من الورق. خاصةً في مصانع معالجة النفايات الورقية ذات الأحمال العالية للغاية من COD في مياه العملية، يمكن تضييق دورات المياه بشكل معقول بهذه الطريقة حتى تصل إلى تشغيل الطرح منعدم السوائل لمياه الصرف (ZLD). ويزداد تركيز الملوثات بشكلٍ كبير مع زيادة معدل إعادة استخدام المياه، وبالتالي يمكن تقليل حمل التلوث الكلي [٢٢]. في إنتاج اللب والورق، هناك عدد كبير من التحسينات المتكاملة المعمول بها للإنتاج على أحدث طراز [٢٢]، والتي يجب دائمًا مراجعتها قبل معالجة مياه الصرف بالكامل. □

# ٩ مقالب القمامة

## المعلومات الخاصة بالبلد

### الهند

شكّل النمو السكاني المرتفع والتمدن السريع تحديًّا كبيرًا لصناعة إدارة النفايات الهندية في العقود الأخيرة. حيث يعيش ٣٧٧ مليون من سكان البلاد البالغ عددهم ١,٣٣٤ مليار نسمة في مناطق حضرية وينتجون ٦٢ مليون طن من النفايات البلدية كل عام [١٨١]. تزداد كمية النفايات سنويًا بحوالي ٥٪. تتكون كمية كبيرة للغاية من النفايات البلدية في المناطق المكتظة بالسكان في الهند، مثل ماهاراشترا وأوتار براديش وتاميل نادو والبنغال الغربية. تشير التقديرات إلى أن حوالي ٤٠٪ من النفايات تتكون من مواد قابلة للاستخدام بيولوجيًّا و٢٠٪ من المواد القابلة لإعادة التدوير [١٨٢]. تأتي النفايات العضوية في الغالب من المنازل الخاصة، حيث يتزايد أيضًا استهلاك البضائع المعبأة وتزداد نسبة النفايات البلاستيكية والورقية والزجاجية والمعدنية. تلعب أيضًا حوالي ٥ ملايين طن من النفايات الإلكترونية التي يتم التخلص منها في الهند كل عام دورًا مهمًّا، وكذلك أنقاض البناء، والتي تمثل ما يصل إلى ٣٠٪ من إجمالي كمية النفايات المتولدة وفقًا للتقديرات [١٨١، ١٨٢، ١٨٣].

تنظيم إدارة النفايات في الهند من اختصاص السلطات المحلية. وتنطبق عليها قواعد التخلص من النفايات ومعالجتها الصادرة من وزارة البيئة والتي تم تعديلها آخر مرة في عام ٢٠١٦. ومع ذلك، تواجه العديد من البلديات صعوبات مالية في الحفاظ على نظام فعال لإدارة النفايات. يتم تخصيص ٩٠٪ من التكاليف لجمع ونقل النفايات، وبالتالي لا يكاد يكون هناك أي ميزانية متبقية للمعالجة المناسبة أو دفن النفايات. في الواقع العملي اليوم، يتم جمع ٧٠٪ من جميع النفايات البلدية والتخلص من معظمها في مدافن القمامة أو مقالب القمامة (مرة أخرى أكثر من ٧٠٪). تتم معالجة ٢٨٪ من النفايات المجمعة، في حين أن حرق النفايات أو تحويلها إلى سماد نادراً ما يتم (شكل ١) [١٨٢، ١٨٤]. كما أن شركات إدارة النفايات الخاصة الدولية مثل Veolia و SUEZ في الهند تزداد رغبتها في المشاركة في تشغيل مدافن النفايات ومحطات إعادة التدوير [١٨٥، ١٨٦].

عادةً ما يتم إلقاء النفايات في مقالب بسيطة، أي بدون أنظمة مانعة للتسرب أو أنظمة للهواء العادم أو معالجة لمياه الصرف. توجد مقالب نفايات كبيرة في تشيناي وكويمباتور وسورات على سبيل المثال، حيث تزداد المساحات المطلوبة لها بسرعة كبيرة في جميع أنحاء البلاد (بحوالي ١٢٤٠ هكتارًا سنويًّا). من أجل الحد من كمية النفايات المطمورة، يجب جمع كل من مواد التعبئة والتغليف القابلة لإعادة التدوير والنفايات المنزلية القابلة للاستخدام بيولوجيًّا ومعالجتها بشكل منفصل منذ عام ٢٠١٦. وجديرُ بالذكر أن استيراد النفايات البلاستيكية انخفض بسبب الحظر منذ عام ٢٠١٧ حتى لا يتم تجاوز قدرات إعادة التدوير الوطنية [١٨٧]. لأسباب بيئية ولأن العديد من المكبات الحالية وصلت بالفعل إلى حدود سعتها القصوى، فإن إنشاء مقالب نفايات منظمة يكتسب أهمية في الوقت الحالي. تم إنشاء أكثر من ٤٠٠ مكب نفايات جديد منظم في الهند منذ عام ٢٠١٣ [١٨٢].

### منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

تتراوح كمية النفايات الناتجة في معظم بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا بين ٢٠٠-٣٠٠ كيلوجرام لكل فرد سنويًّا، مع بعض الاختلافات المهمة بين المناطق الحضرية المكتظة بالسكان (نفايات كثيرة) والمناطق الريفية (نفايات أقل). لتكوين النفايات البلدية أيضًا صورة موحدة إلى حدٍ كبير: نفايات المطابخ العضوية والنفايات الزراعية تشكل النصيب الأكبر (حوالي ٥٠-٧٠٪)، يليها البلاستيك والورق. وبالمقارنة، تنتج تونس والمغرب نفايات قابلة للاستخدام بيولوجيًّا أكثر بقليل ومواد تعبئة وتغليف أقل من مصر والأردن. اعتمادًا على البلد، يمكن إضافة المزيد من مجاري النفايات الصناعية. ويتم التخلص من ٦,٥ مليون طن من النفايات الصناعية في مصر كل عام، وفي تونس ٥,٣ مليون طن، معظمها من جبس الفوسفور. في الأردن ودول أخرى في المنطقة، يلعب التخلص من الإطارات المستعملة (٢,٥ مليون طن سنويًّا في الأردن) دورًا مهمًّا أيضًا [١٨٨، ١٨٩، ١٩٠، ١٩١].

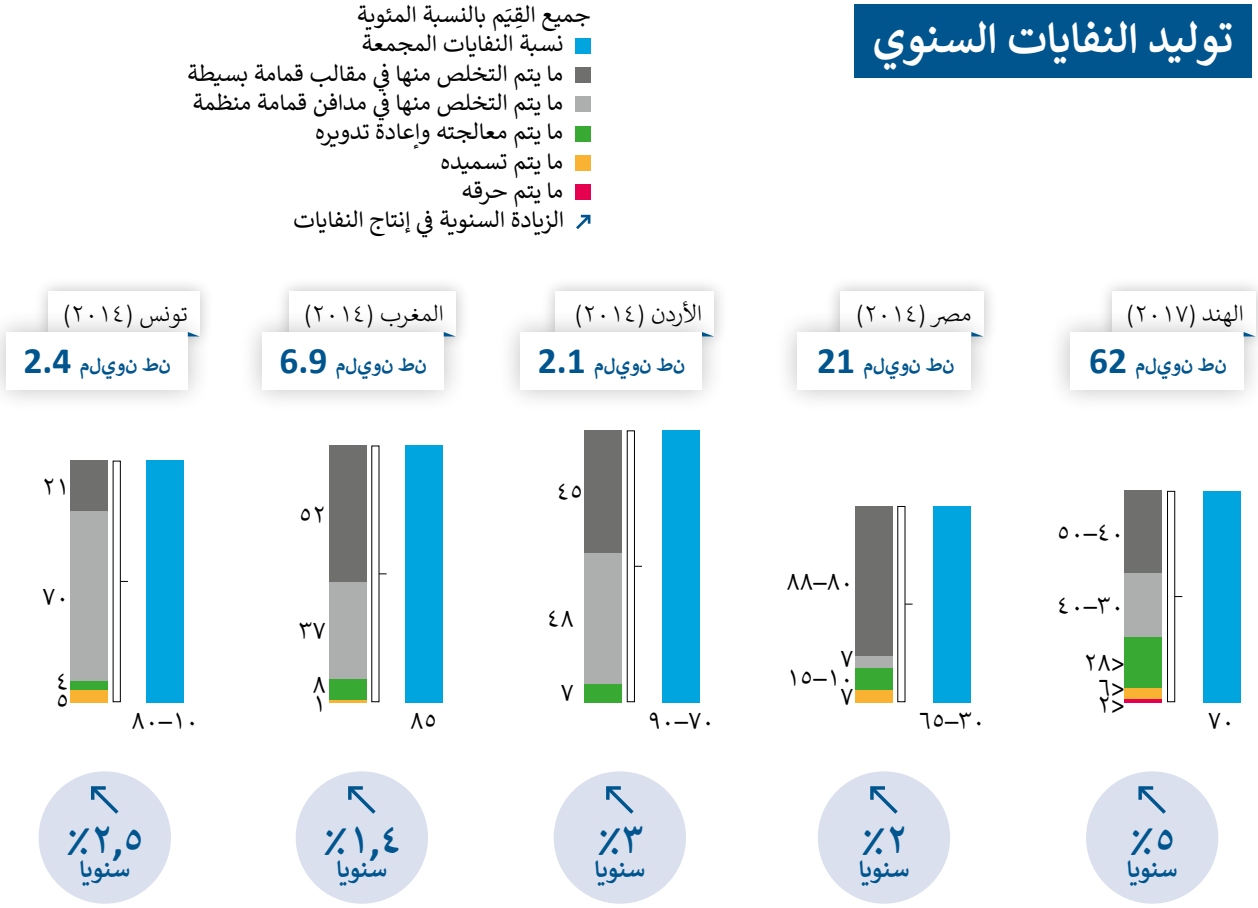
تختلف أولويات إدارة النفايات السياسية والمالية بشدة في بلدان مختلفة في المنطقة. ويمكن اعتبار المغرب رائدة في ذلك، حيث أدى تنفيذ سلسلة من برامج حماية البيئة وإدارة النفايات إلى زيادة نسبة النفايات المجمعة من ٤٤٪ إلى أكثر من ٨٥٪ منذ عام ٢٠٠٨. [١٨٩]. في المقابل، يتم جمع ١٠-٨٠٪ فقط من النفايات في تونس، ونسبة ٣٠-٦٥٪ فقط في مصر، مع وجود اختلافات قوية بين المناطق الريفية (نسبة منخفضة) والمدن (نسبة أعلى من النفايات المجمعة) [١٨٨، ١٩٠]. ويتم طمر غالبية النفايات التي تم جمعها، إما في مقالب قمامة بسيطة أو في مدافن قمامة منظمة مع تدابير حماية البيئة المناسبة (شكل ١). يكاد يكون التسميد أو إعادة التدوير يكاد يكونون غير منتشرين بسبب عدم فصل النفايات.

في تونس، يتم التخلص من النفايات من قبل الشركات الخاصة التي تقوم بالتخلص من النفايات بالتنسيق مع السلطات البيئية المسؤولة. حيث يتم التخلص من ٧٠٪ من النفايات المجمعة في مدافن قمامة منظمة بسعة سنوية تقارب ٢ مليون طن [١٩٢]. ويتم التخلص من النفايات الأردنية من قبل شركات التشغيل الإقليمية في حوالي ٢٥ مكب نفايات في البلاد، معظمها عبارة عن مكبات نفايات بسيطة. يتم إرسال ٥٠٪ من النفايات إلى مكب النفايات الخاضع للرقابة في الجباوي في منطقة عمان الكبرى، والتي تعد إلى حدٍ بعيد الأكبر والأحدث في البلاد [١٩٣]. بحلول عام ٢٠٢٥، من المفترض أن تقلل التدابير السياسية بشكلٍ كبير من كمية النفايات المطمورة، ولا سيما نسبة المواد القابلة لإعادة التدوير بيولوجيًا [١٩٤]. في المغرب في عام ٢٠١٤، تم التخلص من أكثر من ٥٠٪ من النفايات المجمعة في مكبات نفايات بسيطة. ومع ذلك، يمكن افتراض أن هذه الحصة قد انخفضت منذ ذلك الحين بسبب إنشاء أكثر من ٦٠ مكب نفايات منظمًا، يتم تشغيل معظمها بموجب عقود التشييد والتشغيل ونقل الملكية* . يتم تشغيل أكبر مكب نفايات في البلاد في أم عزة من قبل شركة Teodem، وهي شركة محلية تابعة لشركة Pizzorno Environment الفرنسية. كما تنشط الشركتان الكبيرتان Veolia و SUEZ في المغرب وتونس الناطقتان بالفرنسية، في بعض المناطق من خلال الشركات التابعة. يوجد في مصر عدد قليل من مكبات النفايات المنظمة قيد التشغيل ويتم التخلص من أكثر من ٨٠٪ من النفايات المجمعة في مقالب قمامة بسيطة [١٨٨، ١٨٩، ١٩٠، ١٩١].

## قطاع الصناعة وإنتاج مياه الصرف

مع درجة التحول للتصنيع، يتزايد حجم إنتاج النفايات بسرعة في جميع أنحاء العالم - وفقًا للتقديرات، تم إنشاء ما مجموعه ٧-١٠ مليار طن من النفايات في عام ٢٠١٥ [١٩٥]. وبالإضافة إلى النفايات المنزلية، تشمل النفايات أيضًا مجاري النفايات من الصناعة والزراعة والمستشفيات. واعتمادًا على المنطقة، تتكون النفايات المنزلية بنسب مختلفة، بشكل أساسي من مواد قابلة للاستخدام بيولوجيًّا (نفايات المطابخ والحدائق)، ومواد التعبئة والتغليف (الورق، والزجاج، والبلاستيك)، والخ ردة الإلكترونية والنفايات الضخمة. النفايات الصناعية هي، على سبيل المثال، نفايات الإنتاج أو نفايات البناء أو نفايات المجازر. يمكن أن تحتوي النفايات المنزلية والصناعية في بعض الأحيان على ملوثات، مثل المواد التي تحتوي على الأسبستوس أو القطران أو البيتومين أو المواد

* البناء والتشغيل ونقل الملكية، أي نقل حق ملكية النظام إلى العميل قبل نهاية فترة الامتياز




شكل ١: عرض مقارن لتوليد النفايات السنوي وطرق التخلص النموذجية للنفايات المجمعة في خمسة بلدان على سبيل المثال [١٨١، ١٨٤، ١٨٨، ١٨٩، ١٩٠، ١٩١]

الكيميائية السامة الحيوية أو الملوثات المسببة للأمراض.

في العديد من البلدان الصناعية اليوم، انتشر على نطاق واسع استعادة المواد القابلة لإعادة التدوير (مثل الورق والزجاج والبلاستيك والمعادن) وتحويل النفايات القابلة للاستخدام بيولوجيًا إلى سماد. على الصعيد العالمي، لا يزال طمر النفايات أهم طرق التخلص من النفايات. يمكن أن يؤدي التخلص غير السليم من النفايات إلى تلوث بيئي بسبب عمليات التحلل البيولوجي والكيميائي-الفيزيائي غير الخاضعة للرقابة – تشكِّل غازات طمر النفايات (خاصةً ثاني أكسيد الكربون CO ٢ والميثان) وتكوُّن مياه الرشح في مدافن النفايات مشكلة. يمكن التقليل من الآثار البيئية من خلال إنشاء مدافن نفايات منظمة، حيث يتم تقليل الاتصال بين النفايات والوسائط البيئية قدر الإمكان. ويتم الحرص هنا، على سبيل المثال، على اختيار أرضية موقع غير منفذة من الناحية الجيولوجية، بالإضافة إلى تجنب تسرب مياه الرشح من خلال الحواجز التقنية. تستخدم الأغشية أو المواد المانعة للتسرب لإحكام المكب ضد التسريب، وأي تسرب للمياه يتم تجميعه وتصريفه ومعالجته في قاع المكب [١٩٦].

## مجاري مياه الصرف وخصائصها

### مياه الرشح في مدافن النفايات

تخرج مياه الصرف التي تحتاج إلى معالجة في مدافن النفايات المنظمة على شكل مياه رشح مدافن النفايات. معظم هذه المياه عبارة عن مياه الأمطار التي تدخل مكب

النفايات وتتسرب من خلاله، وعند ملامستها للنفايات تتراكم مع الملوثات. كما ينتُج الماء في مدافن النفايات كمنتج تفاعل عندما تتحلل المواد المحتوية على الكربون إلى ميثان وثاني أكسيد الكربون ٢ CO ومنتجات ثانوية عضوية. يمكن أن تدخل مياه الرشح نفسها أيضًا في تفاعل كيميائي مع مواد لا يمكن تحللها بطريقة أخرى، مثل الرماد والمواد التي تحتوي على الأسمنت أو الجبس.

وبالإضافة إلى المواد الصلبة، تحتوي مياه رشح مدافن النفايات عادةً على مجموعة من الشوائب العضوية وغير العضوية الذائبة (جدول ١). المواد العضوية الموجودة هي بشكل أساسي الكحوليات والأحماض والألدهيدات والسكريات والمواد الدبالية. وبالإضافة إلى ذلك، هناك مركبات غير عضوية (مثل الكبريتات والكلوريدات والأمونيوم والحديد والألومنيوم ومركبات الزنك) والمعادن الثقيلة (مثل الرصاص والنيكل والنحاس والزئبق). وبالإضافة إلى ذلك، يتم ترشيح مواد المبيدات الحيوية مثل الهيدروكربونات العطرية والهالوجينية والفينولات والفثالات والسلفونات العطرية أو الفوسفونات من الكثير من النفايات [١٩٧، ١٩٨].

لا يعتمد التركيب المحدد لمياه الرشح على نوع النفايات المطمورة فحسب، بل يعتمد أيضًا على عمر المكب. وتمر عمليات التحلل في المكب بعدة مراحل زمنية من بداية عملية الكب إلى الاستقرار، والتي يمكن تلخيصها على النحو التالي [١٩٦، ١٩٩]:

- الأكسدة

مرحلة قصيرة بعد الترسيب مباشرةً، حيث تتفكك المادة العضوية مع الأكسجين المتاح، مصحوبة بتكون ثاني أكسيد الكربون ٢ CO وزيادة طفيفة في درجة حرارة مكب النفايات.

