The ERI ITA is funded by the European Investment Bank

Tetra Tech International Development

Economic Resilience Initiative - Infrastructure Technical Assistance TA2017141 R0 ERI

المهمة 1.8: تقرير انبعاثات غازات الدفيئة *GHGs* لمشروع العقبة -عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC

تاريخ الإصدار: التاسع عشر من كانون الثاني 2022

تم تمويل *Infrastructure Technical Assistance* التشغيلية هذه بموجب إطار مبادرة *Economic Resilience Initiative* التابعة لبنك الاستثمار الأوروبي *EIB*. هذا وقد قام البنك بإطلاق هذه المبادرة استجابةً لدعوة المجلس الأوروبي لتكثيف دعمه لدول جوار الاتحاد الأوروبي سعياً لدفع عجلة النمو الاقتصادي وتحقيقاً لأهداف التنمية المستدامة، ولعل الهدف من هذه المبادرة يكمن بتأمين تمويلٍ إضافي على وجهِ السرعةِ لدعم النمو المستدام، والبنية التحتية الحيوية، والتماسك الاجتماعي في بلدان الجوار الجنوبي وغرب البلقان. كما تركز مبادرة *Economic Resilience Initiative* على القطاعين العام والخاص دعماً لأنشطة بنك الاستثمار الأوروبي *EIB* خلال المراحل المختلفة من دورة المشروع. هذا وقد ساهم بنك الاستثمار الأوروبي *EIB* في نافذة تمويل المساعدة الفنية لمبادرة *Economic Resilience Initiative* بمبلغ 90 مليون يورو مُوّلت من موارد ميزانيته الخاصة.

إخلاء المسؤولية

يتحمل مؤلف هذا التقرير المسؤولية الكاملة عما ورد فيه. ويشار الى أن وجهات النظر المطروحة به تعبر عن رأي الكاتب فحسب وقد لا تعكس بالضرورة-وجهة نظر بنك الاستثمار الأوروبي .

تقع مسؤولية محتويات هذا التقرير على عاتق ائتلاف شركات WYG و Economic Resilience Initiative Infrastructure Technical Assistance "ERI" "ITA"، ولا تعكس بأي حال من الأحوال وجهات نظر بنك الاستثمار الأوروبي أو الاتحاد الأوروبي.

تم إصدار هذا المستند للطرف الذي كُلف بإعداده ولأغراض محددة مرتبطة بالمشروع المذكور أعلاه فقط. إذ لا ينبغي الاعتماد عليه من قبل أي طرف آخر أو استخدامه لأي أغراض آخرى بخلاف ذلك.

نخلي مسؤوليتنا من تحمل أية عواقب قد تنجم عن الاعتماد على هذا المستند من قبل أي طرف آخر، أو استخدام هذ المستند لأي غرض آخر بخلاف المشار اليه. هذا ولا نتحمل مسؤولية ما قد يرد به من خطأ أو إغفال قد يكون ناجم عن خطأ أو إغفال في البيانات المقدمة إلينا من قبل أطراف أخرى.

تحتوي هذه الوثيقة على معلومات سرية وملكية فكرية خاصة لا ينبغي إظهارها للأطراف الأخرى دون موافقة منا ومن الطرف الذي كلَّفه بذلك.

سجل مشكلة التقرير

عنوان المشروع: التقييم الأولي للمخاطر ودراسة تقييم الأثر البيئي والاجتماعي ESIA لمشروع العقبة – عمان لتحلية ونقل المياه " AAWDC" (الأردن)

رقم المشروع: 21-MSK-JOR-ENV – AAWDC

عنوان التقرير: تقرير المهمة 1.8 - تقرير انبعاثات غازات الدفيئة GHGs

العدد: 2

المراجعة	1	2	3	4
التاريخ	7 تشرين الأول 2021	19 كانون الثاني 2022		
التفاصيل	تقرير انبعاثات غازات الدفيئة GHGs	تقرير انبعاثات غازات الدفيئة GHGs		
إعداد	Dr. Renalda El-Samra أخصائية التغير المناخي	Dr. Renalda El-Samra أخصائية التغير المناخي		
تم التحقق من قبل	Tim Young SPM	Tim Young SPM		
تمت الموافقة عليه من قبل	Mathieu Arndt TL Manuel Benard DTL	Mathieu Arndt TL Manuel Benard DTL		

جدول المحتويات

سجل مشكلة التقرير 1
قائمة الأشكال ii
قائمة الجداول ii
مسرد المصطلحات والاختصارات 1
1 المقدمة 3
2 منهجية حساب بصمة غازات الدفيئة GHGs 4
2-1 المقدمة 4
2-2 حدود المشروع 4
2-3 عملية القياس الكمي والمنهجيات 5
3 حدود مشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC 8
4 حسابات انبعاثات غازات الدفيئة GGE للأعمال البحرية 10
4-1 الوصف 10
4-2 انبعاثات غازات الدفيئة GGEs خلال مرحلة الإنشاء 14
4-2-1 أبراج المأخذ المغمورة بمياه البحر 14
4-2-2 خطوط أنابيب المأخذ ومنفذ التصريف المغمورة بمياه البحر 15
4-2-3 محطة ضخ وسحب مياه المأخذ البرية 15
4-2-4 خط أنابيب مياه البحر والمحلول الملحي 16
4-3 انبعاثات غازات الدفيئة GGEs خلال مرحلة التشغيل 17
5 حسابات انبعاثات غازات الدفيئة GGE لمحطة التحلية 18
5-1 الوصف 18
5-2 انبعاثات غازات الدفيئة GGEs خلال مرحلة الإنشاء 19
5-2-1 محطة التحلية 19
5-2-2 خزانات مياه البحر والمحلول الملحي والمياه العذبة 19
5-3 انبعاثات غازات الدفيئة GGEs خلال مرحلة التشغيل 20
6 حسابات انبعاثات غازات الدفيئة GGE لنظام نقل المياه 21
6-1 الوصف 21
6-2 انبعاثات غازات الدفيئة GGEs خلال مرحلة الإنشاء 23
6-2-1 خطوط أنابيب نقل المياه 23
6-2-2 محطات الضخ 24
6-2-3 خزانات التجميع 25
6-3 انبعاثات غازات الدفيئة GGEs خلال مرحلة التشغيل 26
7 الخاتمة 28
8 إجراءات ترشيد الطاقة 30
9 المراجع 32

10 الملحق 1 35
10-1 المقدمة 35
10-2 مراجعة المؤلفات 36
10-3 الخلاصة 42

قائمة الأشكال

الشكل 1: تدفق حساب البصمة الكربونية للمشروع (المصدر:EIB, 2020) 6
الشكل 2: الحدود الإجمالية لمشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC 9
الشكل 3: خط أنابيب السحب والمأخذ (المصدر: Dar/HR Wallingford، 2021) 10
الشكل 4: المأخذ – المقطع العلوي (المصدر: Wallingford Dar / HR، 2021) 11
الشكل 5: أبراج المأخذ – مقطع من المخطط الداخلي (المصدر: Dar / HR Wallingford، 2021) 11
الشكل 6: توجيه خطوط أنابيب المأخذ ومنفذ التصريف (المصدر: Dar / HR Wallingford، 2021) 12
الشكل 7: المنطقة الضحلة من ممر خط الأنابيب - مثال نموذجي -حيث يُظهر المقطع العرضي ترتيب وضع خطوط أنابيب المأخذ /منفذ التصريف في الخندق المشترك (المصدر: Dar / HR Wallingford، 2021) 13
الشكل 8: المنطقة العميقة من ممر خط الأنابيب - مثال نموذجي على المقاطع العرضية لخط أنابيب المصب في قاع البحر (المصدر: Dar / HR Wallingford، 2021) 13
الشكل 9: موقع محطة سحب وضخ المياه مع الأخذ بعين الاعتبار محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO 14
الشكل 10: تدفق عمليات محطة التحلية بأكملها (المصدر: CDM Smith) 18
الشكل 11: ملف تخطيطي لمشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC 21
الشكل 12: حدود النظام للاعتبارات البيئية (المصدر: Hajibabaei et al.، 2018) 35
الشكل 14: تقييم دورة حياة الأنابيب الخرسانية (المصدر: Vahidi et al.، 2015) 38

قائمة الجداول

الجدول 1العوامل المحتملة لظاهرة الاحتباس الحراري (GWP) التي حددتها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (المصدر: بنك الاستثمار الأوروبي EIB، 2020) 4
الجدول 2:غازات الدفيئة GGEs الناجمة عن إنشاء خطوط أنابيب المأخذ ومنفذ التصريف 15
الجدول 3:انبعاثات غازات الدفيئة GGEs من إنشاء محطة ضخ وسحب المياه IPS 16
الجدول 4: انبعاثات غازات الدفيئة GGEs من إنشاء خطوط أنابيب تصريف المياه البحر والمحلول الملحي 16
الجدول 5:انبعاثات غازات الدفيئة GGEs جرّاء تشغيل محطة سحب وضخ المياه IPS باستخدام مصادر الطاقة المختلفة 17
الجدول 6: انبعاثات غازات الدفيئة GGEs من خزانات مياه البحر والمحلول الملحي والمياه العذبة خلال مرحلة الإنشاء 19
الجدول 7: انبعاثات غازات الدفيئة GGEs من تشغيل محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO 20
الجدول 8أقطار وأطوال خطوط أنابيب مشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه ع AAWDC (المصدر: Communication with CDM, 2021) 21
الجدول 9: نظام نقل المياه مواقع ومناطق المكونات المختلفة 22
الجدول 10: انبعاثات غازات الدفيئة GGEs من إنشاء خطوط أنابيب المياه العذبة 24
الجدول 11: انبعاثات غازات الدفيئة GGEs من محطات الضخ أثناء الإنشاء 24
الجدول 12: انبعاثات غازات الدفيئة GGEs من الصهاريج والخزانات أثناء الإنشاء 25
جدول 13: انبعاثات غازات الدفيئة GGEs من تشغيل محطات الضخ باستخدام عامل شبكة الكهرباء في الأردن 26
الجدول 14: انبعاثات غازات الدفيئة GGEs من تشغيل نظام النقل باستخدام مصادر مختلفة للطاقة 26
الجدول 15: انبعاثات غازات الدفيئة GGEs من مشروع العقبة – عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC أثناء الإنشاء 28
الجدول 16: انبعاثات غازات الدفيئة GGEs السنوية من مشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC أثناء التشغيل (شبكة الكهرباء) 28
الجدول 17: انبعاثات غازات الدفيئةGGEs السنوية من مشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC أثناء التشغيل (مصادر طاقة مختلفة) 29

الجدول 18 ملخص المرحلة المعتمدة وإجمالي مساهمة مواد خطوط الأنابيب المختلفة في الاحتباس الحراري لكل كيلومتر من (المصدر: Du et al. 2013) 38
جدول 19الأثر البيئي لكل مادة في مرحلة الإنتاج (المصدر: Hajibabaei et al., 2018) 39
الجدول 20الأثر البيئي في مرحلة النقل (المصدر: (Hajibabaei et al., 2018) 39
الجدول 21الآثار البيئية في مرحلة التركيب (المصدر: (Hajibabaei et al.، 2018) 40
الجدول 22ثاني أكسيد الكربون خلال مراحل دورة حياة خط الأنابيب (المصدر: Alsadi, 2019) 41
الجدول 23: ملخص الأداء البيئي لمواد الأنابيب المختلفة التي تمت دراستها 42

مسرد المصطلحات والاختصارات

AAWDC	العقبة - عمان لتحلية ونقل المياه
AP	إمكانات التحمض (زيادة حامضية الوسط)
BPS	محطة تقوية الضخ
BOT	الإنشاء والتشغيل والنقل
CED	الطلب التراكمي على الطاقة
CIPP	طريقة تركيب وإصلاح الأنابيب بدون خنادق
CO_2	ثاني أكسيد الكربون
CO_2e	مكافئ ثاني أكسيد الكربون
DI	حديد الدكتايل
EIB	بنك الاستثمار الأوروبي
FRP	البوليمر المقوى بالألياف
GGE	انبعاثات غازات الدفيئة
GHG	غازات الدفيئة
GRP	بلاستيك مقوى بالألياف الزجاجية
GWh/year	ساعات جيجاوات في السنة
GWP	ظاهرة الاحتباس الحراري
HDPE	البولي إيثيلين عالي الكثافة
IPCC	الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ
IPS	محطة سحب وضخ المياه
Km	كيلومترات
LCA	تقييم دورة الحياة
LEED	الريادة في الطاقة والتصميم البيئي
m	متر
MCM	مليون متر مكعب

masl	متوسط مستوى سطح البحر
MSL	متوسط مستوى سطح البحر
MW	ميغاواط
MWh	ميجاوات/ساعة
MWI	وزارة المياه والري
PCCP	الخرسانة مسبقة الإجهاد
PS	محطة الضخ
PFCs	مركبات الكربون المشبعة بالفلور
PO	الأكسدة الكيميائية الضوئية
PS	محطة الضخ
psi	رطل لكل بوصة مربعة
PVC	البولي فينيل كلوريد
RGT	خزان التجميع
SWRO	محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي
tCO_2e	طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون
T&D	النقل والتوزيع
WRI	معهد الموارد العالمية

1 المقدمة

إن شح مصادر المياه العذبة والحاجة إلى توفير مصادر إضافية منها أمر بالغ الأهمية بالفعل في العديد من المناطق القاحلة من العالم، وستزداد أهميته في المستقبل. تُعد عملية تحلية المياه أحد الخيارات الممكنة لإنتاج المياه من مصادر مختلفة غير صالحة للاستهلاك البشري، أو المستخدمة في العمليات الصناعية. أظهر مسح أجرته الرابطة الدولية لتحليه المياه في عام 2015 أن 18,426 محطة لتحلية المياه تنتج بالفعل أكثر من 86.9 مليون متر مكعب يوميًا لأكثر من 300 مليون شخص (IWA، 2016) في 150 دولة (Bienkowski, 2015). ولا زالت أعداد وأحجام مرافق تحلية المياه في السنوات الأخيرة تنمو بازدياد مطرد الوتيرة.

وعادة ما ينطوي على عمليات تحلية المياه استهلاك مضاعف من الطاقة. ونتيجة لذلك، فإن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) المرتبطة بتحلية المياه، تتضاعف، حيث قُدِّرت البصمة الكربونية لتحلية مياه البحر بالتناضح العكسي (SWRO) ما بين 0.4-6.7 كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون / م^3 (Tal, 2018)، وهذا يعني أن تحلية 1000 متر مكعب من مياه البحر يمكن أن تطلق ما يصل إلى 6.7 طن من ثاني أكسيد الكربون. لم يعد بالإمكان تجاهل البصمة الكربونية التراكمية لمنشآت تحلية مياه البحر، لا سيما مع الجهود العالمية الكبيرة للإبقاء على الاحتباس الحراري أقل من درجتين مئويتين (UNFCCC, 2015).

الأردن، بلد متوسط الدخل يقع في قلب الشرق الأوسط، ويعد من أكثر دول العالم جفافاً. تؤثر ندرة المياه على كل جانب من جوانب الحياة الأردنية، وتمثل التحدي الأكبر أمام النمو الاقتصادي والتنمية. يُعد طلب الأعداد الكبيرة من اللاجئين السوريين على المياه والطاقة عنصراً مهماً، لاسيما مع ندرة المياه الحالية والمستقبلية، ومخاوف بتلبية الطلب على الطاقة. سوف يعمل تغير المناخ كعامل مضاعف للتهديد، ويؤدي إلى تفاقم مشاكل المياه الموجودة بالفعل من خلال تقليل توافر المياه، والضغط على طبقات المياه الجوفية، التي تجاوزت فيها معدلات الاستخراج عن معدلات التغذية منذ زمن بعيد (MWI, 2016). ومن المتوقع أن تؤدي التأثيرات المجمعة لتغير المناخ والنمو السكاني (بما في ذلك الهجرة) إلى مزيد من الضغط على موارد الأراضي والمياه المحدودة، وزيادة تحدي التنمية المستدامة في الأردن (Ministry of Foreign Affairs of the Netherlands, 2018).

تم افتتاح أول محطة لتحلية المياه في الأردن في مدينة العقبة الساحلية الجنوبية في 21 آذار 2017. تم تصميم محطة التحلية الجديدة لتلبية احتياجات العقبة من المياه حتى عام 2035 من خلال توفير 5 مليون متر مكعب من المياه سنوياً. ستخفف المحطة بعض الضغط الموجود على نظام نقل مياه الديسي - عمان، والذي ينقل 100 مليون متر مكعب من المياه سنوياً لتلبية الاحتياجات المحلية لشمال الأردن (The Economist, 2017).

أعلنت وزارة المياه والري (MWI) في 26 فبراير 2020 عن إطلاق المشروع الوطني العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه (AAWDC) واصفة إياه بأنه "أكبر مخطط يتم تنفيذه في تاريخ المملكة لتوليد المياه ". وفقاً لاستراتيجية المياه ذات الصلة سيولد المشروع 300 مليون متر مكعب في السنة من مياه الشرب بعد بدء التشغيل، وسيتم تنفيذ المشروع من خلال مخطط الإنشاء والتشغيل والنقل (BOT).

إن الهدف من هذا التقرير (المهمة 1-8) هو تقدير البصمة الكربونية لمشروع العقبة - عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC من خلال تحديد كمية انبعاثات غازات الدفيئة (GHGs) خلال مرحلتي الإنشاء، والتشغيل للمشروع، على افتراض أن فترة التشغيل مدتها 30 عاماً.