- التخمر الحمضي

إذا تم استخدام مخزون الأكسجين، فإن التخمير اللاهوائي يبدأ بتكوين الحمض وزيادة أخرى في درجة حرارة مكب النفايات.

- تخمر الميثان

يتكون الميثان من الأحماض العضوية مما يؤدي إلى ارتفاع قيمة الأس الهيدروجيني وصولًا إلى استقرار مكب النفايات.

## ماء رشح التخمر الحمضي

يستمر التخمر الحمضي لعدة أشهر ويتميز بعمليات التخمير في غياب الأكسجين. في البداية، تتشكل الأحماض الدهنية المتطايرة، والتي يمكن أن تمثل ما يصل إلى ٩٥٪ من المواد العضوية الذائبة. وبالمقارنة، فإن ماء الرشح يحتوي على كميات صغيرة من المركبات عالية الوزن الجزيئي. في هذه المرحلة، يكون لمياه الصرف حمولة عضوية عالية للغاية، أي قيم $BOD_5$ و COD مرتفعة، والتي عادةً ما تكون في نسبة $BOD_5$: COD <٠,٥. يتسبب تكوين الحمض في انخفاض قيمة الأس الهيدروجيني في مياه الرشح لتتراوح بين ٥,٥ إلى ٦,١. في ظل هذه الظروف الكيميائية، تتحلل أيونات المعادن بشكل متزايد ويمكن أن تلوث مياه الصرف أيضًا [١٩٨، ٢٠١].

## ماء الرشح الناتج عن تخمر الميثان

بعد عام على أبعد تقدير، يبدأ تخمر الميثان اللاهوائي، والذي يمكن أن يستمر لأكثر من ٢٠ عامًا. تتميز هذه المرحلة بزيادة نشاط البكتيريا المولدة للميثان، والتي تشكل الميثان وثاني أكسيد الكربون ٢ CO من الأحماض العضوية. نتيجة للتحلل الحمضي، ترتفع قيمة الأس الهيدروجيني لمياه الرشح إلى ٨,٠-٨,٥، وبالتالي ينخفض تركيز المعادن الذائبة في الماء. تكون مياه الرشح أقل تلوثًا بالمكونات العضوية القابلة للتحلل بسهولة، مثل الكحوليات أو الأحماض المتطايرة أو الأمينات. في الوقت نفسه، تزداد نسبة الوزن الجزيئي المرتفع والأجزاء سيئة القابلية للتحلل، مثل الأحماض الدبالية أو الأحماض الفولفينية. يتم التعبير عن ذلك أيضًا بنسب $BOD_5$ النموذجية: COD >٠,١، والتي تجعل المعالجة البيولوجية لمياه الصرف أمرًا مُعقدًا [١٩٩، ٢٠١].

| المعلمة | التركيز | الوحدة |
|---|---|---|
| الأس الهيدروجيني | ٤,٥–٩ | - |
| القدرة على التوصيل | ٢,٥٠٠–٣٥,٠٠٠ | ميكرو سيمنز/سم |
| مواد صلبة | ٢,٠٠٠–٦٠,٠٠٠ | مجم/لتر |
| $BOD_5$ | ٢٠–٥٧,٠٠٠ | مجم/لتر |
| COD | ١٤٠–١٥٢,٠٠٠ | مجم/لتر |
| نيتروجين كلي | ١٤–٢,٥٠٠ | مجم/لتر |
| نيتروجين الأمونيوم | ٥٠–٢,٢٠٠ | مجم/لتر |
| فوسفور | ٠,١–٢٣ | مجم/لتر |
| كلوريد | ١٥٠–٤,٥٠٠ | مجم/لتر |

جدول ١: التركيزات النموذجية لمياه رشح مدافن النفايات [٢٠٠]

# طريقة المعالجة

## اختيار الطريقة ومراحلها

لا يزال مفهوم المعالجة المنهجية لمياه الصرف في إدارة النفايات حديثًا مقارنةً بفروع الصناعة الأخرى ولا يزال في مهده في العديد من مناطق العالم. يكمن أحد التحديات في التركيبة غير المتجانسة والمتغيرة وغير المعروفة في كثير من الأحيان لمياه الرشح التي تتسرب، اعتمادًا على نوع النفايات المطمورة وعمليات التحلل التي تحدث. نظرًا لأنه يجب إدارة مدافن النفايات لمدة ٣٠-٥٠ عامًا على الأقل، يجب أيضًا ضمان التشغيل الموثوق والقوي لمعالجة مياه الصرف على مدى فترات زمنية طويلة نسبيًا. قبل تصريف مياه الصرف في نظام الصرف العام أو في المياه السطحية القريبة، يجب إجراء مهام الفصل التالية جزئيًا على الأقل:

- احتجاز المواد الصلبة
- التحييد، عند الحاجة
- إزالة الأملاح والمغذيات والمعادن الذائبة
- فصل مواد المبيدات الحيوية، بشكل جزئي في نطاق التركيز المنخفض

عادةً ما تكون مياه رشح مدافن النفايات الناتجة عن التخمر الحمضي قابلة للتحلل البيولوجي بسهولة نظرًا لارتفاع نسبة $COD:BOD_5$. لذلك، يمكن تنقيتها إلى حدٍ كبير في الحمأة المنشطة التقليدية أو في عملية الترشيح الحبيبي. ومع ذلك، أثناء تخمر الميثان، تقل قابلية التحلل البيولوجي لمياه الرشح بشكلٍ كبير. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تحتوي مياه الصرف على مواد مستديمة أو سامَّة يتم تصريفها مباشرةً من النفايات المطمورة. في كلتا الحالتين، لا تكون التنقية البيولوجية كافية ويجب استخدام العمليات الفيزيائية-الكيميائية (بشكل تكميلي). الطرق الأكثر شيوعًا لهذا هي ما يلي [١٩٧، ٢٠١]:

- الترسيب
- التخثر والتنديف
- الامتزاز
- عملية الأكسدة
- الترشيح الغشائي

## مزيد من العمليات المركبة

من أجل الوفاء بمتطلبات التركيبة المعقدة للمياه نوعًا ما ولضمان نظام موثوق متعدد الحواجز، غالبًا ما يتم الجمع بين عمليات المعالجة الفيزيائية-الكيميائية المعروفة مع بعضها البعض لمعالجة ماء الرشح. عمليات الامتزاز على الكربون النشط، قوية نوعًا ما في التشغيل وقد أظهرت التجربة أنه يمكن إقرانها جيدًا بعمليات التنظيف البيولوجي. حيث يمكن حقن مسحوق الكربون المنشط مباشرةً في البيولوجيا، ويمكن تنقية العملية البيولوجية باستخدام الفحم الحبيبي، أو يمكن استخدام الفحم الحبيبي نفسه كمادة حاملة من أجل التنظيف البيولوجي [٢٠٢، ٢٠٣].

تعد عمليات الأغشية مناسبة أيضًا كمرحلة ما بعد المعالجة بعد التنظيف البيولوجي. تُستخدم أغشية الترشيح الفائق عادةً في المفاعلات الحيوية الغشائية (MBR) لاحتجاز المواد الصلبة. يمكن أيضًا مواصلة تنقية عملية البيولوجيا أو استخدام المفاعلات الحيوية الغشائية، على سبيل المثال، عن طريق التناضح العكسي، في حالة إزالة المواد المستديمة [٢٠٤، ٢٠٥]. ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أن تيار التدفق المركز تتم معالجته ولا يتم إرجاعه مباشرةً إلى جسم المكب. يمكن أن يكون الجمع بين عمليات التخثر والترشيح النانوي مفيدًا أيضًا من أجل تحقيق جودة تصريف عالية وفي نفس الوقت تقليل مشاكل الأوساخ في مرحلة الغشاء [٢٠٦، ٢٠٧].

وبالإضافة إلى استخدام الأوزون التقليدي لمياه الصرف، فإن عمليات الأكسدة المتقدمة ومجموعاتها تكتسب أيضًا قوة في بعض التطبيقات. يمكن استغلال قابلية التحلل البيولوجي لمكونات مياه الصرف، والتي غالبًا ما يتم تحسينها عن طريق الأكسدة، عن طريق إضافة عملية الأكسدة قبل مرحلة التنقية البيولوجية. ومع ذلك، يمكن أيضًا في كثيرٍ من الأحيان اتباع نهج عكسي، أي المعالجة اللاحقة لمياه الصرف المعالجة بيولوجيًا، على سبيل المثال، عن طريق استخدام الأوزون أو الفنتون لتفكيك المواد المستديمة [٢٠٨، ٢٠٩]. يمكن أن يؤدي اقتران عمليات التخثر والأكسدة (غالبًا فنتون)، خاصةً عند قيم الأس الهيدروجيني المنخفضة، إلى تحقيق تآزر جيد فيما يتعلق بأداء التنظيف [٢١٠، ٢١١]. □

دراسة الحالة: **مكب النفايات في المغرب**

# معالجة ماء الرشح البيولوجي - مركز معالجة النفايات في أم عزة

## الخلفية

تدير شركة TEODEM، وهي شركة تابعة لمجموعة Groupe Pizzorno Environnement، أكبر مركز لإعادة تدوير النفايات في شمال إفريقيا في أم عزة بالمغرب. يجمع المصنع حوالي ٨٥٠ ألف طن من النفايات سنويًا من ثلاث عشرة بلدية في منطقة الرباط-سلا-الصخيرات.

## تحدي خاص/طرح خاص للمشكلة

ع إدخال مفهوم حديث لإدارة النفايات، تم اتخاذ خطوات مهمة لحماية الأشخاص والبيئة في هذه المنطقة. حيث يتم جمع النفايات وتوجيهها بشكل خاص لاستعادة المواد والطاقة. وهناك أهمية خاصة لمعالجة مياه رشح مدافن النفايات، والتي تنشأ عندما يتم تخزين النفايات، في المقام الأول من خلال تسرب مياه الأمطار والرطوبة الخاصة بالنفايات. إذا دخلت مياه الرشح إلى مجاري المياه دون معالجة، فإنها تشكل تهديدًا على البيئة.

في أم عزة، يترشح ما يقرب من ٢٨٠ إلى ٣٠٠ متر مكعب من المياه يوميًا، والتي يجب تنظيفها بشكلٍ موثوق. تتكون محطة معالجة مياه الرشح في أم عزة من شبكات، وبركة جيدة التهوية، وبركة ترسيب منزوعة الأكسجين، ونظام تناضح عكسي لاحق.

## نهج الحل

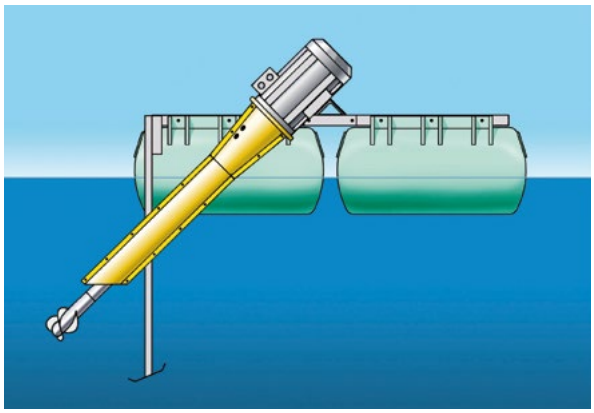
يمكن اعتبار معالجة ماء الرشح البيولوجي بمثابة عملية إزالة تقنية فعالة وقوية، إذا تم ضمان تشغيل المحطة بشكل موثوق من خلال المراقبة المستمرة لجودة المدخل والتصريف. تم استخدام أجهزة التهوية السطحية (ثلاثة أجهزة تهوية، كل منها بقدرة ٧٥,٠

الشكل ١: التجهيز بأجهزة تهوية OxyStar في محطة معالجة مياه الرشح بأم عزة في المغرب

كيلو واط) في الأصل لتهوية البركة في أم عزة، والتي هي غير معتمدة بسبب عدم كفاية التهوية وقدرة الخلط وارتفاع تكلفة صيانتها واستهلاكها للطاقة. باستخدام نظام التهوية هذا، تم تحقيق خفض بنسبة ٤٠٪ تقريبًا من حمل $BOD_5$ اليومي بحوالي ٣,٠٠٠ كجم من ٥ BOD. وأدى تكون الهباء الجوي الكثيف من أجهزة التهوية السطحية إلى تأذٍ شديد من الرائحة الكريهة أيضًا. دفعت هذه المشكلات التشغيلية المشغل إلى استبدال نظام التهوية الحالي بأجهزة تهوية FUCHS OxyStar. تم تركيب أربعة أجهزة تهوية عائمة من نوع OxyStar بقدرة اسمية تبلغ ٢٢,٠ كيلو واط لكل منها (الشكل ١).

## النتائج

إن أجهزة التهوية الأربعة التي تبلغ قوتها الإجمالية ٨٨,٠ كيلو واط فقط كافية لجلب كل الأكسجين المطلوب دون تكوين الهباء الجوي وخلط محتويات البركة بشكلٍ فعال. تم تركيب أجهزة التهوية على عوامات قوية من أجل التكيف مع تقلب منسوب المياه (الشكل ٢). بعد وقتٍ قصير من بدء التشغيل، أكد مشغل المحطة حدوث انخفاض في حمل $BOD_5$ بنسبة ٧٠٪. يمكن تقليل استهلاك الطاقة بشكلٍ كبير (جدول ١).



شكل ٢: عرض تخطيطي لجهاز التهوية Oxystar

## مساهمة التقنية المقدَّمة

مقارنةً بالحل السابق، يتيح جهاز التهوية المقدم خلطًا موفرًا للطاقة لحوض المعالجة، مما يحسن أداء التنظيف (جدول ٢). بفضل المبدأ الوظيفي لجهاز التهوية ذاتي الشفط، لا يوجد أيضًا تكوين للهباء الجوي. يمكن إجراء التعديل التحديثي دون مقاطعة العمليات، ولا ضرورة لإفراغ الحوض. □

| إنشاء المحطة | - شبكات<br>- بركة جيدة التهوية<br>- بركة ترسيب<br>- تناضح عكسي |
|---|---|
| تدفق مياه الصرف | ٢٨٠ - ٣٠٠ متر مكعب/اليوم |
| حمل التلوث $BOD_5$ | ٣,٠٠٠ كجم/اليوم |
| حجم البركة جيدة التهوية | حوالي ٧,٠٠٠ متر مكعب |
| الحمولة الحجمية الناتجة | ٤٣٠ جم $BOD_5$ /متر مكعب/اليوم |
| تجهيزة تهوية مثبتة | ٤ أجهزة تهوية OxyStar على العوامات |
| القدرة الاسمية | ٢٢,٠ كيلو واط لكلٍ منها |
| إجمالي القدرة المثبَّتة | ٨٨,٠ كيلو واط |
| كثافة القدرة | حوالي ١٢,٥ واط/متر مكعب |
| مستوى تحلل $BOD_5$ | حوالي ٧٠ ٪ |
| توفير الطاقة مقارنةً بالمفهوم السابق | حوالي ٦٠ ٪ |

جدول ١: ملخص معالجة ماء الرشح بأم عزة في المغرب

# ١٠ المجمعات الصناعية

## المعلومات الخاصة بالبلد

### الهند

في الهند، تم تسريع وتيرة بناء المجمعات الصناعية وتوسيعها منذ العقد الأول من القرن الحادي والعشرين من أجل تحقيق التوازن مع القدرات الإنتاجية المتزايدة في البلاد. والسبب الرئيسي لذلك هو وجود نسبة عالية من الشركات الصغيرة والمتوسطة الحجم في الصناعات الكيميائية والمنسوجات والسيارات وتكنولوجيا المعلومات والإلكترونيات. لا يتم تسجيل عدد وتوزيع كافة المجمعات الصناعية مركزيًا على المستوى الوطني، ولكن وفقًا للتقديرات الحالية، يتم تشغيل معظم الحدائق في ولايات ماهاراشترا وكارناتاكا وراجستان وغوجارات (شكل ١) [٢١٢]

تشير التقديرات إلى أن حوالي ١٠-١٥ ٪ من المجمعات الصناعية الهندية بها محطة معالجة مياه صرف مشتركة، والتي تسمى عادةً محطة معالجة النفايات السائلة المشتركة [٢١٣] (CETP). في مراكز صناعة المدابغ والنسيج والصناعات الكيماوية والطلاء الكهربائي، فإن معدلات التغطية بهذه الأنظمة هي الأعلى مقارنةً بغيرها. تتراوح سعة المصنع النموذجية من أقل من ١,٠٠٠ متر مكعب/يوم إلى ٣٠,٠٠٠ متر مكعب/يوم [٣]. سيؤدي تزايد إنشاء المجمعات الصناعية والتوسع فيها في السنوات القادمة إلى زيادة عدد محطات معالجة مياه الصرف الصناعية.

كان هذا السوق يقتصر في السابق على الشركات الهندية، وهو الآن مفتوح أيضًا لمزودي التقنية الدوليين. حيث توفر الحكومة الهندية ما يصل إلى ٥٠ ٪ وحكومة الولاية المعنية نسبة إضافية تصل إلى ٢٥ ٪ من الأموال المخصصة للاستثمار لمثل هذه المصانع. تم وضع خطة التمويل الحكومية في البداية لمدة ٥ سنوات واكتملت في عام ٢٠١٨. ومع ذلك، هناك خطط جديدة لمواصلة التمويل. وموافقة السلطات التنظيمية الإقليمية المعنية مطلوبة لإنشاء وتشغيل محطات معالجة مياه الصرف المشتركة. ويمكن إلقاء نظرة عامة جيدة على استخدام CETP والخلفية القانونية والتقنيات المستخدمة في تقرير الشراكة البيئية الهندية الألمانية (Indo-German Environment Partnership) [٢١٤]. علاوةً على ذلك، يجب متابعة التنفيذ الصارم للوائح ذات الصلة بالبيئة من خلال إنشاء محاكم خاصة (Green Tribunal Courts) [٢١٥]. بسبب التغييرات التي طرأت على التشريعات والمسؤولية القانونية الهندية، أصبحت متطلبات الحماية البيئية التقنية في محطات معالجة مياه الصرف الصناعية أكثر صرامة. كما تم تغيير عقود صيانة المواقع من عام واحد بعد التشغيل إلى ١٥ عامًا، مما سيؤدي إلى زيادة الاهتمام، خاصةً في التقنيات طويلة الأمد.

### منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

في جميع بلدان منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، يتم حاليًا الترويج لبناء وتوسيع المجمعات الصناعية على وجه التحديد من أجل زيادة القدرة التنافسية الاقتصادية الوطنية، وخلق فرص العمل وتحسين كفاءة الإنتاج وحماية البيئة. يتم تنفيذ ذلك من خلال برامج سياسية هادفة - مثل "خطة التسريع الصناعي" في المغرب - والتي تنص على التخطيط الوطني والدعم المالي لبناء مجمعات صناعية. وفي مصر، على سبيل المثال، هناك ١٣ منطقة صناعية جديدة قيد الإنشاء، وفي المغرب تم طرح ثلاث مناطق صناعية أخرى للتخطيط والتنفيذ في بداية عام ٢٠٢٠. يتم منح معظم المشاريع في الوقت الحاضر على شكل عقود "شراكة بين القطاعين العام والخاص" [٢١٦].

في مصر والمغرب، يتم التخطيط للمزيد والمزيد من "المجمعات الصناعية البيئية"، والتي من المفترض أن تقدم ليس فقط قيمة اقتصادية ولكن بيئية أيضًا، وذلك من خلال الاستخدام المستهدف للتآزر. في هذه المجمعات، يتم تنظيم إتاحة الطاقة والمياه وكذلك التخلص من النفايات ومياه الصرف بشكل مركزي وبالتالي تحسينها. كما يتم تحديث المجمعات الصناعية الحالية بالبنية التحتية المناسبة من أجل تلبية متطلبات حماية

البيئة الأكثر صرامة [٢١٧، ٢١٨]. في تونس، تبدو الحاجة إلى تعديل أنظمة معالجة مياه الصرف ملحة بشكلٍ خاص – في عام ٢٠١٤، تم توصيل حوالي ٢٥٪ فقط من المجمعات الصناعية هناك بنظام صرف صحي [٢١٩].

# البنية التحتية وإدارة مياه الصرف

تُعرف المجمعات الصناعية بأنها مواقع صناعية محددة تعمل فيها العديد من شركات التصنيع المستقلة. في حين أن هذا المفهوم قد تم استخدامه في الصناعة الكيميائية لعدة عقود، إلا أن الشركات من مختلف فروع الصناعة يتم تنظيمها الآن في كثيرٍ من الأحيان في مجمعاتٍ صناعية. وميزة المجمعات الصناعية هي أن الشركات الموجودة هناك يمكن ربطها ببعضها البعض من خلال سلاسل القيمة المشتركة ويمكنها التعامل مع بنية تحتية مشتركة للموقع. حيث يتم توفير ذلك عادةً من قبل شركة تشغيل غالبًا ما تكون أيضًا مالكة للمجمع الصناعي. تشتمل خدمات الشركة المشغلة عادةً على ما يلي:

- التنقل والبنية التحتية
- الربط بالطرق والسكك الحديدية و/أو الموانئ التجارية، بالإضافة إلى التنقل في الموقع
- الطاقة ووسائل الإعلام
- الطاقة الأولية (مثل الغاز الطبيعي)، وأيضًا الوسائط الأخرى مثل الغازات التقنية والمياه بمستويات جودة مختلفة والبخار أو سوائل التبريد
- التخلص من النفايات
- التخلص السليم من النفايات الصناعية التجارية والسامة، وكذلك التخلص من مياه الصرف ومعالجتها
- إدارة المرافق المركزية
- تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، وكذلك فرقة إطفاء للمنشأة وأمن المنشأة وذلك اعتمادًا على حجم المجمع الصناعي
- الخدمات اللوجستية
- إدارة عمليات نقل البضائع الخطرة وتخزين المواد الخام والمواد الاستهلاكية والإمدادات والمنتجات النهائية وغيرها.

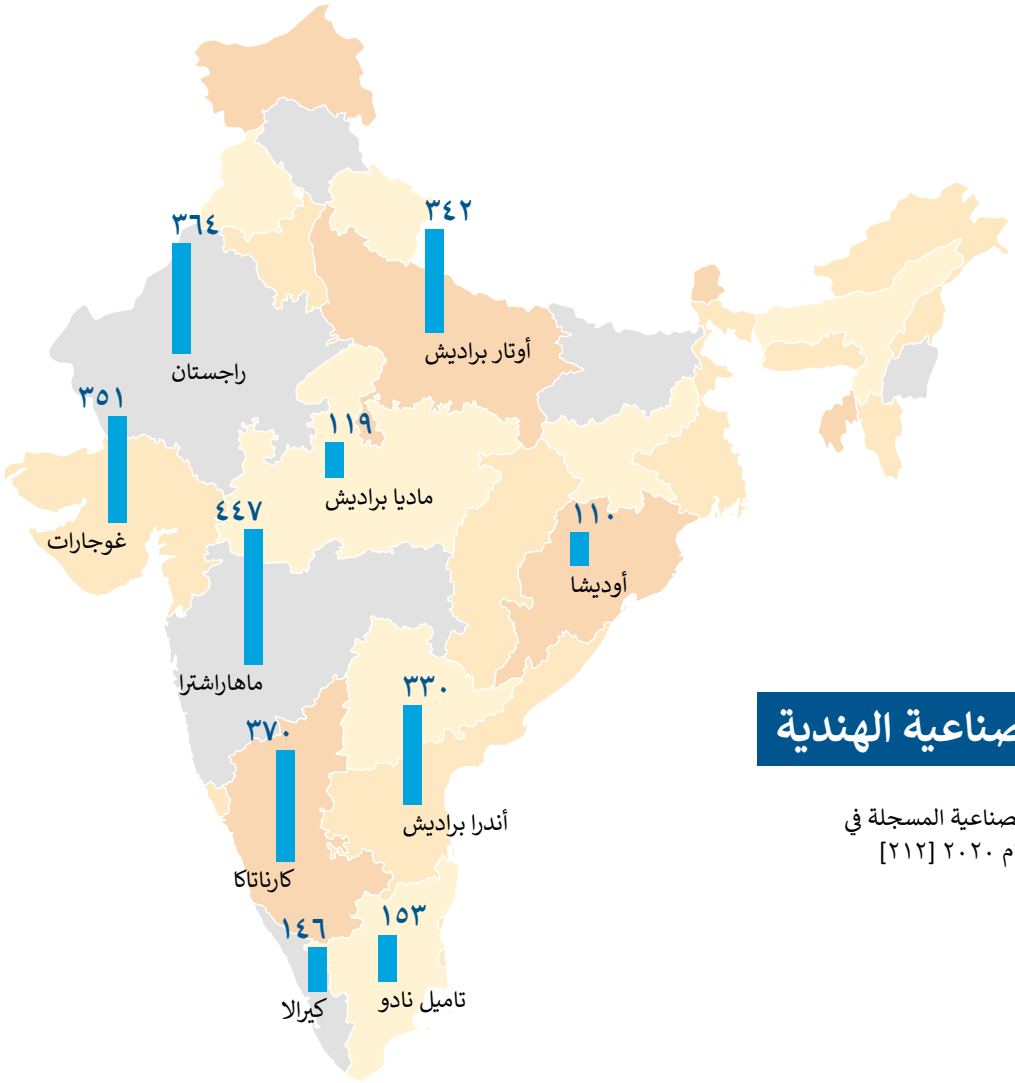
يمكن أن تؤدي المعالجة المركزية لمياه الصرف لجميع مياه الصرف التي تم جمعها في المنطقة الصناعية في محطة معالجة مياه الصرف الصحي الجماعية إلى زيادة كفاءة التنظيف وتقليل تكاليف رأس المال والتشغيل بشكل كبير للشركات الفردية. في الوقت نفسه، في ظل توفر ظروف مواتية، هناك فرص لإعادة استخدام المياه أو مواصلة استخدامها أو استعادة الموارد والاستفادة منها (مثل العناصر الغذائية والمواد القيمة) في الموقع. فيما يتعلق بالسلطات التنظيمية المختصة، يزيد التصريف المركزي لمياه الصرف الصناعي من الشفافية ويسهل من تنفيذ ضوابط الجودة.

# تحديات خاصة

### تدفقات مياه الصرف غير المتجانسة

يمكن أن تختلف تدفقات مياه الصرف التي تحدث في الشركات الفردية المعنية اختلافًا كبيرًا، ويزداد تعقيد تكوين مياه الصرف مع عدم تجانس فروع الصناعة الموجودة هناك وأغراض الاستخدام. في حين أن بعض الصناعات تولد بشكل أساسي مياه الصرف الملوثة عضويًا، فإنه في حالاتٍ أخرى تكون النسبة الأكبر للتلوث غير العضوي. تعد قابلية التحلل البيولوجي أو توافق حمولة الملوثات المدخلة ذات أهمية خاصة من أجل عدم تعريض تشغيل مرحلة التنظيف البيولوجي المركزية للخطر. ويجب الاحتفاظ بمياه الصرف ذات التأثير السام على البيولوجيا ومعالجتها مسبقًا بطريقة لامركزية.

لضمان التشغيل المستقر الدائم لمحطة معالجة مياه الصرف، يجب أن تفي تدفقات مياه الصرف الجاري تصريفها بشروطٍ معينة، متفق عليها تعاقديًا في الغالب. لذلك، يجب مراقبة مياه الصرف لكل مصرف فردي في الوقت الفعلي قبل أن تختلط المياه في شبكة الصرف المركزية. بالإضافة إلى معدل التدفق، فإن القيم المقاسة التي يجب تسجيلها عادةً ما تشمل أيضًا معلمات الجودة مثل قيمة الأس الهيدروجيني، وCOD ، وDOC (الكربون العضوي المذاب) أو القدرة على التوصيل، بالإضافة إلى معلمات محددة أخرى (مثل المعادن الثقيلة، ومركبات الكلور العضوية، والفينولات والمواد السامة الأخرى). إذا كانت هناك انحرافات قصيرة المدى عن جودة مياه الصرف المسموح بها، فيمكن إيقاف تصريف مياه الصرف في الوقت المناسب وتخزين مياه الصرف، التي تمثل مشكلة، مؤقتًا في خزانات التعويض بحيث يمكن معالجتها بشكلٍ منفصل. بهذه الطريقة، على سبيل المثال، يمكن




## المجمعات الصناعية الهندية

شكل ١: عدد المجمعات الصناعية المسجلة في ولايات هندية مختارة في عام ٢٠٢٠ [٢١٢]

حماية مرحلة التنظيف البيولوجي المركزية من الصدمات السامة.

### معالجة مشتركة أو منفصلة

الاصل أنه يفضل المعالجة المنفصلة لتيارات مياه الصرف، حيث يمكن معالجة الشوائب الفردية بطريقة مستهدفة وتجنب الخلط والتخفيف. ومع ذلك، من الناحية العملية، يتم خلط تيارات مياه الصرف المختلفة جزئيًا لتحقيق عدة أهداف من بينها تغذية مياه الصرف سيئة القابلية للتحلل من خلال الخليط بأحمال متاحة عضويًا دون مزيد من المعالجة المسبقة للبيولوجيا. يمكن أيضًا لمياه الصرف ذات الخصائص المتعارضة أن تعوض بعضها البعض عند خلطها، على سبيل المثال، في حالة اختلاف قيم الأس الهيدروجيني أو مستويات درجة الحرارة.

من ناحية أخرى، من المجدي تحويل تدفقات مياه الصرف الملوثة قليلاً بشكل منفصل ومعالجتها إذا لزم الأمر. وهذا ينطبق، على سبيل المثال، على المياه شديدة التلوث مثل مياه الأمطار أو مياه التبريد، والتي يمكن عادةً تحويلها أو استخدامها دون معالجة معقدة. يجب دائمًا جمع مياه الصرف من المجمع الصناعي ومعالجتها بشكلٍ منفصل عن مياه الصرف الصناعي. يمكن أيضًا أن يكون تصريف مياه الصرف البلدية في محطات معالجة مياه الصرف في المجمعات الصناعية أمرًا منطقيًا إذا كان هناك

قرب مكاني مماثل. إذا كانت تدفقات المياه الفردية محملة بشكل مفرط، فمن أحدث التقنيات أن يتم معالجتها مسبقًا بشكل منفصل قبل الخلط. بهذه الطريقة يمكن تقليل القدرة على المعالجة، وهي أمر ضروري على أي حال، بشكل كبير مقارنةً بالتنفيذ المركزي وفي نفس الوقت تتم العملية بكفاءة أعلى. وهذا ينطبق بشكل خاص في الحالات التالية [٢٢١]:

- تحتوي مياه الصرف على شوائب تؤثر سلبًا على المعالجة اللاحقة، مثل المواد التي لها تأثير سام أو مثبط في علم الأحياء
- تحتوي مياه الصرف على مواد يصعب إزالتها في المعالجة اللاحقة، مثل المكونات غير القابلة للتحلل أو المعادن الثقيلة
- جودة مياه الصرف عالية جدًا بحيث يمكن إعادة استخدامها بجهد ضئيل، على سبيل المثال، لأغراض التبريد، أو لري المناطق الخضراء أو كمياه إطفاء
- تحتوي مياه الصرف على مكونات يجب استعادتها بشكل مستهدف من أجل إعادة استخدامها أو مواصلة استخدامها، مثل العناصر الغذائية أو المواد القيمة أو حمولة عالية من المواد القابلة للتحلل بسهولة من أجل إنتاج الغاز الحيوي.
- للتصريف في محطة معالجة مياه الصرف الصناعية المركزية، يجب تحديد ومراقبة معلمات التصريف المناسبة. جديرٌ بالذكر أن المعالجة المشتركة لتيارات مياه الصرف التي يصعب معالجتها – على سبيل المثال مياه الصرف الناتجة من الصناعة الكيميائية مع مياه الصرف الناتجة من صناعة الورق – لا جدوى منها دون المعالجة المسبقة المناسبة.

# طريقة المعالجة

## اختيار الطريقة ومراحلها

في معظم الحالات، توفر محطة معالجة مياه الصرف المركزية في المجمع الصناعي خزانات موازنة كبيرة من أجل منع تقلبات التركيز والكمية في التدفق للمحطة. قبل تصريف مياه الصرف الصناعي في محطة معالجة مياه الصرف، يجب مراقبة المعلمات ذات الصلة بانتظام. وتشمل، على سبيل المثال، ما يلي: [٢٢]:

- المعلمات العامة، مثل درجة الحرارة وقيمة الأس الهيدروجيني والمواد الصلبة
- المواد غير العضوية، مثل النيتروجين والفوسفور والكبريتات
- المعادن، مثل الرصاص والكادميوم والكروم والنيكل والنحاس والزئبق
- القيم البيانية للمواد العضوية، مثل المواد غير المتطايرة أليفة الشحم أو مؤشر الهيدروكربون
- AOX، كمقياس لمركبات الهالوجين العضوية
- السمية الفعالة، لبيض السمك مثلاً

توفر محطة معالجة مياه الصرف الصناعي المشتركة عملية معالجة تتكون من مرحلة بيولوجية واحدة على الأقل، ولكنها في الغالب تتكون من عدة مراحل [٢٢]:

- معالجة أولية ميكانيكية لمياه الصرف
- فصل المواد الصلبة غير القابلة للامتزاج والزيوت عن طريق الفصل المرحلي، على سبيل المثال، في شكل تصفية خشنة أو ترسيب أو تعويم
- تنظيف كيماوي

| غرض الاستخدام | مواد صلبة | مواد مذابة | عكارة | الأس الهيدروجيني | $BOD_5$ | كلور |
|---|---|---|---|---|---|---|
| الري | ٥-٣٥ مجم/لتر | ٥٠٠-١,٠٠٠ مجم/لتر | | ٦-٩ | ٥-٤٥ مجم/لتر | ٠,٥-٥ مجم/لتر |
| تنظيف الشوارع | | ١,٥٠٠ مجم/لتر | ٣٠ NTU | ٦–٩ | ١٥ | ٠,٢ مجم/لتر |
| مياه التبريد | ٣٠ مجم/لتر | | | | ٣٠ مجم/لتر | ١ مجم/لتر |
| تنظيف المرحاض | | ١,٥٠٠ مجم/لتر | ٣٠ NTU | ٦–٩ | ١٠ | ٠,٢ مجم/لتر |
| مياه تغذية للغلايات | ١٠-٥٠٠ مجم/لتر | ١,٠٠٠ مجم/لتر | | | | |

جدول ١: القيم الإرشادية لنوعية المياه المطلوبة لأغراض إعادة استخدام معينة [٢٢٢، ٢٢٣]

- إزالة المواد المذابة، مثل الأملاح أو المعادن، عن طريق عمليات الترسيب والتنديف، والتي قد تكون مصحوبة بتحييد لمياه الصرف
- التنظيف البيولوجي
- تحلل المواد الغذائية والملوثات العضوية من خلال العمليات البيولوجية اللاهوائية و/أو الهوائية
- معالجة لاحقة
- إزالة الشوائب الذائبة التي يصعب إزالتها باستخدام عمليات متقدمة، مثل الأكسدة أو الامتزاز أو التبادل الأيوني أو الترشيح الغشائي

يعتمد الاختيار المحدد لعمليات المعالجة الإضافية بشكل كبير على المصانع التي تقوم بالتصريف ونوعية مياه الصرف الناتجة. كما أن جودة الصرف المرغوبة مهمة أيضًا - اعتمادًا على ظروف التصريف في المياه السطحية أو إعادة الاستخدام المقصود لمياه الصرف المعالَجة.

### إعادة الاستخدام والاستخدام مرة أخرى

الأساس لإعادة الاستخدام الفعال أو الاستخدام الإضافي لمياه الصرف المعالجة هو التجميع المستهدف والمعالجة المنفصلة لتدفقات المياه المختلفة بالإضافة إلى معرفة تكوينها. قد يجعل ذلك من الضروري وجود شبكة مياه صرف ومياه نقية جيدة التصميم في موقع المجمع الصناعي، وهو ما يعد أسهل بكثير في التنفيذ عند بناء مبانٍ جديدة مقارنةً بعمليات تعديل أو توسيع المجمعات القائمة. لا تؤثر المعالجة المستهدفة للتيارات المنفصلة على مصدر مياه الصرف فحسب، بل تؤثر أيضًا على الاستخدام المقصود للمياه المعالجة.