يتم توجيه هذه المهمة الحالية من خلال بنك الاستثمار الأوروبي (EIB)"منهجيات البصمة الكربونية للمشروع - منهجيات تقييم انبعاثات غازات الدفيئة GHGs، وتغيرات الانبعاثات الخاصة بالمشروع، الإصدار 11.1"، الصادرة بتاريخ تموز 2020.

2 منهجية حساب بصمة غازات الدفيئة GHGs

2-1 المقدمة

تشمل غازات الدفيئة GHGs الأولية المُدرجة في البصمة: ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، وأكسيد النيتروز (N_2O)، والميثان (CH_4)، وسداسي فلوريد الكبريت (SF_6)، وفئتين من المركبات تسمى مركبات الكربون الهيدروفلورية (HFCs)، ومركبات الكربون المشبعة بالفلور (PFCs) (EIB, 2020). يعد ثاني أكسيد الكربون الأكثر وفرةً من بين غازات الدفيئة GHGs، والأكثر تأثيراً على المناخ. تنبعث غازات الدفيئة GHGs الأخرى بكميات أقل منه، ولكنها تستطيع حبس الحرارة بشكل أكثر فعالية من ثاني أكسيد الكربون، ويبقى بعضها في غلافنا الجوي لفترة طويلة جدا.

إن ظاهرة الاحتباس الحراري (GWP) هي مقياس نسبي لمقدار الحرارة التي تختزنها غازات الدفيئة GHGs في الغلاف الجوي (EIB, 2020) كما يبين الجدول 1. سنستخدم تأثير ثاني أكسيد الكربون على المناخ كمرجع مشترك من أجل مقارنة الانبعاثات والملوثات المختلفة. يُشار إلى الانبعاثات في هذا التقرير، كمكافئ لثاني أكسيد الكربون (eCO_2)، وهذا يعني أن الانبعاثات المذكورة تعكس ظاهرة الاحتباس الحراري GWP.

*الجدول 1العوامل المحتملة لظاهرة الاحتباس الحراري (GWP) التي حددتها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (المصدر: بنك الاستثمار الأوروبي **EIB**، 2020)*

غازات الدفيئة (**GHGs**)	إمكانات الاحترار العالمي (GWP)
ثاني أكسيد الكربون (CO_2)	1
الميثان (CH_4)	28
أكسيد النيتروز (N_2O)	265
سداسي فلوريد الكبريت (SF6)	23,500
مركبات الكربون الهيدروفلورية (HFCs)	حتى 12,400
مركبات الكربون المشبعة بالفلور (PFCs)	حتى 11,100

إن عمليات محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي تتطلب استهلاكًا مضاعفا للطاقة. سيتم إجراء حسابات البصمة الكربونية لمشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC على أساس مكافئ ثاني أكسيد الكربون CO_2e الناتج عن انبعاثات غازات الدفيئة GGEs الناجمة عن إنشاء وتشغيل مكونات المشروع المختلفة.

2-2 حدود المشروع

تشترط حدود المشروع ما ينبغي إدراجه في حساب الانبعاثات المطلقة والنسبية. يستخدم بنك الاستثمار الأوروبي EIB منهجيات "النطاق" استناداً إلى تعريفات بروتوكول غازات الدفيئة GHGss التابعة لمعهد الموارد العالمية (WRI) "ومعيار محاسبة الشركات وتقاريرها "؛ عند حصر الحدود التي سيتم تضمينها في حساب الانبعاثات (بنك الاستثمار الأوروبيEIB، 2020).

1. **النطاق 1: انبعاثات غازات الدفيئة GHGs المباشرة**: تحدث انبعاثات غازات الدفيئة GHGs المباشرة فعلياً من مصادر يديرها المشروع، وعلى سبيل المثال الانبعاثات الناتجة عن احتراق الوقود الأحفوري.
2. **النطاق 2: انبعاثات غازات الدفيئة GHGs غير المباشرة**: يمثل النطاق 2 انبعاثات غازات الدفيئة GHGs غير المباشرة المرتبطة باستهلاك الطاقة (الكهرباء والتدفئة والتبريد والبخار) المستهلكة، ولكن المشروع لا ينتجها. ويتم تضمينها لأن المشروع لديه سيطرة مباشرة على استهلاك الطاقة، فعلى سبيل المثال عن طريق تحسينه لتدابير كفاءة الطاقة، أو التحول إلى استهلاك الكهرباء من مصادر متجددة.

3. **النطاق 3: انبعاثات غازات الدفيئة GHGs غير المباشرة الأخرى**: تشمل انبعاثات النطاق 3 جميع الانبعاثات غير المباشرة الأخرى التي يمكن اعتبارها نتيجة لأنشطة المشروع كالانبعاثات الناتجة عن إنتاج، أو استخراج المواد الخام، وانبعاثات المركبات الناتجة عن استخدام البنية التحتية للطرق.

يشمل تقييم غازات الدفيئة GHGs لمشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC جميع الانبعاثات من جميع النطاقات (1، 2، 3) باستثناء ما يلي:

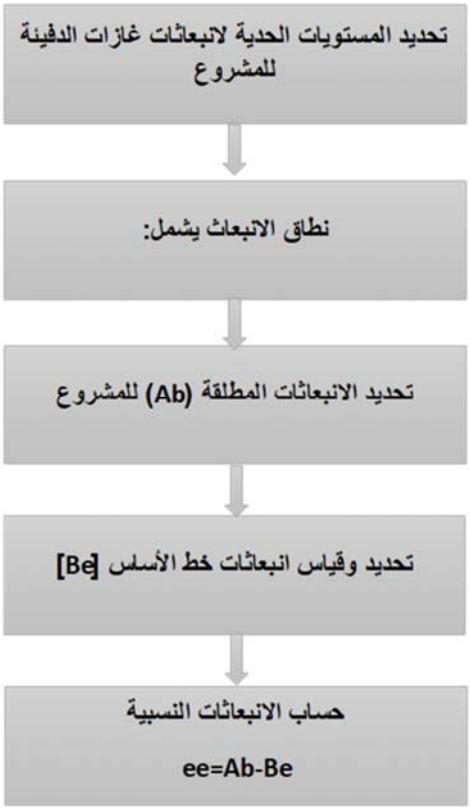
- لم تدرج الانبعاثات المرتبطة بأنشطة الصيانة المستقبلية في التقييم لأن الطبيعة الدقيقة لأنشطة الصيانة هذه غير معروفة حالياً، ومن المتوقع أن تكون الانبعاثات المرتبطة بهذه الأنشطة ضئيلة.
- لم تدرج الانبعاثات المرتبطة بإنشاء مرافق إقامة مؤقتة بالقرب من موقع مشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC أثناء الإنشاء لأنه ليس من المؤكد إنشاء أي مرافق إقامة مؤقتة، كما أن طبيعة أي من هذه المرافق مازالت غير واضحة.
- لم تدرج الانبعاثات المرتبطة بأنشطة المصادر الخارجية كتقديم الطعام أثناء الإنشاء، ويتوقع أن تكون انبعاثات غازات الدفيئة GHGs المرتبطة بتلك الأنشطة ضئيلة.
- لم تدرج الانبعاثات المرتبطة بنقل أي تربة ملوثة أثناء أعمال الإنشاء إلى مكب النفايات، وتحلل أي تربة ملوثة من هذا القبيل حيث لا يوجد حاليا ما يشير إلى مواجهة كميات كبيرة من التربة الملوثة.
- لم تدرج الانبعاثات المرتبطة بالنقل الخاص لموظفي المكاتب، والإداريين العاملين في موقع المشروع على أساس عدم أهميتها.

3-2 عملية القياس الكمي والمنهجيات

ستكون الخطوة الأولى في عملية القياس الكمي هي وضع حدود لحسابات الانبعاثات المطلقة والنسبية (EIB, 2020):

- تستند الانبعاثات المطلقة إلى حدود المشروع التي تشمل جميع انبعاثات النطاقات (1، 2، 3) (حسب الحالة) التي تحدث داخل المشروع.
- تستند الانبعاثات النسبية إلى حدود المشروع التي تغطي بشكل كافٍ سيناريوهات المشروع "وجود المشروع" و "عدم وجود مشروع"، كما تشمل جميع الانبعاثات الهامة من النطاقات (1، 2، 3) (حسب الاقتضاء)، ولكنها قد تطلب أيضاً حدوداً من خارج المستويات الفيزيائية للمشروع لتمثيل خط الأساس تمثيلا كافيًا.

الشكل 1 تدفق عملية حساب وتحديد كمية البصمة الكربونية فضلاً عن الانبعاثات النسبية المرتبطة بها مقارنة بخط الأساس.



الشكل 1تدفق حساب البصمة الكربونية للمشروع (المصدر: EIB, 2020)

يتم حساب الانبعاثات المطلقة على هذا النحو (EIB, 2020):

الانبعاثات المطلقة (tCO_2هـ)	=	**بيانات النشاط (مثل كمية الوقود أو الكهرباء أو المنتج)**	x	**عامل الانبعاثات (على سبيل المثال طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون tCO_2e/وحدة الوقود أو المنتج)**

سيتم تحديد كمية الانبعاثات المطلقة للمشروع (إجمالي الانبعاثات)، وتضمينها في البصمة إذا كانت الانبعاثات أكبر من 20000 طن إيجابي أو سلبي من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في السنة (EIB, 2020)، وينبغي حساب الانبعاثات المطلقة استناداً إلى بيانات المشروع الخاصة، وفي حالة عدم توفر هذه البيانات من الجيد استخدام العوامل الافتراضية استناداً إلى بيانات الأنشطة الخاصة بكل قطاع، ومن خلال تطبيق عوامل الانبعاثات الموثقة (EIB, 2020).

توفر منهجية البصمة الكربونية لبنك الاستثمار الأوروبي سلسلة من عوامل الانبعاثات التي يمكن من خلالها حساب انبعاثات غازات الدفيئة GHGs، وقد استمدت هذه العوامل من مصادر معترف بها دولياً كبروتوكول غازات الدفيئة GHGs الخاص بمعهد الموارد العالمية WRI ومجلس الأعمال العالمي للتنمية المستدامة WBCSD (مجلس الأعمال العالمي للتنمية المستدامة WBCSD، 2004)، والمبادئ التوجيهية للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC بشأن قوائم الجرد الوطنية للغازات الدفيئة GHGs (Eggleston et al., 2006)، ويمكن استخدام هذه العوامل الافتراضية عندما لا يتوفر عامل آخر ذي صلة، أو عندما تبدو العوامل المقدمة غير مثبتة. سيتم استخدام عوامل محددة للمشروع بدلاً من الافتراضية إذا أمكن ذلك شريطة أن يكون مصدر العوامل المستخدمة متفقاً مع المبادئ التوجيهية الموضحة في منهجية بنك الاستثمار الأوروبي EIB لعام 2020.

يبلغ عامل انبعاث الكهرباء المشتراة في الأردن 0.4585 كجم من ثاني أكسيد الكربون/كيلوواط /ساعة (وزارة البيئة الأردنية MoEnv/ برنامج الأمم المتحدة الإنمائي UNDP/ مرفق البيئة العالمية GEF، 2020). يجب على المشاريع التي تشتري الكهرباء من الشبكة أن تأخذ في الاعتبار الخسائر الناجمة عن نقل وتوزيع الكهرباء (T&D)، وستحدد حجم هذه الخسائر بناء على متطلبات إنشاء المشروع، أي ما إذا كان متصلاً بشبكة الجهد العالي، أو المتوسط، أو المنخفض. ولتبسيط ذلك، نفترض أن تكون خسائر نقل وتوزيع الكهرباء T & D لهذا المشروع 2٪ من خسائر النقل والتوزيع T & D لأن استهلاك المشروع أكبر من 10ميغاواط، موصولاً بشبكة الجهد العالي (EIB, 2020).

أما بالنسبة لاستخدام مصادر الطاقة المتجددة في الأردن، فقد توصلت دراسة أجراها حسين (2016) إلى أن الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح تنبعث منها في المتوسط ما يعادل 61 و26 جم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون/ كيلو واط /ساعة، وبالنسبة لمشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC سيتم استخدام المتوسط المرجح البالغ 38 جم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون/ كيلو واط /ساعة.

يتم حساب انبعاثات المشروع من عام 2050 (أي لا تشمل التشغيل / الإغلاق غير المخطط له).

يعد قياس انبعاثات خط الأساس متممًا مفيداً للانبعاثات المطلقة فهو يوفر سيناريو بديلاً، وموثوقاً حيث يتم مقارنة بديل اللا مشروع (عدم وجود مشروع) بسيناريو "وجود المشروع"؛ وعليه يمكن الحصول على مؤشر عن كيفية قياس غازات الدفيئة GHGs، والتعرف على أداء المشروع المقترح. ومع ذلك فإن سيناريو اللا مشروع "عدو وجود المشروع"، أو ما يعرف بخط الأساس، ما هو إلا طرح نظري، يزيد مستوى إضافياً من عدم اليقين، بل ويتجاوز ذلك، عند تقدير الانبعاثات المطلقة (EIB, 2020).

ويمكن بعد ذلك حساب الانبعاثات النسبية على النحو التالي: (EIB, 2020):

الانبعاثات النسبية = الانبعاثات المطلقة – الانبعاث الأساسي، أو

الانبعاثات النسبية = "مع" انبعاثات المشروع (Wp) - "بدون" انبعاثات المشروع، أو الانبعاث الأساسي (Be)

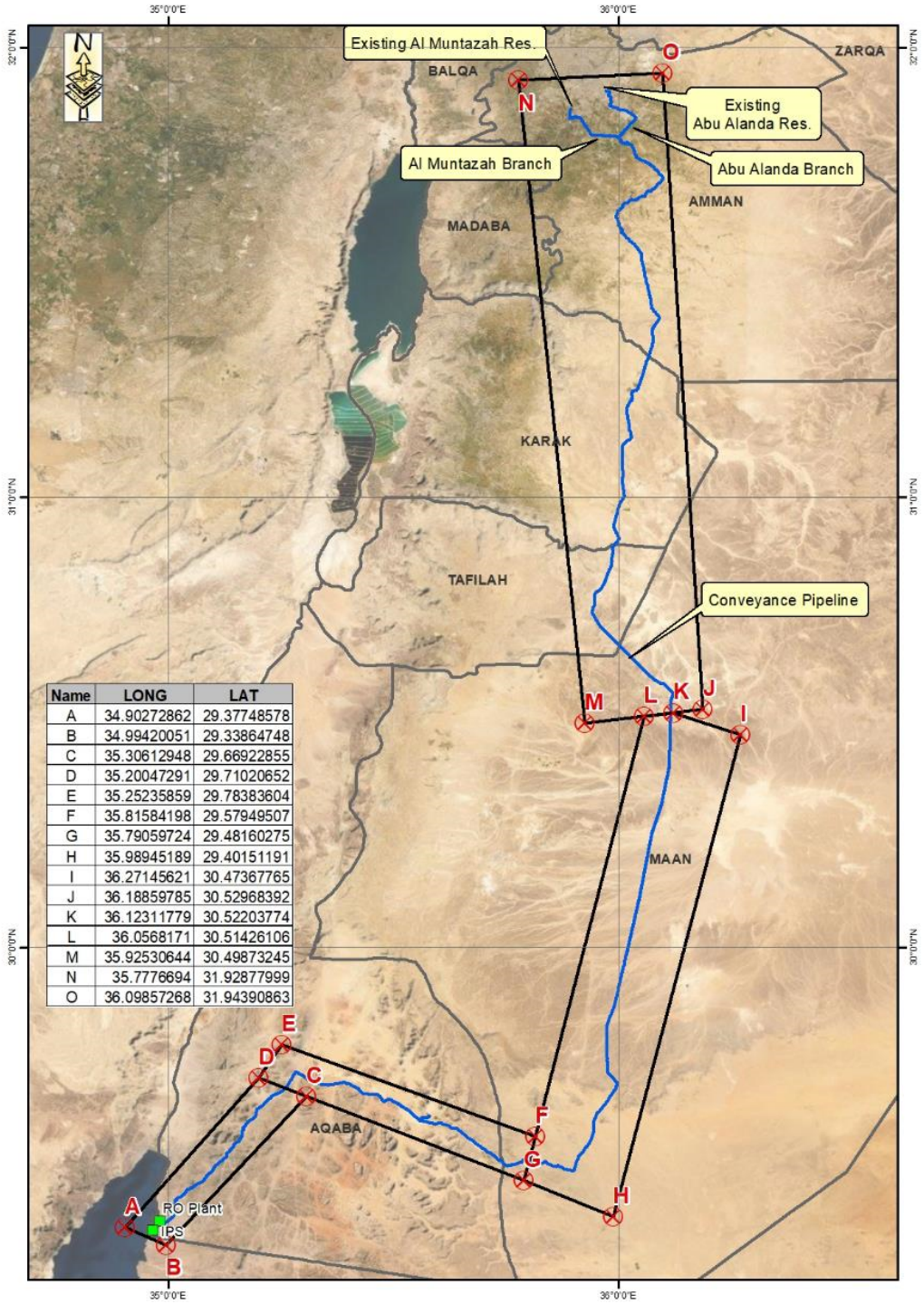
(Re = Wp – Be)

وقد تكون الانبعاثات النسبية إيجابية أو سلبية فعندما تكون سلبية يتوقع أن يحقق المشروع وفورات في انبعاثات غازات الدفيئة GHGs بالنسبة إلى خط الأساس والعكس صحيح. يعد التعبير عن البصمة الكربونية النسبية للمشروع إحدى الطرق لتقييم تأثير المشروع من حيث الانبعاثات لأنه يوفر إطاراً للانبعاثات المطلقة للمشروع، أي ما إذا كان المشروع يقلل أو يزيد من انبعاثات غازات الدفيئة GHGs بشكل عام. ويمكن بعد ذلك استخدام هذا كمؤشر إلى جانب مؤشرات أخرى على الأداء البيئي للمشروع (EIB, 2020).