غالبًا ما تستخدم مياه الصرف المعالجة في تطبيقات البنية التحتية مثل الري أو تنظيف الشوارع أو تنظيف المرحاض. يتم استخدام الإمكانيات المتعلقة بالإنتاج كمياه تبريد أو تغذية للغلايات أو كمياه تستخدم في الأغراض الصناعية. الاستخدام المقصود للمياه ومتطلبات الجودة المصاحبة لها تأثير مباشر على خطة المعالجة المطلوبة (جدول ١). مياه الصرف التي تحتوي على تصريفات من المرافق الصحية وكذلك مياه الصرف الصناعي ذات المستويات العالية من التلوث (على سبيل المثال من الطلاء الكهربائي أو معالجة المنسوجات) ليست مناسبة لإعادة الاستخدام دون معالجة مستهدفة.

يجب أن تستند متطلبات الجودة الخاصة بالموقع إلى نهج وقائي قائم على المخاطر يحلل المخاطر المحتملة في مشروع إعادة استخدام المياه المخطط له ويحدد التدابير الفعالة من المصدر إلى التعرض. ومن المهم إجراء تقييم للمخاطر يأخذ في الاعتبار جميع مسارات التعرض ذات الصلة بالإضافة إلى الملوثات الناجمة عن مياه الصرف من أجل تحديد مجموعات الأشخاص والأشياء التي يجب حمايتها (التربة والمياه الجوفية والنباتات) التي من المحتمل أن تتلامس معها المياه المعالجة.

يمكن أن يعتمد النهج المنتظم على نهج خطط سلامة المياه أو خطط سلامة الصرف الصحي لمنظمة الصحة العالمية (WHO). بهذه الطريقة، يمكن تحليل الأخطار المحتملة في النظام، وتقييم مدى خطورتها، وتحديد معايير السيطرة عليها واستنباط معايير المراقبة من أجل التحقق بانتظام من نجاح تدابير تقليل المخاطر. وللحد من المخاطر بشكل فعال وموثوق، من الضروري وجود حواجز متعددة في نقاط انطلاق مختلفة في النظام العام، بما في ذلك منطقة مستجمعات المياه، ومعالجة المياه، وتخزين المياه وتوزيعها والتطبيق العملي. لذلك، يجب إجراء تقييم فردي إقليمي لجانب الانبعاثات في نقاطٍ كثيرة. فقط عند ضمان عدم توقع أي ضرر للإنسان أو الحيوان أو البيئة، يمكن النظر في إعادة استخدام مياه الصرف المعالجة.

في حالة عدم وجود لوائح وطنية/إقليمية لإعادة استخدام المياه، يمكن استخدام المعايير الدولية للمنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO) كدليل. في إطار مواصفة ISO/TC ٢٨٢، تم تطوير معايير لإعادة استخدام المياه للري الزراعي والتطبيقات الحضرية وكذلك مياه الصرف الصناعي. يحتوي موضوع "إعادة استخدام المياه غير الصالحة للشرب" الذي تم تحديثه بواسطة الجمعية الألمانية لإدارة المياه والصرف والنفايات (DWA) في عام ٢٠١٩ على توصيات مفصلة لعمليات المعالجة والجمع بينها [٨]. □

دراسة الحالة: **صناعة النسيج في الهند**

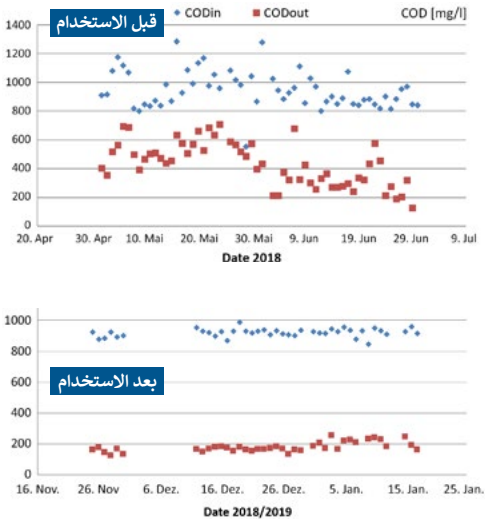
# زيادة قدرة المعالجة البيولوجية المتسلسلة (SBR) على أساس محطة معالجة مياه الصرف المركزية

## الخلفية

حاليًا، تتم معالجة ١٠٠,٠٠٠ متر مكعب/يوم من مياه الصرف في محطة معالجة مياه الصرف المركزية (محطة معالجة النفايات السائلة المشتركة – CETP) في سورات (الهند). مع قيام شركات الصناعة الأعضاء بتوسيع طاقاتها الإنتاجية، يزداد الطلب على المياه وكمية مياه الصرف.
لذلك يتم توسيع محطة معالجة مياه الصرف على مرحلتين لكي تكون قادرة على تغطية متطلبات المياه البالغة ٢٠٠,٠٠٠ متر مكعب/يوم.
وللحفاظ على موارد المياه الطبيعية، وافقت الشركات الأعضاء على إعادة استخدام ١٠٠,٠٠٠ متر مكعب/يوم من محطة معالجة مياه الصرف. يتم هنا عرض توسيع نظام SBR من ٥٠,٠٠٠ متر مكعب/يوم إلى ٨٠,٠٠٠ متر مكعب/يوم وتخطيطه وتنفيذه بواسطة شركة Jäger Umwelt Technik GmbH.

## تحدي خاص/طرح خاص للمشكلة

يعتمد نظام SBR الحالي على عملية C-Tech (الحمأة المنشطة الدائرية، التي طورتها شركة SFC Umwelttechnik)، والتي تحتوي على محدد بيولوجي في كل حوض من الأحواض الستة. تم تصميم هذه العملية لتقليل $BOD_5$، والنترجة، ونزع النيتروجين وإزالة الفوسفور البيولوجية. لتحديث المنشأة، يجب تعديل الأحواض الموجودة وتجنب المباني الجديدة.




شكل ٢: تواريخ التدفق الداخلي والخارجي للحوض قبل و بعد تشغيل نظام SBR باستخدام المادة الحاملة Biocurlz

## نهج الحل

يكمن مفهوم توسيع النظام دون تغيير مساحة قاعدته في ملء الأحواض الموجودة بمادة حاملة من أجل زيادة كثافة الكتلة الحيوية من خلال السطح المحدد الموسَّع. مع ظروف المدخل المناسبة والمراقبة }الموثوقة للتشغيل المستقر للنظام، وتمثل عملية الأغشية الحيوية هذه خيارًا قويًّا وموفرًا للمساحة من أجل المعالجة البيولوجية لمياه الصرف. حيث يتم توفير كتلة الحمأة المطلوبة بالإضافة إلى ذلك، والتي تسمى الكتلة الحيوية اللاطئة، من خلال نمو الأغشية الحيوية على مادة حاملة للنسيج. تضمن هذه الكتلة الحيوية الإضافية استقرار أداء النظام. يزداد عدد البكتيريا المتخصصة أيضًا بسبب ارتفاع عمر الكتلة الحيوية اللاطئة في الحمأة. وهذا يتيح التخلص من المواد سيئة التحلل النمطية في مياه الصرف الصناعي. بشكل افتراضي، يتم مراقبة تركيز الأكسجين وقيمة الأس الهيدروجيني في النظام، ويتم قياس حجم الحمأة يوميًا.
تم اختيار وسيط حامل نسيجي Cleartec Biocurlz، والذي يتكون من ثنائي كلوريد الفينيليدين (PVDC)، لهذا الغرض وتم تثبيته بشكل دائم في أقفاص من الفولاذ المقاوم للصدأ. وجديرٌ بالذكر أنه أثبت مقاومته لمياه الصرف ولا يحتاج إلى صيانة في العديد من الأنظمة حول العالم.

شكل ١: واحد من ستة أحواض SBR مزود بأقفاص biocurlz وأجهزة تهوية أنبوبية ذو فقاعات دقيقة

## النتائج

نظرًا لأن تركيبة مياه الصرف لا تحتوي على نيتروجين عضوي ولا فوسفور، فإن المحدِّد البيولوجي لحوض C-Tech لا لزوم له. تم استخدام منطقة التحديد، التي تشغل حوالي خُمس كل حوض، كجزء من عملية SBR التقليدية، مما يضيف إلى الحجم الإجمالي للنظام.

أخيرًا، تم توزيع ٣٦٠ قفصًا من الفولاذ المقاوم للصدأ بطول إجمالي يزيد عن مليوني متر Biocurlz على ستة أحواض. تم تركيب ٨,٦٤٠ جهاز تهوية أنبوبي JetFlex ذو فقاعات دقيقة لضمان التهوية الفعالة (الشكل ١).

يشير مؤشر حجم الحمأة (SVI) لهذه العملية <١٢٠ مل/جم إلى قدرة ترسيب فائقة للحمأة، والتي يستفيد منها نظام الترشيح الفائق عند المصب. بشكلٍ عام، تتكون المعالجة اللاحقة من التعويم، والترشيح القرصي، والترشيح الفائق، والتناضح العكسي.

شكل ٢ أ) بيانات القياس بين مايو ويوليو ٢٠١٨، قبيل بدء إجراءات التوسع. يبلغ تركيز COD في المتوسط في تدفق SBR الداخل نسبة ٩٥٠ مجم/لتر، وفي التدفق الخارج ٤٣٠ مجم/لتر. وهذا يتوافق مع معدل تحلل يبلغ حوالي ٥٥٪. شكل ٢ ب) يوضح بيانات القياس بين نوفمبر ٢٠١٨ ويناير ٢٠١٩ بعد اكتمال إجراءات التوسع. وبالإضافة إلى نظام SBR، تم أيضًا تحسين المعالجة المسبقة لمياه الصرف، بحيث تم تقليل تقلبات COD في التدفق الداخلي بنظام SBR بشكلٍ كبير. يبلغ تركيز COD في المتوسط في التدفق الداخل بنظام SBR ٩٢٠ مجم/لتر، بينما تحقق معالجة Cleartec-SBR المختلطة انخفاضًا في COD في المتوسط إلى ١٨٠ مجم/لتر (جدول ١). وهذا يتوافق مع معدل تحلل يبلغ حوالي ٨٠٪.

## مساهمة التقنية المقدَّمة

يحقق النظام الحديث تحللًا جيدًا للغاية ومستقرًا للمواد العضوية في مياه الصرف مع الحد الأدنى من متطلبات المساحة. تم زيادة عدد البكتيريا المتخصصة من خلال دمج المواد الحاملة. حيث تعمل على إزالة هذه المواد التي يصعب تحللها وتؤدي إلى انخفاض كبير في تركيزات المصرف. تستفيد مراحل التنظيف النهائية أيضًا من قدرة الترسيب المحسّنة للحمأة البيولوجية. □

| المعلمة | المدخل | المصرف |
|---|---|---|
| الأس الهيدروجيني | ٦,٥-٨,٥ | ٧,٥–٧,٨ |
| COD [مجم/لتر] | ٩٥٠–١,٤٠٠ | ١٤٠–٢٣٠ |
| $BOD_5$ [جم/لتر] | ٣٠٠–٥٠٠ | - |
| المواد الصلبة [مجم/لتر] | ٣٠٠ | ٤٠–٦٠ |

جدول ١: نظرة عامة على قيم التدفق الداخل والخارج لمعالجة مياه الصرف

دراسة الحالة: **معالجة مياه الصرف في المناطق الصناعية بالمغرب**

# البناء الجاهز لمحطة معالجة مياه الصرف "منطقة النواصر الصناعية" في الدار البيضاء

## الخلفية

قررت حكومة المملكة المغربية تحديث المناطق الصناعية المغربية من حيث معالجة مياه الصرف لتلبية أنظمة الصرف الجديدة. يؤخذ في الاعتبار هنا الاتجاه الوطني والإقليمي لإنشاء محطات معالجة مياه الصرف الصناعي المستقلة من أجل تغذية مياه الصرف المعالجة لإعادة استخدامها و/أو التصريف الصديق للبيئة في أحد المصارف. تهدف السياسة التي تنتهجها الحكومة إلى تزويد المناطق الصناعية الحالية بمحطات معالجة مياه الصرف ذات خصائص مميزة تتكيف مع المنطقة الصناعية المعنية، والتي تساهم في معالجة مياه الصرف الصديقة للبيئة وفي نفس الوقت لتخفيف الضغط على البنية التحتية للصرف الخاصة بالبلدية.

يقع موقع مشروع محطة معالجة مياه الصرف "منطقة النواصر الصناعية" في منطقة الدار البيضاء، في المنطقة الصناعية SAPINO التي تبلغ مساحتها ٢٨٥ هكتارًا. يوجد هنا أكثر من ٤٠٠ شركة ذات مجموعة واسعة من المجالات الصناعية، بما في ذلك تصنيع الأنابيب البلاستيكية المقواة بالألياف الزجاجية، وتصنيع العبوات، وصناعة الأغذية، وتصنيع علب الألومنيوم، وتصنيع البطاريات، والمغاسل الكبيرة، ومعالجة المعادن، وتصنيع المنظفات وكذلك مقدمو الخدمات والشركات التجارية.

راعي المشروع هو وزارة الصناعة والتجارة والاقتصاد الأخضر والرقمي المغربية (MICEVN). عهدت الوزارة بالمشروع إلى شركة LYDEC المسؤولة عن إمدادات مياه الشرب والصرف الصحي وتوزيع الكهرباء والإنارة العامة في منطقة الدار البيضاء. المقاول عبارة عن ائتلاف تجاري بقيادة شركة PWT Wasser- und Abwassertechnik GmbH.

| المعلمة | الوحدة | مدخل النظام | مصرف النظام |
|---|---|---|---|
| تدفق متوسط | متر مكعب/يوم | ٢,٠٠٠ | - |
| الحد الأقصى لتدفق المعالجة المسبقة | متر مكعب/يوم | ٤٠٠ | - |
| الحد الأقصى لتدفق المعالجة البيولوجية | متر مكعب/يوم | ٢٠٠ | - |
| $BOD_5$ | مجم/لتر | ٤٠٠ | ≥ ٢٥ |
| COD | مجم/لتر | ١,٢٠٠ | ≥ ١٢٠ |
| TS | مجم/لتر | ٦٠٠ | ≥ ٢٠ |
| نيتروجين إجمالي | مجم/لتر | ٢٠٠ | ≥ ١٥ |
| نيتروجين كيلدال | مجم/لتر | ١٥٠ | ≥ ٨ |
| فوسفور إجمالي | مجم/لتر | ٣٠ | ≥ ٢ |

جدول ١: معلمات القياس وقيم التصريف المراد تحقيقها لمياه الصرف المعالَجة بمحطة معالجة مياه الصرف الصحي "منطقة النواصر الصناعية" في المغرب

## تحدي خاص

تلتزم الصناعات بالمعالجة المسبقة لمياه الصرف محليًا، وقد تكون هذه المعالجة ميكانيكية أو كيميائية. نفذت الشركة المكلَّفة بالعمل LYDEC في البداية حملة قياس. كانت المعلمات التي تم فحصها هي المعلمات الواردة في الجدول ١ بالإضافة إلى القدرة على التوصيل الكهربائي. كما تم تحديد معلمات التصميم لمنشأة المعالجة مع الأخذ في الاعتبار التوسع المحتمل و/أو التغيير في استيطان المنطقة. كما تم الأخذ في الاعتبار إمكانية التعامل مع التدفقات القصوى الوافدة. يحتوي المفهوم الذي تم تطويره وتنفيذه بواسطة PWT على حوض عازل ضروري لمعادلة التدفقات القصوى والتخزين الوسيط لمياه الصرف الملوثة ويوفر خيارات للتوسيعات المستقبلية.

## نهج الحل

محطة معالجة مياه الصرف في النواصر هي محطة حمأة منشطة مع تثبيت هوائي متزامن للحمأة في أحواض الدوران. تتكون معالجة مياه الصرف من معالجة ميكانيكية مسبقة (شبكة خشنة أمام محطة الرفع، وشبكة دقيقة، ومصيدة رمل وشحوم جيدة التهوية)، وحوض عازل لامتصاص التدفقات القصوى الداخلة أو مياه الصرف الملوثة، ومعالجة بيولوجية مع نزع متزامن للنيتروجين والمعالجة النهائية، إزالة كيميائية للفوسفور، وكذلك التطهير بمادة هيبوكلوريت الصوديوم قبل التصريف في واد مريكان. يجري حاليًا فحص توسيع النظام بمرحلة معالجة أخرى بالترشيح الرملي والتطهير بالأشعة فوق البنفسجية لإعادة استخدامها لري المناطق الخضراء.

تشمل معالجة الحمأة نزع الماء الميكانيكي للحمأة باستخدام أجهزة الطرد المركزي والتكييف والتعقيم بإضافة الجير قبل التخلص منها في مكب النفايات الخاص بالمدينة. نظرًا لتواجد محطة معالجة مياه الصرف في منطقة مكتظة بالسكان، فإن المهن ذات الصلة مجهزة بمعدات حديثة لمعالجة الروائح وتقليل الضوضاء. يعرض الجدول ١ معلمات القياس وقيم التصريف التي يجب تحقيقها لمياه الصرف المعالَجة.

**التدابير الفنية للتعامل مع التقلبات غير المتوقعة**

تجدر الإشارة في هذا السياق إلى ما يلي:

- توفر طريقة المعالجة المختارة مع حوض عازل للتدفقات القصوى الداخلة أو لمياه الصرف الملوثة درجة معينة من المرونة في الحالات التي يصعب فيها التنبؤ بكمية/جودة مياه الصرف.
- يوفر الحل تركيب مواد مقاومة للتآكل، حيث إن قرب موقع المشروع من البحر يمكن أن يؤدي إلى ارتفاع ملوحة مياه الصرف.
- في منطقة مدخل محطة معالجة مياه الصرف، يتم تثبيت وحدة قياس الهيدروكربون بالإضافة إلى قياسات الأس الهيدروجيني والقدرة على التوصيل بحيث يمكن التعرف على مياه الصرف غير العادية وتغذيتها في الخزان العازل. اعتمادًا على نتيجة تحليل المياه المخزنة، يمكن بعد ذلك إرسالها للمعالجة أو التخلص منها وفقًا للوائح البيئية.