3 حدود مشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC

صمم هذا المشروع ليولد 300 مليون متر مكعب سنوياً من مياه الشرب. ويوضح الشكل الشكل 2، كما يوضح مسار خط النقل العام للمياه إلى جانب موقع محطة سحب وضخ المياه (IPS)، ومحطة تحلية المياه بالتناضح العكسي (SWRO)، وخزان أبو علندا الحالي، ومحطة ضخ (PS) المنتزه. وفيما يلي وصف موجز لنطاق مرافق المشروع:

1. أبراج المأخذ، وخط أنابيب النقل إلى محطة سحب وضخ المياه (IPS).
2. محطة سحب وضخ مياه البحر (IPS).
3. خط الأنابيب من محطة سحب وضخ المياه IPS إلى محطة التحلية.
4. محطة التحلية.
5. خط المحلول الملحي.
6. خط أنابيب النقل من محطة التحلية إلى محطة ضخ ممر عمان التنموي PS ADC.
7. محطات الضخ على طول خط أنابيب النقل من محطة التحلية إلى عمان (محطة تقوية الضخ BPS من 1 إلى 4، ومحطة ضخ المدورة PS، ومحطة ضخ ممر عمان التنموي PS ADC).
8. خط أنابيب النقل من محطة ضخ ممر عمان التنموي PS ADC إلى خزان أبو علندا.
9. خط أنابيب النقل من محطة ضخ ممر عمان التنموي PS ADC إلى خزان المنتزه.
10. خزانات التجميع على خط أنابيب النقل.



Name	LONG	LAT
A	34.90272862	29.37748578
B	34.99420051	29.33864748
C	35.30612948	29.66922855
D	35.20047291	29.71020652
E	35.25235859	29.78383604
F	35.81584198	29.57949507
G	35.79059724	29.48160275
H	35.98945189	29.40151191
I	36.27145621	30.47367765
J	36.18859785	30.52968392
K	36.12311779	30.52203774
L	36.0568171	30.51426106
M	35.92530644	30.49873245
N	35.7776694	31.92877999
O	36.09857268	31.94390863

الشكل 2: الحدود الإجمالية لمشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC

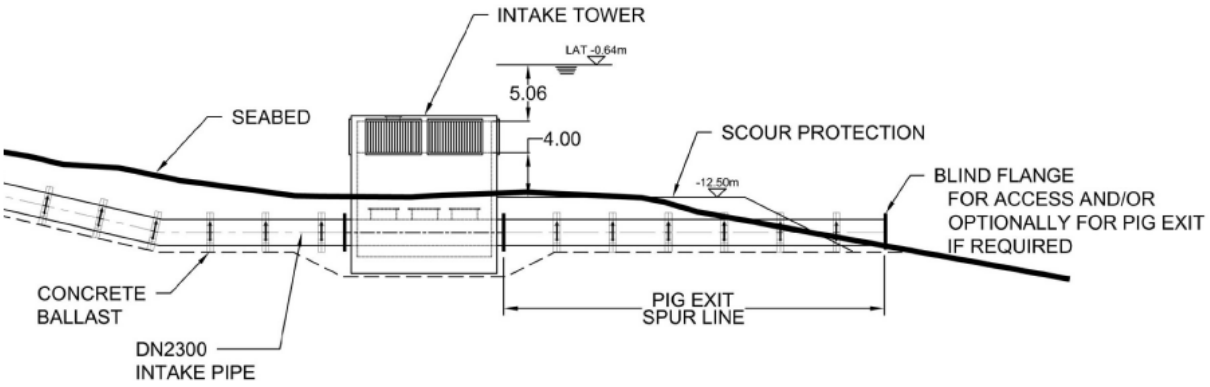
4 حسابات انبعاثات غازات الدفيئة GGE للأعمال البحرية

4-1 الوصف

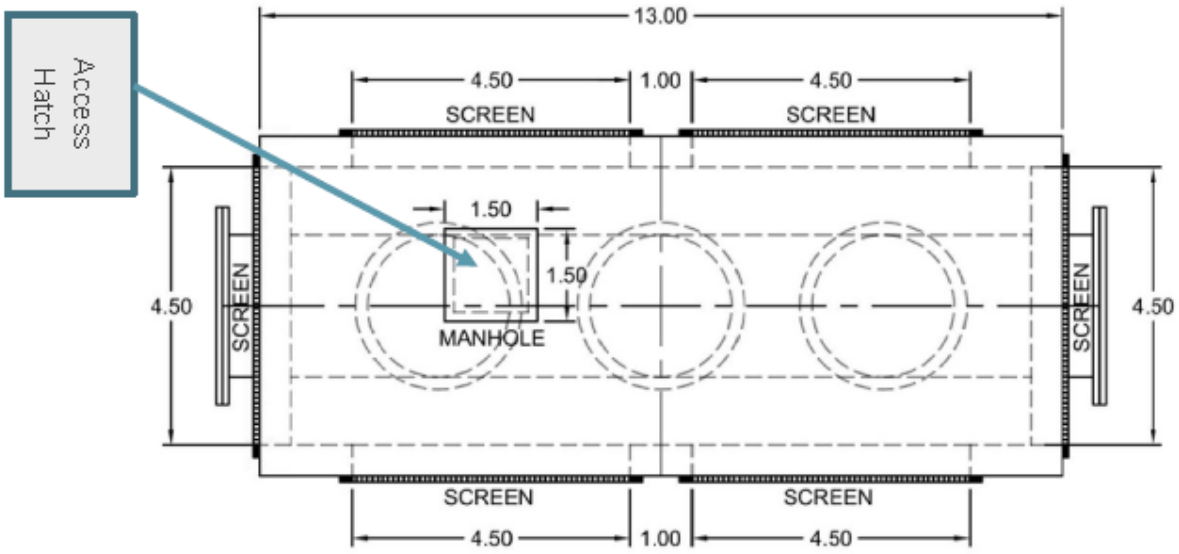
تتكون الأعمال البحرية من المكونات التالية (Dar/HR Wallingford، 2021):

- هياكل المأخذ / الهياكل العلوية للمأخذ البحري المغمور.
- خطوط أنابيب المأخذ (خطوط الأنابيب البحرية) اللازمة لنقل مياه المأخذ إلى المرافق البرية.
- هيكل محطة سحب وضخ المياه (IPS) البرية المطلوبة لتوصيل المياه المسحوبة إلى مرافق معالجة محطة تحلية المياه عبر خط الأنابيب البري لنقل مياه البحر.
- خزان المحلول الملحي في محطة تحلية المياه لجمع المحلول الملحي الذي يتم تصريفه.
- خط الأنابيب البري لنقل المحلول الملحي من خزان المحلول الملحي إلى المصبات الرأسية بما في ذلك غرفة تصريف المحلول الملحي، وخزان التدفق الفائض في حالات الطوارئ، ونظام توليد الطاقة الكهرومائية.
- خط/ خطوط أنابيب تصريف المحلول الملحي (خط/ خطوط الأنابيب البحرية) ينتهي في نظام متعدد المنافذ مرتبط بالناشر المغمور، ويستخدم لتصريف المحلول الملحي في خليج العقبة.

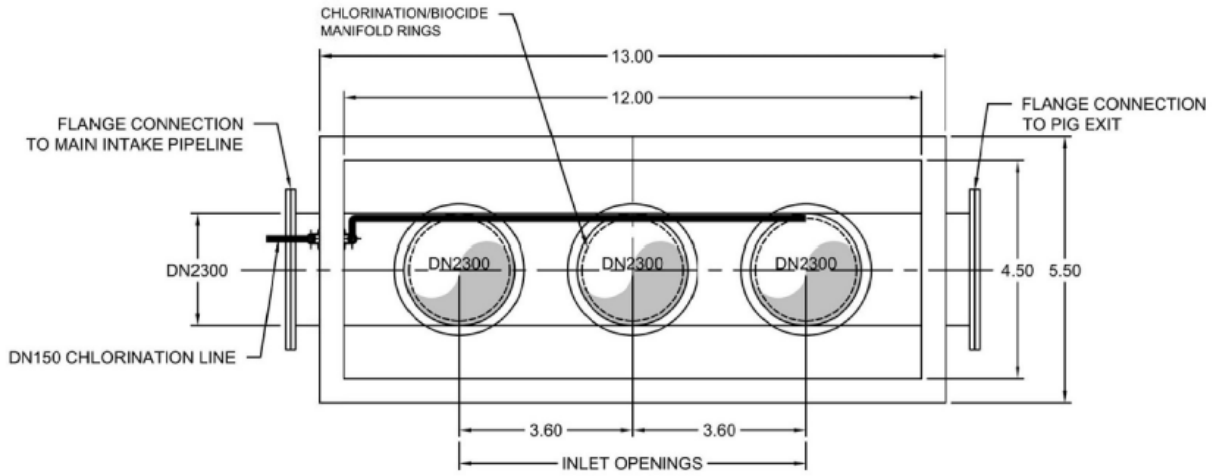
ستدخل مياه البحر نظام المأخذ عبر 4 أبراج بحرية مغمورة / وعبر الهياكل العلوية للمأخذ الموجودة في قاع البحر. يتحتم إنشاء أبراج المأخذ من الخرسانة المسلحة، كما يوضح الشكل أدناه هيكل نموذجي يحتوي على وحدات للتحكم بالسرعة (Wallingford Dar / HR، 2021). سيكون عمق المياه في أبراج المأخذ عادة عند -12 مترا، وسيكون للمأخذ هيكل مستطيل الشكل يبلغ طوله عادةً 13 متراً، وعرضه 5.5 أمتار، ويضم 6 مصافي كبيرة الفوهة عالية السحب بعرض 4.5 متر و2.8m (الشكل الشكل 34الشكل 45الشكل 5



الشكل 3خط أنابيب السحب والمأخذ (المصدر: Dar/HR Wallingford، 2021)



*الشكل 4المأخذ – المقطع العلوي (المصدر: Dar / HR **Wallingford**، 2021)*



*الشكل 5أبراج المأخذ – مقطع من المخطط الداخلي (المصدر: Dar / HR **Wallingford**، 2021)*

تعتبر مادة البولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE) ذات المواصفة PE 100 SDR26 الأكثر جدوى لأنابيب المأخذ ومنافذ التصريف. (Dar/HR Wallingford, 2021). أجرى (Dar/HR Wallingford, 2021) مقارنة بين أنابيب البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية (GRP) وأنابيب البولي إيثيلين عالي الكثافة HDPE من حيث الاعتبارات الهيكلية، والهيدروليكية، والإنشائية، والتكلفة؛ واتضح أنه، وعلى الرغم من أن مواد الأنابيب متشابهة جداً من حيث تحقيق المعايير الهيدروليكية والهيكلية الرئيسية المطلوبة لهذا المشروع، إلا أن الدراسة أوصت بمادة البولي إيثيلين عالي الكثافة HDPE كخيار أساسي لخطوط الأنابيب البحرية بناءً على الاعتبارات التالية:

- يمكن تقييم البولي إيثيلين عالي الكثافة على أنه أكثر ملاءمة نسبياً من حيث قابلية تأثره بالحدث الزلزالي.
- يمكن أن تكون أنشطة الإنشاء تحت سطح البحر أقل كثافة عمالية نسبياً، وبالنظر إلى متطلبات نشاط المياه العميقة نسبياً (35 م + عمق) يمكن اعتبار ذلك مهمًا في هذه الحالة.
- يمكن التقليل من الآثار البيئية المرتبطة بأعمال التجريف / الحفر (حيثما أمكن ذلك) عن طريق التثبيت (إلى حد كبير أو جزئي على الأقل) في قاع البحر.

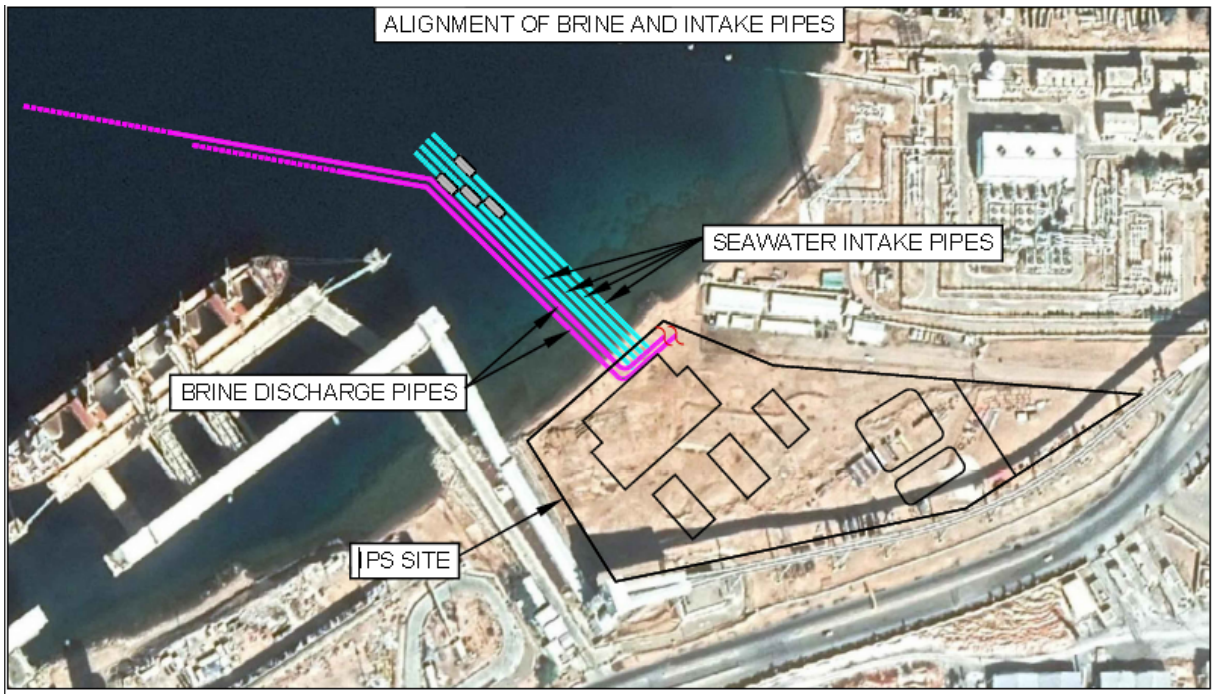
يجب أن يخضع معيار ملاءمة الأنبوب SDR26 لمزيد من التثبت خلال مراحل التصميم التفصيلية للمشروع مع مراعاة الخصائص الجيوتقنية للموقع، وظروف تركيب الأنبوب.

اقترح Dar / HR Wallingford (2021) استخدام 4 خطوط أنابيب سحب ذات قطر ND2300 (طول كل منها = 175 م) وخطي أنابيب للتصريف ذات قطر DN2300 (طول منفذ التصريف 1 = 282 م وطول منفذ التصريف 2 = 380 م) للحفاظ على حجم الأنبوب المشترك مع المأخذ، وإتاحة خيار أوسع للموردين المحتملين.

يبلغ طول قسم الناشرات في نهاية كل أنبوب تصريف 86 متراً. يتم ترتيب قسمي الناشر اللذين يبلغ طولهما 86 متراً بشكل متباعد - أحدهما أبعد من الآخر - بحيث يكون إجمالي طول الناشر المشترك على كلا الخطين قيد التشغيل أقل بقليل من 200 متر (Dar / HR Wallingford، 2021).

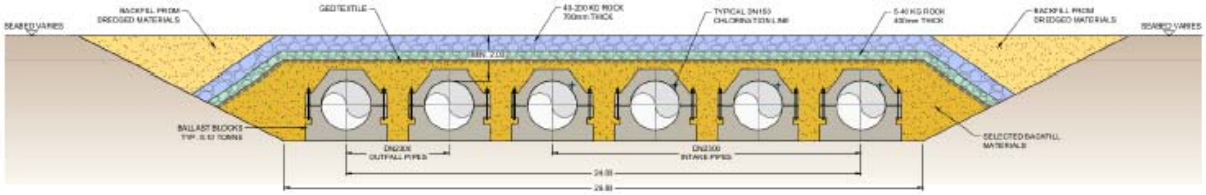
يوضح الشكل 6 أدناه المسار المقترح لخطوط أنابيب المأخذ ومنفذ التصريف. بموجب هذا الترتيب سيتم وضع خطوط أنابيب المأخذ ومنفذ التصريف ودفنها في خندق مشترك وحمايتها بالصخور في مناطق الشعاب المرجانية الضحلة القريبة من الشاطئ والتي تمتد بعيداً عن الشاطئ إلى موقع أبراج المأخذ (حوالي -12.5 متر متوسط مستوى سطح البحر) (Dar / HR Wallingford، 2021).

اقترح Dar / HR Wallingford (2021) فيما يخص بمسار خطوط أنابيب التصريف وضع الكثير من خطوط الأنابيب والناشرات مباشرة على قاع البحر في المنطقة البحرية وتجنب جميع أعمال الحفر / التجريف تقريبا للمناطق البحرية العميقة. هذا ويمكن تثبيت خطوط الأنابيب / الناشرات على " قاع البحر " باستخدام الثقّالات والأطواق / المراسي المناسبة عند الحاجة.

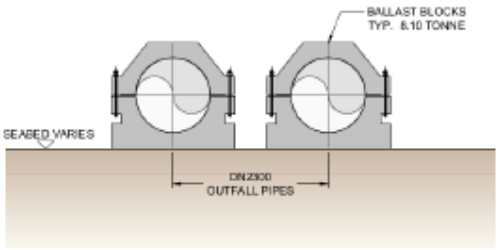


*الشكل 6توجيه خطوط أنابيب المأخذ ومنفذ التصريف (المصدر: Dar / HR **Wallingford**، 2021)*

ومن أجل حماية خطوط أنابيب المأخذ ومنفذ التصريف سيتم وضعها في ممر خط أنابيب منظم داخل خندق مشترك محميًا بالردم والغطاء الصخري (الشكل الشكل 7). وبالنسبة للمنطقة الأعمق للممر، فسيتم النظر في وضع خطوط الأنابيب مباشرة على قاع البحر (الشكل الشكل 8).