## النتائج

تجري حاليًا أعمال إنشاء محطة معالجة مياه الصرف في منطقة النواصر الصناعية. يوضح الشكل ١ أحواض التنشيط المنشأة.

## مساهمة التقنية المقدَّمة

يشمل النظام المقدم هنا المعالجة الميكانيكية والبيولوجية والكيميائية الكاملة لمياه الصرف الصحي. تم إيلاء اهتمام خاص للمتطلبات الخاصة بمحطة معالجة مياه الصرف الصناعي للعديد من أجهزة التصريف، مثل مرونة النظام العالية وسلامته، بالإضافة إلى المراقبة المترولوجية لتشغيل النظام. □

شكل ١: أحواض التنشيط لمحطة معالجة مياه الصرف الصناعي في النواصر، المغرب، قيد الإنشاء

# ١١ نظرة عامة على الاتجاهات الدولية في معالجة مياه الصرف الصناعي

تطرح ندرة الموارد المتزايدة والأهمية المتزايدة لحماية البيئة تحديات خاصة لمعالجة مياه الصرف الصناعي في القرن الحادي والعشرين. على الرغم من الشروط الإطارية السياسية والجغرافية والاجتماعية الاقتصادية المختلفة إقليميًّا، يمكن تحديد هوية التطورات الشاملة في معالجة مياه الصرف الصناعي. ويمكن أيضًا استخدام منشورات أفضل التقنيات المتاحة (BVT)، التي توثق أحدث التقنيات لتشغيل المصانع الصديقة للبيئة والموفرة للموارد لجميع القطاعات الصناعية ذات الصلة، كأساس لصياغة توصيات تحديد الاتجاه [٢٢٤].

## معالجة مياه الصرف الصناعي

اعتمادًا على الشروط الإطارية والملوثات التي تحتوي عليها، يمكن تحويل تدفقات مياه الصرف الصناعي إلى المياه السطحية دون معالجة مسبقة، أو تغذيتها في شبكة مياه الصرف الصحي البلدية أو معالجتها (مسبقًا) في محطات معالجة مياه الصرف الصناعي. من خلال المعالجة المشتركة لمياه الصرف الصناعي والبلدي، يمكن استخدام أوجه التآزر في ظل ظروف معينة (مثل توافر العناصر الغذائية). ومع ذلك، في معظم الحالات، تكون المعالجة المنفصلة لمياه الصرف الصحي هي الأفضل، خاصةً إذا كان يجب تلبية الحد الأدنى من المتطلبات (الخاصة بالصناعة) لجودة مياه الصرف. في الشركات الصناعية، تحدث تدفقات مياه الصرف ذات الجودة المتغيرة والتي غالبًا ما تختلف بمرور الوقت، والتي قد تحتوي على مواد مستديمة أو خطرة بيئيًا – لا يمكن مواجهة التحديات المرتبطة إلا من خلال معالجة مياه الصرف الصناعي الخاصة بالموقع [٢٢].

يمكن ملاحظة إنشاء عدد متزايد من محطات CETP، مما يتيح معالجة فعالة وقوية لمياه الصرف بأقل جهدٍ ممكن للشركات الصناعية التي تقوم بالتصريف بشكل فردي. غالبًا ما تواجه هذه الأنظمة مزيجًا معقدًا ومتغيرًا من تدفقات مياه الصرف المختلفة، لذلك، يعد التعاون الوثيق مع المصارف الصناعية أمرًا ضروريًا بالإضافة إلى تشغيل النظام المرن. في معظم الحالات، يكون من المفيد والضروري إجراء معالجة مسبقة لمجاري مياه الصرف الفردية بطريقة مستهدفة قبل إدخالها في محطة معالجة مياه الصرف الصناعي المركزية، مع الأخذ في الاعتبار التكوين الخاص بكلٍ منها، ومراقبة هذه المعالجة من قبل مشغل المحطة [٢٢١].

## كفاءة المياه على مستوى التشغيل

تعد زيادة كفاءة استخدام المياه أولوية بالنسبة للعديد من مواقع الإنتاج، لا سيما في المناطق التي تعاني من ندرة المياه – وبشكل متزايد أيضًا خارج هذه المناطق. وبالإضافة إلى خفض تكاليف الحصول على المياه العذبة والطاقة والتخلص من مياه الصرف، غالبًا ما يكون الدافع المهم لذلك هو الدافع الاجتماعي والبيئي. يراعي تعريف "أحدث التقنيات" أيضًا الاستخدام الرشيد للمياه في الصناعة.

إن أهم أساس لتحسين كفاءة المياه هو إعادة استخدام المياه (مياه الصرف) المستخدمة في الأغراض الصناعية. واعتمادًا على جودة المياه المتاحة والمطلوبة، يمكن إعادة تدوير تدفقات المياه خلال العملية، مع معالجة مسبقة داخلية أو بدونها، أو إعادة استخدامها بالقرب من الإنتاج أو استخدامها في تطبيقاتٍ أخرى (مثل ري المساحات الخضراء أو كمياه إطفاء). عادةً ما يرتبط استرداد المياه بمعالجة معقدة نسبيًا وهو خيار معقول، خاصةً في ظل الظروف التالية [٢٢]:

- إذا كان هذا يمكن أن يقلل من الحاجة إلى المياه العذبة أو الطاقة
- إذا كان من الممكن إعادة استخدام المواد المنفصلة بطريقة جديرة بالاهتمام بيئيًا واقتصاديًا وتقنيًا
- إذا كان انخفاض كمية مياه الصرف يخفف من المعالجة اللاحقة لمياه الصرف أو البيئة المائية مباشرةً

يمكن تحقيق التشغيل الخالي تمامًا من مياه الصرف ("الطرح منعدم السوائل لمياه الصرف") من خلال الجمع بين عمليات الإنتاج الخالية من مياه الصرف (مثل الطلاء الجاف) والاستعادة المثلى للمياه داخل الشركة. عادةً ما تعمل العمليات التي لا تحتوي على مياه الصرف وفقًا لمبدأ التركيز الأقصى (مثل التناضح العكسي أو التبخير أو التبلور). هذه تقنيات متطورة ترتبط عادةً بزيادة استهلاك الطاقة وبالتالي ارتفاع تكاليف المعالجة [٢٢٥]. يتم تخفيض هذه النفقات وفقًا لذلك إذا تم بالفعل معالجة مياه الصرف بشكل شامل مسبقًا.

ومع ذلك، لا يمكن تحقيق كفاءة عالية في استخدام المياه من خلال التدابير اللاحقة لتنقية مياه الصرف واستعادتها وحدها – فبدلاً من ذلك، تكتسب اليوم الأساليب المتكاملة للعملية التي تأخذ في الاعتبار تدفقات الموارد المختلفة (مثل المياه العذبة ومياه الصرف والمواد الخام والطاقة) والجوانب العابرة للوسائط أهمية أكبر. تعتبر عمليات التنظيف المُحسَّنة (التنظيف المحلي أو

التنظيف الفوري في المكان، ما يسمى بأنظمة التنظيف المكاني CIP) لتقليل الفاقد من المنتجات، ومتطلبات المياه العذبة واستخدام المواد الكيميائية، بالإضافة إلى الفصل المعقول لتدفقات مياه الصرف ومستويات التلوث، التي تعد من أحدث التقنيات اليوم. على المستوى التنظيمي، يمكن أن يساعد التخطيط الأمثل لتسلسل المنتجات والتنظيف، وموازنة العمليات الكمية والتحكم فيها، وتدريب الموظفين المنتظم على تقليل تلوث مياه الصرف [٢٢٦، ٢٢٧].

## إدارة المياه في المستقبل

بالإضافة إلى نظام إدارة الجودة والطاقة، أنشأت معظم الشركات الآن أيضًا نظامًا لإدارة البيئة لدعم التنفيذ المنهجي لتدابير حماية البيئة. وبالإضافة إلى إنشاء وتشغيل محطات معالجة مياه الصرف الضرورية، تغطي الإدارة البيئية للشركات أيضًا مراقبة الجودة المعنية، مثل الامتثال لقيم حد التصريف، وتقييم المخاطر، على سبيل المثال في حالة الانبعاثات العرضية. من المتطلبات الأساسية لإدارة المياه (مياه الصرف) بكفاءة تسجيل التدفقات الحجمية ومعلمات جميع تدفقات المياه ذات الصلة في الموقع (مثل قيمة الأس الهيدروجيني ودرجة الحرارة و COD). اليوم يتم ذلك عادةً باستخدام أجهزة الاستشعار عبر الإنترنت، والتي تتيح بالفعل درجة معينة من أتمتة العمليات [٢٢٤، ٢٢٨].

سيتيح التقدم في مجال أجهزة الاستشعار وواجهات تكنولوجيا المعلومات ومعالجة البيانات من زيادة الربط وتحسين كفاءة التشغيل في المستقبل. على المدى المتوسط، ستساهم الرقمنة في تحسين أنظمة الصرف الصناعي من خلال الجوانب التالية، على سبيل المثال:

- توفر بيانات عملية عالية الدقة بفضل أجهزة الاستشعار عبر الإنترنت
- تحكم ذكي في الشبكة وأتمتة مراكز التحكم
- توسيع مهارات التحليل من خلال البيانات الضخمة والبيانات الذكية
- الاقتران بالبيانات البيئية مثل المناخ وتوافر المياه وأحمال الحرارة
- الاستراتيجيات التنبؤية لتشغيل المصنع ومراقبة الحالة
- أتمتة عمليات الإنذار المبكر واتخاذ القرار

سيعتمد التنفيذ الشامل للمناهج الرقمية على كيفية تلبية المتطلبات العالية لأمن تكنولوجيا المعلومات وحماية البيانات وأي واجهات معيارية يتم إنشاؤها لنقل البيانات [٢٢٩، ٢٣٠]. □

# قائمة المراجع


[١] الأمم المتحدة، «تغيير عالمنا: خطة التنمية المستدامة لعام ٢٠٣٠»، ٠١ يناير ٢٠١٦. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://sdgs.un.org/agenda٢٠٣٠. [تم الاطلاع عليه في ٠٢ نوفمبر ٢٠٢٠].

[٢] البنك الدولي، «بيانات البنك الدولي،» ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://data.worldbank.org/country/india. [تم الاطلاع عليه في ١ أكتوبر ٢٠٢٠].

[٣] جلوبال ووتر إنتليجنس، «بيانات المياه لدى جلوبال ووتر إنتليجنس،» ٢٦ أغسطس ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.gwiwaterdata.com/.

[٤] تي ديساي، مقابلة، مؤسس ورئيس مجلس إدارة مجموعة شركات Geostone - معالجة المياه الصناعية في الهند. [مقابلة]. ٢٠ يونيو ٢٠٢٠.

[٥] البنك الدولي، «بيانات البنك الدولي،» ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://data.worldbank.org. [تم الاطلاع عليه في ٠١ أكتوبر ٢٠٢٠].

[٦] عياصرة، مقابلة، مدير الطاقة والاستدامة البيئية، غرفة الصناعات الأردنية - التقنيات البيئية لمعالجة مياه الصرف الصناعي في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. [مقابلة]. ٠١ سبتمبر ٢٠٢٠.

[٧] خاشنة، مقابلة، أمين عام وزارة البيئة الأردنية - معالجة مياه الصرف الصناعي في الأردن. [مقابلة]. ٠١ سبتمبر ٢٠٢٠.

[٨] الرابطة الألمانية لإدارة المياه، ومياه الصرف الصحي، والنفايات، «موضوعات رابطة DWA – إعادة استخدام المياه غير الصالحة للشرب»، DWA، عام ٢٠١٩.

[٩] مؤسسة قواعد العلامات التجارية الهندية، «تقرير صناعة النفط والغاز الهندي»، ٢٠١٩.

[١٠] مؤسسة قواعد العلامات التجارية الهندية، «IBEF»، في ٠١ مارس ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.ibef.org/industry/oil-gas-india/showcase. [تم الاطلاع عليه في ٢٢ سبتمبر ٢٠٢٠].

[١١] إدارة معلومات الطاقة الأمريكية، «تحليل الهند»، [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.eia.gov/international/overview/country/IND. [تم الاطلاع عليه في ٠٤ مايو ٢٠٢٠].

[١٢] إدارة معلومات الطاقة الأمريكية، «تحليل مصر»، [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.eia.gov/international/overview/country/EGY. [تم الاطلاع عليه في ٠٤ مايو ٢٠٢٠].

[١٣] يونيفرسال سوليوشنز «النفط والغاز في الخليج» [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.gulfoilandgas.com/webpro١/prod١/suplista.asp?id=yx١&٣٢٧=EG. [تم الاطلاع عليه في ٢٢ سبتمبر ٢٠٢٠].

[١٤] مبندي «تونس: صناعة النفط والغاز» [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://mbendi.co.za/cytuoi.htm. [تم الاطلاع عليه في ٠٤ مايو ٢٠٢٠].

[١٥] إدارة معلومات الطاقة الأمريكية، «تحليل تونس»، [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.eia.gov/international/overview/country/TUN. [تم الاطلاع عليه في ٠٤ مايو ٢٠٢٠].

[١٦] المكتب الوطني للنفط والغاز والمناجم، [متاح على الإنترنت]. متاح على: http://www.onhym.com/en/partnership-and-cooperation/list-of-partners.html. [تم الاطلاع عليه في ٢٢ سبتمبر ٢٠٢٠].

[١٧] أبو الفيلات، «قطاع النفط والغاز في الأردن - نظرة عامة»، المجلد ١١، رقم ٣، ٢٠١٣.

[١٨] إدارة معلومات الطاقة الأمريكية، «تحليل المغرب»، [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.eia.gov/international/overview/country/MAR. [تم الاطلاع عليه في ٠٤ مايو ٢٠٢٠].

[١٩] إدارة معلومات الطاقة الأمريكية، «إحصاءات الطاقة الدولية،» [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.eia.gov/international/data/world. [تم الاطلاع عليه في ٠٤ مايو ٢٠٢٠].

[٢٠] وكالة المخابرات المركزية، «المكتبة - كتاب حقائق العالم - أفريقيا:: المغرب،» ٠١ يناير ٢٠١٨. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/mo.html. [تم الاطلاع عليه في ٠٢ في ٢٠٢٠ نوفمبر].

[٢١] وكالة المخابرات المركزية «المكتبة - كتاب حقائق العالم - الشرق الأوسط:: الأردن،» وكالة المخابرات المركزية، ٠١ يناير ٢٠١٨. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/jo.html. [تم الاطلاع عليه في ٠٢ في ٢٠٢٠ نوفمبر].

[٢٢] روزينفينكيل، أويسترمان هاون، كوزتر، باير، كتاب الجيب الخاص بتنقية مياه الصرف الصناعية، إسن: دار النشر فولكان ش.ذ.م.م.، ٢٠٢٠.

[٢٣] الجمعية الدولية للحفاظ على البيئة لصناعة البترول، «تحديد وتقييم مصادر المياه»، الرابطة الدولية للحفاظ على البيئة لصناعة البترول، ٢٠١٤.

[٢٤] فخري الرازي، بندشتيش، لقمان شواه، رديا، سيافاش مداني وزين العابدين، «مراجعة تقنيات معالجة المياه المنتجة للنفط والغاز»، مجلة المواد الخطرة، المجلد ١٧٠، رقم ٢-٣، ٢٠٠٩.

[٢٥] المفوضية الأوروبية، «وثيقة توجيهية بشأن أفضل التقنيات المتاحة بشأن التنقيب عن الهيدروكربون وإنتاجه»، المفوضية الأوروبية، لوكسمبورغ، ٢٠١٩.

[٢٦] بيشتل، «المياه المستعملة لإنتاج النفط والغاز: تلوث التربة ومنع التلوث،» علوم التربة التطبيقية والبيئية، رقم ٨، ٢٠١٦.

[٢٧] مؤسسة التمويل الدولية، البنك الدولي، «إرشادات البيئة والصحة والسلامة الخاصة بتطوير النفط والغاز البري، مسودة النسخة المنقحة»، مجموعة البنك الدولي، ٢٠١٧.

[٢٨] مؤسسة التمويل الدولية، البنك الدولي، «إرشادات البيئة والصحة والسلامة الخاصة بالنفط والغاز البري، أبريل ٢٠٠٧،» مجموعة البنك الدولي، ٢٠٠٧.

[٢٩] المفوضية الأوروبية، «وثيقة مرجعية لأفضل التقنيات المتاحة لتكرير النفط والغاز المعدني»، المفوضية الأوروبية، لوكسمبورج, ٢٠١٥.

[٣٠] ب. علي رضا «معالجة المياه العادمة في صناعات النفط والغاز غير التقليدية» في إدارة النفايات في الصناعات الكيماوية والبترولية، شركة John Wiley & Sons Ltd، سنة ٢٠١٩.

[٣١] إكس وي، إس زهانج، يا هان وولف، «معالجة مياه الصرف الصحي البتروكيماوية والمياه المنتجة من النفط والغاز،» بحوث البيئة المائية، المجلد ٩١، رقم ١٠، ٢٠١٩.

[٣٢] ناصري، جعفري وبارنيانخوي، «إدارة المياه المنتجة للنفط والغاز: مراجعة تقنيات العلاج والتحديات والفرص» اتصالات الهندسة الكيميائية، المجلد ٢٠٤، رقم ٨، ٢٠١٧.

[٣٣] الجمعية الدولية للحفاظ على البيئة لصناعة البترول، «الكفاءة في استخدام المياه. وثيقة إرشادية لصناعة النفط والغاز البرية،» الرابطة الدولية للحفاظ على البيئة لصناعة البترول، لندن، ٢٠١٤.

[٣٤] دادانيا، «صناعة الكيماويات الهندية: تسريع النمو،» ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.maiervidorno.com/indian-chemical-industry-accelerating-growth. [تم الاطلاع عليه في ٢١ أبريل ٢٠٢٠].

[٣٥] إحصائيات، «الصناعة الكيميائية في الهند - إحصائيات وحقائق،» [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.statista.com/topics/٥٦٠١/chemical-industry-in-india/. [تم الاطلاع عليه في ٢٢ سبتمبر ٢٠٢٠].

[٣٦] الأسواق العالمية الدولية، [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.globalmarketsinternational.com/latestmarketpost/egypt-chemical-industry-companies-projects-petrochemical-agrochemical-pharmaceutical/. [تم الاطلاع عليه في ٢٢ سبتمبر ٢٠٢٠].

[٣٧] فريد، «قطاع الكيماويات في مصر يزدهر بمزيد من المشروعات الجارية»، ٢٠١٧. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.egypttoday.com/Article/٣/٣٤٢٦٨/Egypt-s-chemicals-sector-to-boom-on-more-projects-underway. [تم الاطلاع عليه في ٠٥ مايو ٢٠٢٠].

[٣٨] منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، «الاستبيان الاقتصادي لتونس التابع لمنظمة التعاون الاقتصادي والتنمية،» منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، ٢٠١٨.

[٣٩] المقري، «استراتيجية المغرب الصناعية ٢٠١٤-٢٠٢٠ وانعكاساتها المحتملة على عملية التحول الهيكلي،» ٢٠١٦.

[٤٠] الوهابي و بوسلهامي، «تحليل إنتاجية القطاع الصناعي المغربي. النمذجة الاقتصادية» المجلة الدولية للبحث العلمي والتكنولوجيا المبتكرة، المجلد ٤، رقم ١، ٢٠١٧.

[٤١] البنك الدولي، «التصنيع، القيمة المضافة (٪ من الناتج المحلي الإجمالي)،» ٢٠١٨. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.MANF.ZS?view=map. [تم الاطلاع عليه في ٠٦ مايو ٢٠٢٠].

[٤٢] البنك الدولي، «المواد الكيميائية (٪ من القيمة المضافة في التصنيع)»، ٢٠١٨. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://data.worldbank.org/indicator/NV.MNF.CHEM.ZS.UN. [تم الاطلاع عليه في ٠٦ مايو ٢٠٢٠].

[٤٣] TechnoFunc، «قطاعات الصناعات الكيميائية»، ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.technofunc.com/index.php/domain-knowledge/item/sectors-of-chemical-industry. [تم الاطلاع عليه في ٠٦ مايو ٢٠٢٠].

[٤٤] موراليكريشنا ومانيكام، «تقنيات معالجة مياه الصرف الصناعي وإعادة التدوير وإعادة الاستخدام» في الإدارة البيئية، شركة Elsevier Inc، سنة ٢٠١٧.

[٤٥] المفوضية الأوروبية، «الوثيقة المرجعية لأفضل التقنيات المتاحة لتكرير النفط والغاز المعدني،» المفوضية الأوروبية، لوكسمبورغ، ٢٠١٥.

[٤٦] المفوضية الأوروبية، «الوثيقة المرجعية لأفضل التقنيات المتاحة في إنتاج البوليمرات» المفوضية الأوروبية, لوكسمبورج, ٢٠٠٧.

[٤٧] مبخلك، التورابي وفولاديجار، «تصفية ومعالجة مياه الصرف الصحي البتروكيماوية»، في المعالجة المستدامة للمياه والصرف الصحي، شركة Elsevier Inc، سنة ٢٠١٩.

[٤٨] المفوضية الأوروبية، الوثيقة المرجعية لأفضل التقنيات المتاحة لإنتاج المواد الكيميائية العضوية ذات الحجم الكبير، المفوضية الأوروبية، لوكسمبورغ، ٢٠١٧.

[٤٩] محمد قويدر، محمد الفقي وسعد الصيادي، «معالجة مياه الصرف الصحي من صناعة الأسمدة الفوسفاتية»، التطوّر البيئي والطاقة المستدامة، المجلد ٣٣، رقم ٢، ٢٠١٣.

[٥٠] المفوضية الأوروبية، «الوثيقة المرجعية لأفضل التقنيات المتاحة لتصنيع كميات كبيرة من الكيماويات غير العضوية - الأمونيا والأحماض والأسمدة» المفوضية الأوروبية, لوكسمبورج, ٢٠٠٧.

[٥١] عزيز، غزالي، يوسف، «معالجة النفايات وإدارتها في صناعات الكلور القلوي،» في معالجة النفايات في صناعات الخدمات والمرافق، مطبعة CRC، سنة ٢٠١٧.

[٥٢] المفوضية الأوروبية، الوثيقة المرجعية لأفضل التقنيات المتاحة لإنتاج الكلور القلوي، المفوضية الأوروبية، لوكسمبورغ، ٢٠١٤.

[٥٣] المفوضية الأوروبية، «وثيقة مرجعية حول أفضل التقنيات المتاحة لتصنيع المواد الكيميائية غير العضوية ذات الحجم الكبير - صناعة المواد الصلبة وغيرها»، المفوضية الأوروبية، لوكسمبورج، ٢٠٠٧.

[٥٤] المفوضية الأوروبية، الوثيقة المرجعية لأفضل التقنيات المتاحة لأنظمة معالجة / إدارة مياه الصرف الصحي وغازات النفايات الشائعة في القطاع الكيميائي، المفوضية الأوروبية، لوكسمبورغ، ٢٠١٦.

[٥٥] عواله والصبانه، «معالجة مياه الصرف الصحي في الصناعات الكيماوية: المفهوم والتقنيات الحالية» بحوث الهيدرولوجيا الحالية، المجلد ٥، رقم ١، ٢٠١٤.

[٥٦] مؤسسة قواعد العلامات التجارية الهندية، «تحليل صناعة الدواء الهندية،» [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.ibef.org/industry/pharmhemical-india.aspx. [تم الاطلاع عليه في ٢٥ مايو ٢٠٢٠].

[٥٧] e-Eighteen.com، «مراقبة الأموال»، [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.moneycontrol.com/stocks/marketinfo/marketcap/bse/pharmhemicals-drugs.html. [تم الاطلاع عليه في ٢٢ سبتمبر ٢٠٢٠].

[٥٨] راجافان وجوشي، «التوسع الهندي في صناعة الكيماويات،» [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.aiche.org/resources/publications/cep/٢٠١٨/december/indias-expanding-chemical-industry. [تم الاطلاع عليه في ٢٥ مايو ٢٠٢٠].

[٥٩] ريس، «الحد من تصريف تصنيع المضادات الحيوية في مياه الصرف الصحي الهندية»، ١٢ مارس ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.europeanpharmhemicalreview.com/article/١١٥٠٧٤/limiting-antibiotic-manufacturing-discharge-in-indian-wastewater. [تم الاطلاع عليه في ٢٥ مايو ٢٠٢٠].

[٦٠] CHEManager International، «سوق الأدوية بمنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا»، ٣ ديسمبر ٢٠١٨. [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.chemanager-online.com/en/topics/economy-business/mena-pharmaceutical-market. [تم الاطلاع عليه في ٢٥ مايو ٢٠٢٠].

[٦١] منعم، «معاناة صناعة الأدوية في مصر، والشركات متعددة الجنسيات لها نصيب الأسد: تقرير شعاع للأوراق المالية،» ٠٨ يناير ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: http://english.ahram.org.eg/News/٣٥٩١٤١.aspx. [تم الاطلاع عليه في ٢٥ مايو ٢٠٢٠].

[٦٢] ميدل إيست أوبزرفر، «صناعة الأدوية: تحدٍ جدير بالاستثمار»، ٢٨ نوفمبر ٢٠١٧. [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.meobserver.org/?p=١٤٦٧٩. [تم الاطلاع عليه في ٢٥ مايو ٢٠٢٠].

[٦٣] Pharma Boardroom، «PharmaBoardroom» ، [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://pharmaboardroom.com/facts/top-١٠-pharma-companies-in-morocco-ranking/. [تم الاطلاع عليه في ٢٢ سبتمبر ٢٠٢٠].

[٦٤] ميغليريني «المغرب: فرص صناعة الأدوية»، ٢٠ أبريل ٢٠١٨. [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.pharmaworldmagazine.com/from-morocco-the-opportunities-for-the-pharmacy-industry. [تم الاطلاع عليه في ٢٥ مايو ٢٠٢٠].

[٦٥] مجموعة أكسفورد للأعمال، «صناعة الأدوية التونسية تتطلع إلى زيادة التصدير» [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://oxfordbusinessgroup.com/analysis/good-shape-local-pharmaceutical-industry-looking-export-more. [تم الاطلاع عليه في ٢٥ مايو ٢٠٢٠].

[٦٦] العمري وسقف الحيط، «تحليل هيكل صناعة الأدوية الأردنية»، المجلة الأوروبية للعلوم الاجتماعية، المجلد ٤٩، رقم ١، ٢٠١٥.

[٦٧] جاديبيلي، بيريز-غونزاليس، ياداف، أورتيز، إيبانيز، راثود وماراث، «مياه الصرف الصحي للصناعات الدوائية: مراجعة تقنيات معالجة المياه وإعادة استخدامها» بحوث الكيمياء الصناعية والهندسية، المجلد ٥٣، رقم ٢٩، ٢٠١٤.

[٦٨] وكالة حماية البيئة في أيرلندا، «مذكرة إرشادية بشأن أفضل التقنيات المتاحة للمواد الصيدلانية والمواد الكيميائية العضوية المتخصصة الأخرى»، ويكسفورد، ٢٠٠٨.

[٦٩] بال، «معالجة مياه الصرف الصحي من المستحضرات الصيدلانية والتخلص منها: نحو الإستراتيجية المستدامة» مراجعات الفصل والتنقية، المجلد ٤٧، رقم ٣، ٢٠١٨.

[٧٠] إيكهاتا، ونغشقر، ومحمد الدين، «تحلل المستحضرات الصيدلانية المائية بالأوزون وعمليات الأكسدة المتطوّرة: مراجعة،» مجلة الرابطة الدولية للأوزون، المجلد ٢٨، رقم ٦، ٢٠٠٦.

[٧١] رانا، سينغ، كانداري، سينغ، دوبال وجوبتا، «مراجعة حول توصيف مياه الصرف الصحي للصناعات الدوائية والمعالجة الحيوية لها: منظور هندي» علوم المياه التطبيقية المجلد ٧، رقم ١-١٢، ٢٠١٧.

[٧٢] ديجان، باشا، نولان وأوريل، «خيارات معالجة مياه الصرف الصحي من شركات الأدوية،» المجلة الدولية للعلوم البيئية والتكنولوجيا، المجلد ٨، رقم ٣، ٢٠١١.

[٧٣] مؤسسة قواعد العلامات التجارية الهندية، «تحليل صناعة المعادن والتعدين الهندية»، ٢١ أكتوبر ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.ibef.org/industry/metals-and-mining-presentation. [تم الاطلاع عليه في ٠٢ في ٢٠٢٠ نوفمبر].

[٧٤] جاجانموهان، «حجم إنتاج الكروميت في الهند من ٢٠١٠ إلى ٢٠١٩»، إحصائيات، ١٠ أكتوبر ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.statista.com/statistics/٦٦٧٤٦٠/india-chromite-production-volume/. [تم الاطلاع عليه في ٢٩ أكتوبر ٢٠٢٠].

[٧٥] آراء خدمات استشارات الأعمال، «نظرة عامة على صناعة التعدين في الهند»، شراكة التنمية الاقتصادية في فرجينيا، ٢٠١٤.

[٧٦] المكتب الهندي للمناجم، «مبادئ توجيهية لإعداد خطة إغلاق المناجم»، ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://ibm.gov.in/index.php?c=pages&m=index&id=٢١٤. [تم الاطلاع عليه في ١١ مايو ٢٠٢٠].

[٧٧] بندي، «المغرب: صناعة التعدين،» [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://mbendi.co.za/indy/af/mo/p٠٠٠٥htm.ming. [تم الاطلاع عليه في ٠٧ مايو ٢٠٢٠].

[٧٨] الطراونة، «نظرة شاملة لصناعة التعدين في الأردن، الفرص والتهديدات»، مجلة الجيولوجيا المفتوحة المجلد ٦، ٢٠١٦.

[٧٩] الورداني، «مصر تتطلع إلى الذهب بعرضها لمناقصة استكشاف جديدة بحلول مارس،» ١٧ فبراير ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.bloomberg.com/news/articles/٢٠٢٠-٠٢-١٧/egypt-to-hold-new-gold-exploration-tender-after-terms-eased. [تم الاطلاع عليه في ١١ مايو ٢٠٢٠].

[٨٠] المفوضية الأوروبية، الوثيقة المرجعية لأفضل التقنيات المتاحة لإدارة النفايات من الصناعات الاستخراجية، المفوضية الأوروبية، لوكسمبورغ، ٢٠١٨.

[٨١] موهاباترا وكيربالاني، «معالجة النفايات السائلة ومخلفات المناجم: مصادر وتأثيرات وإدارة ودور تكنولوجيا النانو،» تقنية النانو للهندسة البيئية، المجلد ٢، ٢٠١٧.

[٨٢] ريتا، دونج، لي، سو، هو، بو، يو، وان، ليو، لي، إكسو، وانج، وإس إكسو، «الأثر البيئي لتعدين الفوسفات وإثرائه: مراجعة» المجلة الدولية للهيدرولوجيا، المجلد ٢، رقم ٤، ٢٠١٨.

[٨٣] دارمابا وسيفاكومار، «خصائص مياه الصرف الصحي، وإدارتها وإعادة استخدامها في صناعات التعدين ومعالجة المعادن،» في إعادة تدوير مياه الصرف الصحي وإعادة استخدامها وتنقيتهاموسوعة أنظمة دعم الحياة ٢٠٠٢.

[٨٤] أتشيمبونج، معالجة مياه الصرف الصحي في تعدين الذهب بشكل مستدام عن طريق الامتصاص باستخدام مواد منخفضة التكلفة، فاخينينجن، سنة ٢٠١٣.

[٨٥] كاريزما، «صناعة الأغذية والمشروبات في الهند والخارج،» [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.careerizma.com/industries/food-and-beverage. [تم الاطلاع عليه في ٢٢ يونيو ٢٠٢٠].

[٨٦] مؤسسة قواعد العلامات التجارية الهندية «معالجة الطعام الهندي»، نوفمبر ٢٠١٩. [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.ibef.org/industry/indian-food-industry/showcase. [تم الاطلاع عليه في ٢٢ يونيو ٢٠٢٠].

[٨٧] جرانت ثورنتون، «قطاع الأطعمة والمشروبات الهندي»، ٢٠١٤.

[٨٨] كريشنامورثي، «ملف الهند»، مارس ٢٠١٩. [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.gwiwaterdata.com/markets/countries/india#card-١٣٨٧٣٨. [تم الاطلاع عليه في ٢٢ يونيو ٢٠٢٠].

[٨٩] مؤشر موندي، «إنتاج القمح الهندي حسب السنة،» [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.indexmundi.com/agriculture/?country=in&commodity=wheat&graph=production. [تم الاطلاع عليه في ٢٢ يونيو ٢٠٢٠].

[٩٠] أبحاث جولدشتاين، «تحليل صناعة الأرز الهندي،» ٢٠٢٠.

[٩١] منظمة الأغذية والزراعة، «نظرة عامة على قطاع الاستزراع المائي الوطني في الهند،» [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.fao.org/fishery/countrysector/naso_india/en. [تم الاطلاع عليه في ٢٢ يونيو ٢٠٢٠].

[٩٢] ريتشي وروزر، «إنتاج اللحوم والألبان»، نوفمبر ٢٠١٩. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://ourworldindata.org/meat-production. [تم الاطلاع عليه في ٢٢ يونيو ٢٠٢٠].

[٩٣] وزارة الزراعة ورعاية المزارعين، حكومة الهند، «لمحة عن الإحصاءات الزراعية لعام ٢٠١٩»، مديرية الاقتصاد والإحصاء، حكومة الهند، الهند، ٢٠٢٠.

[٩٤] إحصائيات، «الأرز - الهند،» ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.statista.com/outlook/١١٩/٤٠٠٦٢٠٠/rice/india. [تم الاطلاع عليه في ٠٣ في ٢٠٢٠ نوفمبر].

[٩٥] وزارة الزراعة ورعاية المزارعين، حكومة الهند، «لمحة عن الإحصاءات البستانية ٢٠١٨»، حكومة الهند، نيودلهي، ٢٠١٨.

[٩٦] إحصائيات، «اللحوم - الهند،» إحصائيات، ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.statista.com/outlook/١١٩/٤٠١٤٠٠٠٠/meat/india. [تم الاطلاع عليه في ٠٣ في ٢٠٢٠ نوفمبر].

[٩٧] إحصائيات، «الأرز - الهند،» إحصائيات، ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.statista.com/outlook/١١٩/٤٠٠٦٢٠٠/rice/india. [تم الاطلاع عليه في ٠٣ في ٢٠٢٠ نوفمبر].

[٩٨] سانداهيا كيليري، «قيمة القمح المُصدَّر من الهند بين السنة المالية ٢٠١٥ و٢٠٢٠،» إحصائيات، ١٦ ١٠ ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.statista.com/statistics/٦٥٢١٧٢/export-value-of-wheat-india/. [تم الاطلاع عليه في ٠١ ١١ ٢٠٢٠].

[٩٩] عبد الله، دونالوج، جريج، هوفمان، تومورشودور كلوك، «مهارات التجارة والتنويع الاقتصادي في مصر - قطاع تجهيز الأغذية،» منظمة العمل الدولية، جينف، ٢٠١٥.

[١٠٠] هنديله وفياض، «تحليل قطاع تجهيز الأغذية في الأردن واستراتيجية تحسين القطاع»، الجمعية الألمانية للتعاون الدولي ش.ذ.م.م.، سنة ٢٠١٩.

[١٠١] فيليشيا، هوفهيرا، بوندا ومانزو، «مياه الأردن على طول السلسلة الغذائية،» منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة، روم، ٢٠١٥.

[١٠٢] سمير، «صناعة الغذاء في مصر حققت إيرادات ٢٢,٥ مليار دولار في عام ٢٠١٧: وزارة الزراعة الأمريكية،» ١٥ يناير ٢٠١٨. [متاح على الإنترنت]. متاح على: egypts-/١٥/٠١/٢٠١٨/www.dailynewssegypt.com food-industry-achieved-٢٢-revenues-bn-٢٠١٧-usda-٥/. [تم الاطلاع عليه في ٢٣ يوليو ٢٠٢٠].