*الشكل 7المنطقة الضحلة من ممر خط الأنابيب - مثال نموذجي -حيث يُظهر المقطع العرضي ترتيب وضع خطوط أنابيب المأخذ /منفذ التصريف في الخندق المشترك (المصدر: Dar / HR **Wallingford**، 2021)*



*الشكل 8المنطقة العميقة من ممر خط الأنابيب - مثال نموذجي على المقاطع العرضية لخط أنابيب المصب في قاع البحر (المصدر: Dar / HR **Wallingford**، 2021)*

يتم تغذية محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO من محطة سحب وضخ المياه (IPS) الواقعة على الساحل الجنوبي للعقبة على بعد حوالي 1.5 كم من الحدود الأردنية السعودية الدولية. تستخرج محطة سحب وضخ المياه IPS المياه من البحر الأحمر إلى موقع قريب على ارتفاع حوالي 100 متر حيث سيتم إنشاء محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO كما هو موضح في الشكل 9 (USAID / CDM، 2020b). وستتألف محطة سحب وضخ المياه IPS من 8 مضخات تضخ حمولة طلب إجمالية تبلغ 27.32 ميجاوات.

الشكل 9: موقع محطة سحب وضخ المياه مع الأخذ بعين الاعتبار محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO

2-4 انبعاثات غازات الدفيئة GGEs خلال مرحلة الإنشاء

1-2-4 أبراج المأخذ المغمورة بمياه البحر

سيؤدي إنشاء أبراج المأخذ الجديدة إلى انبعاثات مؤقتة من غازات الدفيئة GHGs الناجمة عن ملوثات الاحتراق من السفن البحرية، والمعدات البرية لنقل المواد، ومركبات عمال الإنشاء، وشاحنات النقل خارج الموقع. يمكن أن تختلف انبعاثات الإنشاء اختلافاً كبيراً من يوم لآخر اعتمادا على مستوى النشاط ونوع العمليات المنجزة.

ينتج عن الوقود والكهرباء التي تستهلكها كل آلة إنشاء انبعاثات كربونية، ويمكن حساب إجمالي انبعاثات الكربون من استهلاك الطاقة بضرب عدد التحولات الميكانيكية في استهلاك طاقة الإنشاء ثم ضربه في معامل انبعاثات الكربون المقابل للطاقة في مرحلة الإنشاء. في الهندسة العملية يكون العمل والوقت اللازمين للإنشاء محدودين نسبياً (Kong et al.، 2020). لذلك لا يتم النظر في انبعاثات الكربون لهما.

لحساب غازات الدفيئة GHGs الناتجة عن إنشاء أبراج المأخذ، من المفترض أن يتم تشييد الأبراج بالكامل على الشاطئ ثم رفعها بواسطة الرافعات، ووضعها في موقعها النهائي بعد أعمال الحفر في قاع البحر، حيث ستستخدم المواد المحفورة في ردم خندق خط الأنابيب.

كما هو مذكور في القسم السابق هناك حاجة إلى 4 أبراج للمأخذ، مستطيلة الشكل (الطول = 13 مترا، العرض = 5.5 متر والعمق = 15 مترا) لاستخراج مياه البحر. هذا وسيكون حجم الخرسانة المسلحة المشيدة لأبراج المأخذ الأربعة هو 4 * 588 م 3 = 2,352 م^3. وفقا لـ Circular Ecology (2019) يفترض أن يكون عامل الانبعاثات لإنتاج الخرسانة المسلحة

373 كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون/م^3 إن انبعاثات غازات الدفيئة GGE الناتجة عن حفر متر مربع من المنحدر 1: 6 هي 224.5 كجم من ثاني أكسيد الكربون (Forsythe and Ding، 2014).

إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة GGEs من إنشاء أبراج المأخذ الأربعة هو 82 طناً من مكافئ ثاني أكسيد الكربون و877 طناً من مكافئ ثاني أكسيد الكربون الناتجة من أعمال الحفر وإنتاج الخرسانة على التوالي بإجمالي انبعاثات 959 طناً من مكافئ ثاني أكسيد الكربون؛ وباستثناء الانبعاثات الناجمة عن السفن البحرية المستخدمة لنقل المواد نظراً لعدم توفر البيانات الخاصة بهذه الأنشطة في مرحلة التصميم.

يبلغ مجموع الكميات الإجمالية لتوليد الطاقة من إنشاء أبراج المأخذ الأربعة 82 tCO 2 e و877 tCO 2 e المتولدة من أعمال الحفر وإنتاج الخرسانة على التوالي، ويبلغ إجمالي الانبعاثات **959 من** مكافئ ثاني أكسيد الكربون باستثناء انبعاثات السفن البحرية ونقل المواد نظرا لعدم توفر بيانات عن هذه الأنشطة في مرحلة التصميم.

2-2-4 خطوط أنابيب المأخذ ومنفذ التصريف المغمورة بمياه البحر

كما نوقش في القسم 4-1HDPE PE 100 SDR26 PN6 مجدياً لأنابيب المأخذ ومنفذ التصريف، حيث يبلغ الطول الإجمالي لأنابيب المأخذ الأربعة 700 متر بينما يبلغ الطول الإجمالي لأنبوبي منفذ التصريف 662 متراً بما في ذلك الناشرات. قامت دراسة Du et al. (2013) بحساب عوامل انبعاثات غازات الدفيئة GHGs لإنتاج وتركيب ونقل كيلومتر واحد من أنابيب البولي إيثيلين عالي الكثافة HDPE كما يوضحها (الجدول الجدول 2). ولمَّا كانت هذه الأنابيب لا تنتج في الأردن؛ فإن الانبعاثات المتعلقة بنقلها من مصنع إنتاجها إلى ميناء العقبة مستبعدة من الحسابات. وبناءً على ذلك، فإن مجموع الانبعاثات الناجمة عن إنشاء خطوط أنابيب المأخذ ومنفذ التصريف مبينة في الجدول الجدول 2 أدناه.

*الجدول 2:غازات الدفيئة **GGEs** الناجمة عن إنشاء خطوط أنابيب المأخذ ومنفذ التصريف*

المرحلة	عامل الانبعاثات **(tCO_2/km)**	إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة **GHGs** (tCO_2e)
الإنتاج	215	298
التركيب	2.81	4
النقل	0.17	0.2
	إجمالي الانبعاثات	**302**

3-2-4 محطة ضخ وسحب مياه المأخذ البرية

وفقا لدرون Doorn et at. (2006)، فإن معامل الانبعاث المستخدم لتقدير انبعاثات تهيئة الأرض لمواقع محطة ضخ وسحب المياه IPS هو 10.5 طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون / هكتار. في الهندسة العملية، يكون العمل والوقت اللازمين للإنشاء محدودين نسبياً (Kong et al.، 2020). لذلك لا يتم النظر في انبعاثات الكربون منهما.

تكون انبعاثات الكربون الناتجة عن استهلاك الطاقة مساوية تقريباً لإجمالي انبعاثات الكربون في مرحلة الإنشاء، أي حوالي 11.136 كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون / م^3 (Kong et al.، 2020).

من أجل الوصول إلى هذا العامل، تم استخدام الرافعات البرجية لرفع محطة ضخ وسحب المياه IPS في الموقع المناسب. يتم استخدام مضخة صب هيكل ثانوي كهربائية لصب الخرسانة.

نظراً لأن التصميم التفصيلي لمرفق IPS لم يكن نهائياً بعد، فمن المفترض أن يتكون المبنى من 3 طوابق وطابق سفلي واحد (بافتراض ارتفاع الطابق الأرضي والسفلي 3.8 متر).

بافتراض أن نسبة مساحة مبنى محطة ضخ وسحب المياه IPS إلى مساحة الموقع هي 0.8، لذلك الجدول 3 أدناه حساب انبعاثات الكربون في مرحلة الإنشاء.

*الجدول 3:انبعاثات غازات الدفيئة **GGEs** من إنشاء محطة ضخ وسحب المياه IPS*

رقم المضخة	حجم الأرض المطلوب (هكتار)	مساحة الأرض المطلوبة ($م^2$)	انبعاثات مكافئ ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن تهيئة الأرض (tCO_2e)	مساحة الإنشاء ($م^2$)	حجم المبنى ($م^3$)	انبعاثات مكافئ ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن الإنشاء (tCO_2e)	انبعاثات مكافئ ثاني أكسيد الكربون (tCO_2e)
محطة ضخ وسحب المياه IPS	2.77	27,700	29.1	22,160	110,803	1,234	**1,263**
					إجمالي الانبعاثات		**1,263**

4-2-4 خط أنابيب مياه البحر والمحلول الملحي

وفقاً للمخطط "J19092-0100D-PD-ENV-WW-401"، فإن خطي أنابيب مزدوجين ذو المواصفة ND2700 GRP سينقلان مياه البحر من محطة ضخ وسحب المياه IPS إلى موقع محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO. يبلغ طول كل أنبوب 3.452 كم.