[١٠٣] Ecomnews، «أهمية صناعة الغذاء في المغرب»، ٢٧ مارس ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: http:// ecomnewsmed.com/article/٥٣٤٧/the-importance-of-moroccos-food-industry----. [تم الاطلاع عليه في ٢٣ يوليو ٢٠٢٠].

[١٠٤] إدارة التجارة الدولية، «تونس - القطاع الزراعي»، ١٤ ٧ ٢٠١٩. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https:// www.export.gov/apex/article٢id=Tunisia-Agricultural-Sector?. [تم الاطلاع عليه في ٠٩ ٠٣ ٢٠٢١].

[١٠٥] مكيلفين، «معالجة المياه ومياه الصرف الصحي في صناعة الأغذية»، ٠٧ يوليو ٢٠١٥. [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.wwdmag.com/industrial-water-wastes-digest/water-wastewater-treatment-food-industry. [تم الاطلاع عليه في ٢٥ يونيو ٢٠٢٠].

[١٠٦] تكنولوجيا المياه، «تحديات معالجة مياه الصرف الصحي في عمليات تجهيز الأغذية والزراعة»، ٣١ أغسطس ٢٠١٨. [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.watertechonline.com/wastewater/ article/١٥٥٥٠٦٨٨/wastewater-treatment-challenges-in-food-processing-and-agriculture. [تم الاطلاع عليه في ٢٥ يونيو ٢٠٢٠].

[١٠٧] A. u. A. e. الرابطة الألمانية لإدارة المياه (DWA)، ورقة المعلومات رقم DWA-M ٧٠٨، مياه الصرف الناجمة عن تصنيع الألبان، رابطة DWA، هينّف، ٢٠١١.

[١٠٨] سلافوف، «الخصائص العامة وإمكانيات معالجة مياه الصرف الصحي لمنتجات الألبان - مراجعة،» تكنولوجيا الغذاء والتكنولوجيا الحيوية، المجلد ٥٥، رقم ١، ٢٠١٧.

[١٠٩] ساركار، شكرابارتي، فيجايكومار وكالي، «معالجة مياه الصرف الصحي في صناعات الألبان - إمكانية إعادة الاستخدام،» تحلية المياه، المجلد ١٩٥، رقم ١-٣، ٢٠٠٦.

[١١٠] تاي، شو وهونغ، «معالجة مياه الصرف من تجهيز المأكولات البحرية،» في معالجة مياه الصرف الصحي في صناعة تجهيز الأغذية، مجموعة تايلور وفرانسيس، ٢٠٠٦.

[١١١] بوستيلو ليكومبيت وميهرفار، «خصائص مياه الصرف الصحي في المسالخ ومعالجتها وإدارتها في صناعة معالجة اللحوم: مراجعة للاتجاهات والتطورات،» مجلة الإدارة البيئية، رقم ١٦١، ٢٠١٥.

[١١٢] A. u. A. e. الرابطة الألمانية لإدارة المياه (DWA)، ورقة المعلومات رقم DWA-M ٧٦٧، مياه الصرف الناجمة عن مرافق الذبح وإنتاج اللحوم، رابطة DWA، هينّف، ٢٠٢٠.

[١١٣] عوض، سلمان وهونغ، «معالجة مخلفات زيت الزيتون،» في معالجة مياه الصرف الصحي في صناعة تجهيز الأغذية، مجموعة تايلور وفرانسيس، ٢٠٠٦.

[١١٤] غلام زاده، بيرفي ومحمد جهانشاهي، «دراسة حول معالجة مياه الصرف الصحي لزيت الزيتون: تأثير تكنولوجيا النانو،» مجلة تكنولوجيا النانو المائية والبيئية، المجلد ١، رقم ٢، ٢٠١٦.

[١١٥] راجابول، سادي، توريجوس، ثانيكال وهونغ، «المعالجة المستدامة لمياه الصرف الصحي الصناعية الزراعية والغذائية باستخدام المعالجة اللا هوائية عالية السرعة،» الماء، رقم ٥، ٢٠١٣.

[١١٦] بيسواس، بانيرجي، كوماري، تشودري وكوكريجا، «هيكل الصناعة والنموذج الابتكاري: صناعة المعادن الأساسية في الهند،» المعهد الوطني لتكنولوجيا العلوم ودراسات التنمية، نيودلهي، ٢٠١٤.

[١١٧] نيدهيش وكومار، «نظرة عامة على الاستدامة البيئية في إنتاج الأسمنت والصلب،» مجلة الإنتاج النظيفص ٨٥٦-٨٧١، ٢٠١٩.

[١١٨] براون، أيدوني، رايكرافت، شاوو، هوبيز، إيفيرت، ديدي وبايدي، «الإنتاج المعدني العالمي ٢٠١٤-١٨،» هيئة المسح الجيولوجي البريطانية، نوتنغهام، ٢٠٢٠.

[١١٩] جمعية الصلب العالمية، «الكتاب الإحصائي السنوي للصلب ٢٠١٩ - إصدار موجز»، جمعية الصلب العالمية، ٢٠٢٠.

[١٢٠] المغرب للصلب، «بعض الأفكار الرئيسية حول سوق الصلب المغربي،» ASM، دبي، ٢٠١٧.

[١٢١] مؤسسة صناعة الصلبVDEh، «إنتاج الصلب ٢٠٢٠». [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.vdeh.de/stahltechnologie/stahlerzeugung/. [تم الاطلاع عليه في ٢٩ يوليو ٢٠٢٠].

[١٢٢] دوتا وشوكشي، المفاهيم الأساسية لصناعة الحديد والصلب، سبرينغر، سنة ٢٠٢٠.

[١٢٣] فايسباخ، ودامس، وجاروشيك، المواد التشغيلية واستخداماتها، فيسبادن: ٢٠١٨، سبرينغر

[١٢٤] بيرنس، وتايسن، المواد التشغيلية الحديدية، الصلب والحديد الزهر، سبرينغر، ٢٠٠٨.

]١٢٥[ يين، هندسة العمليات المعدنية، سبرينغر، ٢٠١١.

[١٢٦] غابي، مبادئ معالجة وحماية أسطح المعادن، إلسفير، ٢٠١٤.

[١٢٧] المكتب الاتحادي لحماية البيئة، «طلا الأسطح الجلفانية»، ٢٩ يناير ٢٠١٣. متاح على: www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/industriebranchen/herstellung-verarbeitung-von-metallen/galvanische-oberflaechenbeschichtung#was-ist-galvanische-oberflachenbeschichtung. [تم الاطلاع عليه في ٢٩ يوليو ٢٠٢٠].

[١٢٨] المفوضية الأوروبية، «الوثيقة المرجعية لأفضل التقنيات المتاحة لإنتاج الحديد والصلب،» المفوضية الأوروبية، لوكسمبورغ، ٢٠١٣.

[١٢٩] المفوضية الأوروبية، «الوثيقة المرجعية لأفضل التقنيات المتاحة لصناعات المعادن غير الحديدية،» المفوضية الأوروبية، لوكسمبورغ، ٢٠١٧.

[١٣٠] المفوضية الأوروبية، «الوثيقة المرجعية لأفضل التقنيات المتاحة لصناعة معالجة المعادن الحديدية،» المفوضية الأوروبية، لوكسمبورغ، ٢٠١٩.

[١٣١] المفوضية الأوروبية، «الوثيقة المرجعية لأفضل التقنيات المتاحة لمعالجة أسطح المعادن والبلاستيك»، المفوضية الأوروبية، لوكسمبورغ، ٢٠٠٦.

[١٣٢] كوكليك وكودلاسيك، الجلفنة بالغمس الساخن للهياكل الفولاذية، بتروورث-هاينمان، ٢٠١٦.

[١٣٣] السويس، الصناعات المعدنية، [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.suezwaterhandbook.com/water-and-generalities/what-water-should-we-treat-and-why/industrial-effluent/metal-industries. [تم الاطلاع عليه في ٣٠ يوليو ٢٠٢٠].

[١٣٤] ألكاميسي، ماتينو، بورزيو وكولا، معالجة مياه الصرف الصحي في صناعة الحديد والصلب: تكامل العمليات لإعادة استخدام المياه، لوليا، ٢٠١٤.

[١٣٥] بي داس، جي موندال، إس سينغ، إيه سينغ، بي براساد وسينغ، «تقنيات معالجة النفايات السائلة في صناعة الحديد والصلب - مراجعة حديثة،» بحوث البيئة المائية، المجلد ٩٠، رقم ٥، ٢٠١٨.

[١٣٦] ماكيش ويونشينا، طرق وحلول معالجة مياه الصرف الصحي، ٢٠١٧.

[١٣٧] كاتلر، دين وهاويت، «تقنيات معالجة المياه البديلة في استخدامات أبراج التبريد»، المختبر الوطني للطاقة المتجددة، ٢٠١٩.

[١٣٨] مؤسسة قواعد العلامات التجارية الهندية، «صناعة النسيج ونمو السوق في الهند،» ٠٣ ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.ibef.org/industry/textiles.aspx. [تم الاطلاع عليه في ٠٧ يوليو ٢٠٢٠].

[١٣٩] دهانابكيام، «صناعة النسيج الهندية - نظرة عامة»، أغسطس ٢٠٠٧. [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.fibre٢fashion.com/industry-article/٢٣٦٣/indian-textile-industry-an-overview. [تم الاطلاع عليه في ٠٧ يوليو ٢٠٢٠].

[١٤٠] كريشنامورثي، «دباغة المنسوجات والجلود،» مارس ٢٠١٩. [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.gwiwaterdata.com/markets/countries/india#card-١٤٠٢٨٧. [تم الاطلاع عليه في ٠٧ يوليو ٢٠٢٠].

[١٤١] مؤسسة قواعد العلامات التجارية الهندية، «صناعة الجلود والصادرات»، مارس ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.ibef.org/exports/leather-industry-india.aspx. [تم الاطلاع عليه في ٠٧ يوليو ٢٠٢٠].

[١٤٢] منعم، «هدف مصر إلى أن تصبح مركزًا لصناعة النسيج بحلول عام ٢٠٢٥»، ١٩ سبتمبر ٢٠١٩. [متاح على الإنترنت]. متاح على: http://english.ahram.org.eg/NewsContent/٣/١٢/٣٥١١٧٢//Business/Economy/Egypt-aims-to-be-textile-industry-hub-by-٢٠٢٥.aspx. [تم الاطلاع عليه في ٠٨ يوليو ٢٠٢٠].

[١٤٣] استثمر في المغرب، «فرص الاستثمار في النسيج والجلود» [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.invest.gov.ma/?Id=١٤٣&Ref=١&lang=en&RefCat=٢٣. [تم الاطلاع عليه في ٠٨ يوليو ٢٠٢٠].

[١٤٤] Fibre٢Fashion، «تسليط الضوء العالمي على صناعة النسيج المصرية»، مارس ٢٠١١. [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.fibre٢fashion.com/industry-article/٥٤٦٥/egyptian-textile-industry-comes-under-the-global-radar. [تم الاطلاع عليه في ٠٨ يوليو ٢٠٢٠].

[١٤٥] مجموعة أكسفورد للأعمال، «قطاع المنسوجات المتنامي في المغرب،» ٢٠١٥. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://oxfordbusinessgroup.com/analysis/textiles-sector-growing-morocco. [تم الاطلاع عليه في ٠٨ يوليو ٢٠٢٠].

[١٤٦] مجموعة أكسفورد للأعمال، «المنسوجات التونسية تسعى إلى الابتكار للمنافسة»، ٢٠١٧. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://oxfordbusinessgroup.com/analysis/spirit-competition-textiles-industry-looking-innovate-while-capitalising-domestic-strengths. [تم الاطلاع عليه في ٠٨ يوليو ٢٠٢٠].

[١٤٧] كوهان تكستيل جورنال، «صناعة النسيج والملابس الأردنية»، يونيو ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://kohantextilejournal.com/jordans-textile-apparel-industry/. [تم الاطلاع عليه في ٠٨ يوليو ٢٠٢٠].

[١٤٨] الخير، «الترويج الدولي والأفريقي البيني»، مركز التجارة الدولية، ٢٠١٠.

[١٤٩] خالد، «صناعة الجلود المصرية: هل الروبيكي حل لصناعة مهددة بالانهيار؟»، ٠٢ يونيو ٢٠١٩. [متاح على الإنترنت]. متاح على: http://businessforwardauc.com/٢٠١٩/٠٦/٠٢/egypts-leather-industry-is-robeki-a-solution-for-an-industry-threatened-with-collapse/. [تم الاطلاع عليه في ٠٨ يوليو ٢٠٢٠].

[١٥٠] إينولا، «D.١-٢: مكانة صناعة الجلود في الأردن. تقرير مناقشات مجموعة التركيز»، برنامج Erasmus +، سنة ٢٠١٧.

[١٥١] غريس، وفايت، وفلوفهورس، عملية صناعة المنسوجات، ٢٠٢٠.

[١٥٢] مجلس المهندسين الاستشاريين NIIR، تكنولوجيا معالجة الجلود والدباغة، ٢٠١١.

[١٥٣] المفوضية الأوروبية، «الوثيقة المرجعية لأفضل التقنيات المتاحة لصناعة المنسوجات،» المفوضية الأوروبية، ٢٠٠٣.

[١٥٤] A. u. A. e. الرابطة الألمانية لإدارة المياه DWA «ورقة المعلومات رقم DWA M ٧٧٤ مياه الصرف الناجمة عن مصانع الجلود»، رابطة DWA، هيننف، ٢٠١٩.

[١٥٥] جامعة شيفيلد، «دراسة حالة - مياه الصرف الصحي من النسيج،» [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://sites.google.com/site/textileindustryeffluent/introduction-to-wastewater/case-study---textile-wastewater. [تم الاطلاع عليه في ٠٩ ٠٣ ٢٠٢١].

[١٥٦] شودري، مصطفى، بيسواس، مندال وساها، «توصيف النفايات السائلة من صناعات معالجة الجلود،» العمليات البيئية، رقم ٢، ٢٠١٥.

[١٥٧] المفوضية الأوروبية، «الوثيقة المرجعية لأفضل التقنيات المتاحة لدباغة الجلود الكبيرة والصغيرة،» المفوضية الأوروبية، لوكسمبورغ، ٢٠١٣.

[١٥٨] بي سينغ، آر سينغ، آر جوبتا و آر سينغ، «معالجة وإعادة تدوير مياه الصرف الصحي من صناعة النسيج،» في التطوّر في المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصناعي وإعادة تدويرها من أجل مستقبل مستدام، سبرينغر، ٢٠١٩.

[١٥٩] شوارتز، آر روسويل، سي جاكسون موس، إيه مبوفو وبي ويلز، «إدارة المياه والصرف الصحي في صناعة الدباغة وصقل الجلود،» لجنة أبحاث المياه، ٢٠١٧.

[١٦٠] كومار وسارافانان، «المعالجة المستدامة لمياه الصرف الصحي في قطاع النسيج،» في الألياف والمنسوجات المستدامة، Woodhead للنشر، ٢٠١٧.

[١٦١] ميلا، جلانيرت وجوترس، «إزالة الكروم من مياه الصرف الصحي الناتجة من الدباغة وإعادة استخدامها،» سلامة العمليات وحماية البيئة، رقم ٩٥، ٢٠١٥.

[١٦٢] حبيب، كانساسامي، علي، سيسوباثي ويونس، «استعراض لمصادر انبعاث كبريتيد الهيدروجين، واللوائح، وتقنيات الإزالة،» مراجعات في الهندسة الكيميائية، المجلد ٣٤، رقم ٦، ٢٠١٧.

[١٦٣] رابطة مصنعي الورق الهندية، «نظرة عامة على صناعة الورق»، ٢٠١٨. [متاح على الإنترنت]. متاح على: http://ipma.co.in/overview/. [تم الاطلاع عليه في ١٦ يوليو ٢٠٢٠].

[١٦٤] كريشنامورثي، «لب الورق والورق الهندي،» يونيو ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.gwiwaterdata.com/markets/countries/india. [تم الاطلاع عليه في ١٦ يوليو ٢٠٢٠].

[١٦٥] «سوق اللب والورق الهندي - التحليل الصناعي والتوقعات»، أبريل ٢٠١٩. [متاح على الإنترنت]. متاح على: http://www.maximizemarketresearch.com/market-report/indian-paper-pulp-market/٢٩٠٤٤/#details. [تم الاطلاع عليه في ١٦ يوليو ٢٠٢٠].

[١٦٦] تقنية اللب والورق، «عوامل النمو التي تواجه الصناعات الورقية الهندية،» [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.pulpandpaper-technology.com/articles/indianpulp. [تم الاطلاع عليه في ١٦ يوليو ٢٠٢٠].

[١٦٧] تقييمات الرعاية، «صناعة الورق الهندية - الاستخراج من الغابة»، ٢٠١٨.

[١٦٨] Chambre Francaise de commerce et d›industrie du Maroc, «L›industrie du papier et du carton au Maroc: un secteur en cours de structuration»، ٢٣ نوفمبر ٢٠١٤. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.cfcim.org/magazine/٢١٥٦١. [تم الاطلاع عليه في ١٧ يوليو ٢٠٢٠].

[١٦٩] كرو هوروث، «الورق»، [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.crowe.com/eg/industries/paper. [تم الاطلاع عليه في ١٧ يوليو ٢٠٢٠].

[١٧٠] مارتن، «L›industrie du papier: L›activité bridée par la faiblesse des investissements»، [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.entreprendre.ma/Industrie-du-papier-l-activite-bridee-par-la-faiblesse-des-investissements_a٦٠٧٨.html. [تم الاطلاع عليه في ١٧ يوليو ٢٠٢٠].

[١٧١] منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة، «منتجات الغابات»، منظمة الأغذية والزراعة، روم، ٢٠١٧.

[١٧٢] Agence de promotion de l›industrie et de l›innovation, «Les industries diverses en Tunisie,» Agence de promotion de l›industrie et de l›innovation, ٢٠١٤.

[١٧٣] المفوضية الأوروبية، «الوثيقة المرجعية لأفضل التقنيات المتاحة لإنتاج اللب والورق والكرتون»، المفوضية الأوروبية، لوكسمبورغ، ٢٠١٥.

[١٧٤] هوب، ميتس، هيرموسيلا، بلانكو، يروشالمي، هاغيغات، لينوهولم ليهتو، خودابارست، كمالي وإليوت، «معالجة مياه الصرف الصحي وتنقيتها: استعراض ممارسات وفرص صناعة اللب والورق،» الموارد الحيوية، المجلد ١١، رقم ٣، ٢٠١٦.

[١٧٥] المكتب الاتحادي للبيئة «صناعة البطاريات والورق»، ٢٤ فبراير ٢٠١٤. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/industriebranchen/holz-zellstoff-papierindustrie/zellstoff-papierindustrie. [تم الاطلاع عليه في ٢٠ يوليو ٢٠٢٠].

[١٧٦] باجباي، «نظرة عامة أساسية على عملية تصنيع اللب والورق،» في الكيمياء الخضراء والاستدامة في صناعة اللب والورق، شام، سبرينغر، ٢٠١٥، ص ١١ - ٣٩.

[١٧٧] A. u. A. e. الرابطة الألمانية لإدارة المياه DWA «ورقة المعلومات رقم DWA M ٧٣١ مياه الصرف الناجمة والنفايات عن صناعة الورق»، رابطة DWA، هيننف، ٢٠١١.

]١٧٨[ بال، «معالجة المياه الخاصة بالصناعة: دراسات الحالة» في التقنية، Elsevier، سنة ٢٠١٧، ص ٢٤٣-٥١١.

[١٧٩] كمالي وخودابارست، «مراجعة التطورات الأخيرة في معالجة مياه الصرف الصحي لمصانع اللب والورق»، علم السموم البيئية والسلامة البيئية، المجلد ١١٤، ص ٣٢٦-٣٤٢، ٢٠١٥.

[١٨٠] كابريرا، «مياه الصرف الصحي من طحن اللب: الخصائص والعلاج» في المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي واستعادة الموارد، IntechOpen، سنة ٢٠١٧.

[١٨١] لاهيري، «تحديات الهند في إدارة النفايات»، ٨ مايو ٢٠١٩. [متاح على الإنترنت]. متاح على: www.downtoearth.org.in/blog/waste/india-s-challenges-in-waste-management-٥٦٧٥٣. [تم الاطلاع عليه في ٠٢ يونيو ٢٠٢٠].

[١٨٢] كومار، سميث، فوهلر، فيليس، كومار، آريا، كومار وشيسمان، «التحديات والفرص المرتبطة بإدارة النفايات في الهند،» الجمعية الملكية المفتوحة للعلوم، المجلد ٤، رقم ٣، ٢٠١٧.

[١٨٣] إس داس وبهاتشاريا، التصنيف والحصول على الطاقة من نفايات البلدية الصلبة، الناتجة عن المناطق الحضرية الكبرى في كولكاتا، الهند، بومباي، ٢٠١٣.

[١٨٤] وانواري، ثاكور، فيجاي وجوش، «سيناريو دفن النفايات في الهند: المشاكل والتحديات والتوصيات» في كتيب إدارة المواد البيئية، سبرينغر، ٢٠١٨.

[١٨٥] فيوليا الهند، «دفن النفايات،» [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.veolia.in/our-services/landfilling. [تم الاطلاع عليه في ٢٣ سبتمبر ٢٠٢٠].

[١٨٦] سويس الهند، «الطموح في الهند،» [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://www.suez.in/en-in/who-we-are/suez-in-india/our-ambition-in-india. [تم الاطلاع عليه في ٢٣ سبتمبر ٢٠٢٠].

[١٨٧] ذا وير، «الهند تفرض حظرًا كاملًا على واردات النفايات البلاستيكية الصلبة»، ٠٧ مارس ٢٠١٩. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://thewire.in/environment/india-solid-plastic-import-banned. [تم الاطلاع عليه في ٠٢ يونيو ٢٠٢٠].

[١٨٨] SWEEP-Net، «تقرير على مستوى الدولة عن إدارة النفايات الصلبة في مصر»، الجمعية الألمانية للتعاون الدولي، ش.ذ.م.م.، ٢٠١٤.

[١٨٩] SWEEP-Net، «تقرير عن إدارة النفايات الصلبة في المغرب»، الجمعية الألمانية للتعاون الدولي، ش.ذ.م.م.، ٢٠١٤.

[١٩٠] SWEEP-Net، «تقرير عن إدارة النفايات الصلبة في تونس»، الجمعية الألمانية للتعاون الدولي، ش.ذ.م.م.، ٢٠١٤.

[١٩١] SWEEP-Net، «تقرير على مستوى الدولة حول إدارة النفايات الصلبة في الأردن»، الجمعية الألمانية للتعاون الدولي، ش.ذ.م.م.، ٢٠١٤.

[١٩٢] عبد الرحمن، «إدارة النفايات الصلبة في تونس»، ٠٢ يونيو ٢٠١٨. [متاح على الإنترنت]. متاح على: www./ecomena.org/solid-waste-management-tunisia. [تم الاطلاع عليه في ٠٢ يونيو ٢٠٢٠].

[١٩٣] محمد الجرادين، «إدارة النفايات الصلبة في الأردن»، المجلة الدولية للبحوث الأكاديمية في الأعمال والعلوم الاجتماعية، المجلد ٤، رقم ١١، ٢٠١٤.

[١٩٤] إعادة التدوير العالمي، «المغرب: «إمكانات هائلة للاستثمار»، [متاح على الإنترنت]. متاح على: https:// global-recycling.info/archives/٢٥٧٤. [تم الاطلاع عليه في ٠٢ يونيو ٢٠٢٠].

[١٩٥] ويلسون، «توقعات إدارة النفايات العالمية،» برنامج البيئة الوطنية المتحدة، ٢٠١٥.

[١٩٦] داخروث، «تقنية المكبات» في كتيب جيولوجيا البناء والهندسة الجيوتقنية، سبرينغر، ٢٠١٧.

[١٩٧] ويزونسكي، روبرت، سماسز جورسكا وميكش، «طرق معالجة المادة المرتشحة الناتجة من دفن النفايات: استعراض،» رسائل الكيمياء البيئية، المجلد ٤، رقم ١، ٢٠٠٦.

[١٩٨] كجيلسن، إم بارلاز، إيه روكر، إيه باون، ليدن وكريستنسن، «التركيبة الحالية والطويلة الأجل للمواد المرتشحة الناتجة من مدافن النفايات الصلبة المحلية: استعراض،» مراجعات نقدية في علوم وتكنولوجيا البيئة، المجلد ٣٢، رقم ٤، ٢٠٠٢.

[١٩٩] ريتنبرغر، «المكبات» في مدخل إلى الاقتصاد التدويري، سبرينغر، ٢٠١٧.

[٢٠٠] كجيلسن، إم بارلاز، إيه روكر، إيه باون، ليدن وكريستنسن، «التركيبة الحالية والطويلة الأجل للمواد المرتشحة الناتجة من مدافن النفايات الصلبة المحلية: استعراض،» مراجعات نقدية في علوم وتكنولوجيا البيئة، رقم ٣٢ (٤)، ٢٠٠٢.

[٢٠١] محمد قمر الدين، محمد يوسف، عزيز وهونغ، «المعالجة المستدامة للسائل المرتشح من مدافن النفايات،» علوم المياه التطبيقية المجلد ٥، ٢٠١٥.

[٢٠٢] عزيز، حسن عزيز، محمد يوسف وبشير، «معالجة السائل المرتشح المكب باستخدام مسحوق الكربون النشط المعزز المتسلسل في عملية التفاعل الدفعي: التحسين من خلال منهجية استجابة السطح،» مجلة المواد الخطرة، المجلد ١٨٩، رقم ١-٢، ٢٠١١.

[٢٠٣] إيماي، أونوما، إيناموري وسودو، «التحلل البيولوجي والامتزاز في معالجة المواد المرتشحة المقاومة للحرارة عن طريق عملية الطبقة المميعة بالكربون المنشط بيولوجيًا،» بحوث المياه، المجلد ٢٩، رقم ٢، ١٩٩٥.

[٢٠٤] بوهديزيوش وكوارسياك، «تطبيق نظام تفاعل هجين UASB-RO في معالجة المادة المرتشحة الناتجة من مدافن النفايات،» تحلية المياه، المجلد ٢٢٢، رقم ١-٣، ٢٠٠٨.

[٢٠٥] أهن، كانغ، يم وشوي، «المعالجة المتقدمة للمادة المرتشحة من مكبات النفايات باستخدام عملية الغشاء المتكاملة،» تحلية المياه، المجلد ١٥٩، رقم ١-٣، ٢٠٠٢.

[٢٠٦] تريبويت، شلومبف، جاوين وكيمنور، «معالجة المادة المرتشحة من مدافن النفايات المستقرة من خلال عمليات الترشيح الفيزيائية والكيميائية والنانوية المشتركة،» بحوث المياه، المجلد ٣٥، رقم ١٢، ٢٠٠١.

[٢٠٧] مريم ونغيم، «معالجة المادة المرتشحة باستخدام عمليات تخثر هجينة - الترشيح النانوي»، تحلية المياه، المجلد ٢٥٠، رقم ٢، ٢٠١٠.

[٢٠٨] ذوفغاري، جارداك، دروغي، برار، بولنا ودوبي، «معالجة المواد المرشحة من مكب النفايات عن طريق التفاعل الحيوي الغشائي المتسلسل وعمليات الأكسدة الكهربائية،» مجلة الإدارة البيئية، المجلد ١٨٤، رقم ٢، ٢٠١٦.

[٢٠٩] لاكوني، رامادوري ولوبيز، «التحلل البيولوجي والكيميائي المشترك لمعالجة المواد المرشحة من مدافن نفايات البلدية،» مجلة الهندسة البيوكيميائية، المجلد ٣١، رقم ٢، ٢٠٠٦.

[٢١٠] وانغ، تشانغ، واي جيه لين، دنج، تاو وزوهو، «معالجة المواد المرتشحة من مكب النفايات عن طريق عملية التخثر والأكسدة الضوئية،» مجلة المواد الخطرة، المجلد ٩٥، رقم ١-٢، ٢٠٠٢.

[٢١١] يوو، شو وكو، «تعديل عمليات التخثر وأكسدة الفنتون من أجل المعالجة الفعّالة للمواد المرتشحة من حيث التكلفة،» مجلة العلوم والصحة البيئية، المجلد ٣٦، رقم ١، ٢٠٠١.

[٢١٢] غويال، مكتب المعلومات الصحفية، ٠٥ فبراير ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://pib.gov.in/PressReleseDetail.aspx؟

[٢١٣] مركز العلوم والبيئة، «بوابة الهند البيئية»، ٢٥ أغسطس ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: http://www.indiaenvironmentportal.org.in.

[٢١٤] IGEP، «محطات معالجة النفايات السائلة الشائعة: نظرة عامة، تقنيات وأمثلة حالة،»GIZ ، نيودلهي، ٢٠١٥.

[٢١٥] حكومة الهند، ««National Green Tribunal،٢٠١٩ . [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://greentribunal.gov.in/.

[٢١٦] أرزقي وبلحاج، «تطوير مبادرات للشراكة بين القطاعين العام والخاص في الشرق الأوسط وشمال إفريقيا»، مجموعة البنك الدولي، واشنطن العاصمة، ٢٠١٩.

[٢١٧] منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية، تقرير التنمية الصناعية ٢٠١٨، الأمم المتحدة، فيينا، ٢٠١٧.

[٢١٨] المسّاح، «التعايش الصناعي داخل المجمعات الصناعية البيئية: التنمية المستدامة لبرج العرب في مصر،» استراتيجية العمل والبيئة، ص ٨٨٤-٨٩٢، ٢٠١٨.

[٢١٩] محمد بن حميدة، تدوير القمامة على مستوى العالم، ٢٥ أغسطس ٢٠٢٠. [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://global-recycling.info/archives/١٤٦٥.

[٢٢٠] زهنج، وانج، وانج، ني، سمال، شي وشاونا، «التحليل الببليومتري لأبحاث مياه الصرف الصناعي: الاتجاهات الحالية والآفاق المستقبلية،» السينتوميتريكس، ص ٨٦٣-٨٨٢، ٢٠١٥.

[٢٢١] المفوضية الأوروبية، «الوثيقة المرجعية لأفضل التقنيات المتاحة لأنظمة معالجة / إدارة مياه الصرف الصحي وغازات النفايات الشائعة في القطاع الكيميائي»، المفوضية الأوروبية, لوكسمبورج, ٢٠١٦.

[٢٢٢] سعد، زيلان، وان علوي، ليم ومنان، «نحو تكامل المياه في الأمور الصناعية البيئية: نظرة عامة على استعادة استخدام المياه من الصناعات،» علم و هندسة المواد، رقم ٧٠٢، ٢٠١٩.

[٢٢٣] باور، ديل، بهينش، شن، بي، نيجوين، لينكي وواجنر، «مفاهيم إعادة استخدام المياه للمجمعات الصناعية في المناطق التي تعاني من النقص المائي في جنوب شرق آسيا،» إمدادات المياه، المجلد ٢٠، رقم ١، ٢٠٢٠.

[٢٢٤] المفوضية الأوروبية، «الوثائق المرجعية» [متاح على الإنترنت]. متاح على: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference. [تم الاطلاع عليه في ٠٣ أغسطس ٢٠٢٠].

[٢٢٥] تونج والمليش، «الارتفاع العالمي في معدل تصريف السوائل الصفري لإدارة مياه الصرف الصحي: الدوافع والتقنيات والتوجهات المستقبلية،» علوم وتكنولوجيا البيئة، المجلد ٥٠، رقم ١٣، ٢٠١٦.

[٢٢٦] فيبر «الخطوط الإرشادية لكفاءة إدارة الموارد» مركز VDI لكفاءة إدارة الموارد، ٢٠١٩.

[٢٢٧] أنتي، بيرندت، بينيمان، بلوشر، بولدان، جيسر، هورن، كرول، كونز، مارزينكوفسكي، نوينمان، أوليز، روزلر، روتر، شرام، زيفيرس، سزيفزيك، تراك، فويغت، فيناندز، «التوجهات والمنظورات في إدارة المياه الصناعية» مؤسسة DECHEMA ش.م.، فرانكفورت أم ماين، ٢٠١٧.

[٢٢٨] أونشكا، ريتهوف، ليدتكي «دليل استخدام الأدوات لزيادة كفاءة إدارة الموارد،» مؤسسة فوبرتال للمناخ والبيئة والطاقة ش.ذ.م.م.، ٢٠٠٨.

[٢٢٩] شركة «German Water Partnership، ٤,٠ - صنع في ألمانيا»، شركة «Wasser German Water Partnership»، برلين، ٢٠١٩.

[٢٣٠] أنتي، بينيمان، بلوشر، إنيجلهارت، فيتزكي، جيسن، هاوسفيرث، كوزاريسزكزوك، ليونهويزر، روثر، زاجافا، شليسمان، تراك، فيلنر، زيمر، «ورقة تعليمات المياه الصاعية ٤,٠» جمعية الهندسة التقنية والهندسة الجيوتقنية ش.م.، فرانكفورت أم ماين، ٢٠١٨.

## هيئة التحرير

**الجهة الناشرة وهيئة التحرير**
German Water Partnership e.V.
٣٢ Reinhardtstraße
١٠١١٧ برلين، ألمانيا
+٤٩ (٠) ٣٠ ٣٠٠١٩٩ – ١٢٢٠
info@germanwaterpartnership.de
https://germanwaterpartnership.de

**المؤلف (اختياري)**
لينا هاينريش، Isle Utilities GmbH für German Water Partnership e.V.
دكتور باستيان بيلتس، Isle Utilities GmbH für German Water Partnership e.V.
دكتور كرانستوفر، Isle Utilities GmbH für German Water Partnership e.V.
تقع مسؤولية محتوى هذا المنشور على عاتق مؤلّفيه.

**الصياغة**
www.corporate-new.de

**تاريخ الإصدار**
نوفمبر ٢٠٢١

**مصادر الصور**
ANDRITZ: ص. ٤٦, ٤٧ · A.T.E. HUBER Envirotech Private Limited: ص. ٣٨, ٣٩, ٦٠, ٦١
BMU/photothek/Thomas Trutschel: ص. ٤ · CERAFILTEC Germany GmbH: ص. ٦٣
enviplan Ingenieurgesellschaft mbH: ص. ٥٦, ٥٧ · EnviroChemie GmbH: ص. ٤٥, ٥٨, ٥٩
FUCHS Enprotec GmbH: ص. ٩٦, ٩٧ · German Water Partnership e. V.: ص. ٥, ٩, ١٠, ١٢, ١٣
i+M GmbH & Co.KG: ص. ٨٣ · Jäger Umwelt-Technik GmbH: ص. ١٠٤, ١٠٥
JUMO GmbH & Co. KG: ص. ٧٢, ٧٣ · Lanxess Deutschland GmbH: ص. ٣٠, ٣١
MANN+HUMMEL: ص. ٢١ · PWT Wasser- und Abwassertechnik GmbH: ص. ٥٥, ١٠٧
REMONDIS Aqua Industrie GmbH & Co. KG: ص. ٢٩ · shutterstock: ص. ١
Siemens AG: ص. ١٠٨ · stock.adobe.com: ص. ١٢, ١٤, ١٦, ١٨, ٢٢, ٢٤, ٢٥, ٣٢, ٣٤, ٣٧, ٤٠, ٤٢, ٤٣, ٤٨, ٥٠, ٥٢, ٦٤, ٦٦, ٦٩, ٧١, ٧٤, ٧٧, ٨١, ٨٤, ٨٦, ٨٨, ٩٠, ٩٨, ١٠١, ١١١

**بالتعاون مع**
الجمعية الألمانية
للتعاون الدولي GmbH (GIZ)
مشروع عالمي
"دعم مبادرة تصدير التقنيات البيئية" (BMU)
٢ .Köthener Str
١٠٩٦٣ برلين
هاتف: ٦٤٦ ٤٢٤ ٣٣٨ ٣٠ (٠) ٤٩+
البريد الإلكتروني markus.luecke@giz.de
موقع الإنترنت www.giz.de

مزيد من المعلومات
https://www.giz.de/de/weltweit٧٨٨٦٩.html

المشروع العالمي هو جزء من مبادرة BMU لتصدير التقنيات البيئية.

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

On behalf of:
Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety
of the Federal Republic of Germany