يبلغ طول أنبوب البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية GRP لتفريغ المحلول الملحي (ND2700) من محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO إلى موقع أنابيب منفذ التصريف 3.254 كم (J19092-0100D-PD-ENV-WW-402). يبلغ متوسط عمق الخندق 5 أمتار، ويبلغ عرض الخندق ما يساوي قطر الأنبوب + 600 مم، الذي قد يصل إلى 3.3 متر.

وفقا لهربرت Herbert et al. (2021) فإن معامل الانبعاث لإنتاج كيلومتر واحد من أنابيب البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية GRP هو 104 طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون. تبلغ انبعاثات غازات الدفيئة GHGs الناتجة عن حفر متر مكعب واحد من الرصيف 4.2 كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون (البنك الدولي، 2011).

أجرى فاهيدي وآخرون Vahidi et al. (2015) تحليل دورة حياة أنابيب البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية GRP من حيث "استهلاك الطاقة" في مراحل دورة الحياة المختلفة. أظهرت النتائج أن مرحلة الإنتاج لها التأثير الأكبر على انبعاثات غازات الدفيئةGGEs، حيث تكون الانبعاثات الناتجة عن تركيب أنابيب البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية GRP مؤقتة لذلك يتم استبعادها من الحسابات. يظهر الجدول 4 أدناه انبعاثات غازات الدفيئة GGEs الناجمة عن إنشاء خطوط أنابيب مياه البحر والمحلول الملحي.

*الجدول 4: انبعاثات غازات الدفيئة **GGEs** من إنشاء خطوط أنابيب تصريف المياه البحر والمحلول الملحي*

الأنبوب	الطول (م)	الانبعاثات الناتجة عن الإنتاج (tCO_2)	الانبعاثات الناتجة عن الحفر (tCO_2)	إجمالي الانبعاثات (tCO_2)
خط أنابيب مياه البحر	3,452	718	478	1,196

خط أنابيب تصريف المحلول الملحي	3,254	338	226	564
			المجموع	**1,760**

3-4 انبعاثات غازات الدفيئة GGEs خلال مرحلة التشغيل

من المتوقع أن تسبب انبعاثات تشغيل نظام هيكل المأخذ تأثيراً ضئيلاً أو معدوماً على البيئة المحيطة والمجتمع باستثناء تشغيل محطة سحب وضخ المياه IPS، ومن المتوقع أن تعمل المضخة على مدار 24 ساعة في اليوم، وباستهلاك طاقة يقدر بـ 238 جيجاوات ساعة في السنة.

تتحول متطلبات الطاقة لتشغيل محطة سحب وضخ المياه IPS إلى انبعاثات غازات الدفيئة GHGs باستخدام عامل تحويل يعتمد على مصادر الكهرباء في بلد معين ($kgCO_2/KWh$).

بالنسبة للأردن، يبلغ عامل انبعاثات الشبكة 0.4585 كجم من ثاني أكسيد الكربون / كيلوواط/ساعة (MoEnv/UNDP/GEF, 2020)، ويبلغ عامل الانبعاثات من الطاقة المتجددة 38 جراماً من ثاني أكسيد الكربون / كيلوواط ساعة (Hussein, 2016). تعتبر خسائر النقل والتوزيع T & D من الطاقة المشتراة 2٪، وبناءً على ذلك يتضمن الجدول 5 أدناه غازات الدفيئة GHGs المنبعثة من تشغيل محطة سحب وضخ المياه IPS.

*الجدول 5:انبعاثات غازات الدفيئة **GGEs** جرّاء تشغيل محطة سحب وضخ المياه IPS باستخدام مصادر الطاقة المختلفة*

مصدر الكهرباء	عامل الانبعاثات (kg CO_2/KWh)	الانبعاثات (tCO_2e) /year
شبكة الكهرباء (بخسارة 2٪ النقل والتوزيع)	0.4679	111,360
مصدر كهرباء مخصص	0.4585	109,123
مصدر الطاقة المتجددة	0.038	9,044

5 حسابات انبعاثات غازات الدفيئة GGE لمحطة التحلية

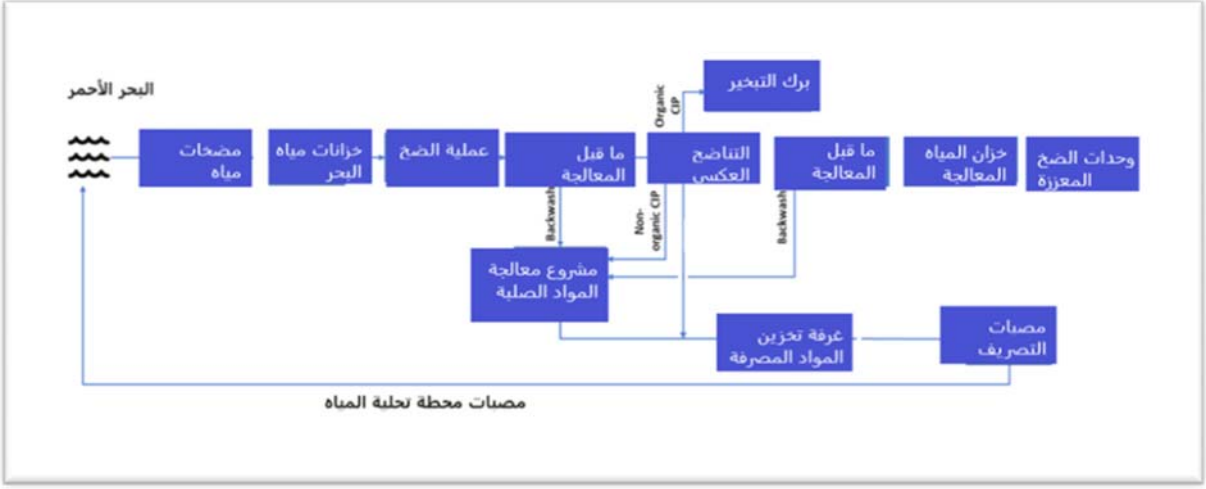
5-1 الوصف

يشمل مكون تحلية المياه عدة مرافق لإنتاج المياه المحلاة (المياه العذبة) من خلال عملية التحلية بالتناضح العكسي (SWRO) مع كفاءة استرداد للمياه العذبة تتراوح بين 42٪ و45٪. سيتم نقل المحلول الملحي الناتج عن عملية التحلية بالتناضح العكسي SWRO إلى خليج العقبة من خلال منفذين للتصريف البحري

تتكون محطة تحلية المياه بنظام التناضح العكسي SWRO مما يلي:

- نظام المعالجة المسبقة،
- أغشية التناضح العكسي في المبنى، بما في ذلك نظام استرداد الطاقة،
- نظام المعالجة اللاحقة،
- نظام معالجة المواد الصلبة،
- منطقة تخزين المواد الكيميائية السائبة / الأنظمة؛
- أنظمة القياس والتحكم؛
- المرافق الكهربائية داخل موقع محطة تحلية مياه بالتناضح العكسي SWRO؛
- الأنابيب داخل المحطة؛
- الأعمال الإنشائية، بما في ذلك أعمال الرصف والتسوية داخل موقع محطة تحلية؛
- مباني الإدارة والصيانة،
- مياه البحر والمياه المعالجة وخزانات المحلول الملحي؛
- (محطة تقوية ضخ المياه BPS 1)؛

الشكل 10 مخططاً مبسطاً لتدفق عملية تحلية المياه بدءاً من نظام المأخذ (في خليج العقبة) ووصولاً إلى محطة تحلية المياه ومن ثم محطة تقوية ضخ المياه العذبة (محطة تقوية الضخ (BPS1))، وانتهاءً بتصريف المحلول الملحي.



*الشكل 10 تدفق عمليات محطة التحلية بأكملها (المصدر: **CDM Smith**)*

2-5 انبعاثات غازات الدفيئة GGEs خلال مرحلة الإنشاء

1-2-5 محطة التحلية

إن البصمات الكربونية لمرحلة إنشاء محطة التحلية ناتجة بشكل أساسي عن استهلاك الطاقة، والمواد الخام أثناء عملية تصنيع المعدات، وتشمل هذه الأنشطة تهيئة الموقع، وحفر خطوط الأنابيب، وإنشاء المباني، وتركيب الصرف، وتوصيل الطاقة، وتركيب المعدات، وتَنْسيق المَوْقع، وتصنيع مضخات الطرد المركزي، والمضخات الخاصة الأخرى وأغشية التناضح العكسي ((UNEP, 2001).

قُدِّرت البصمة الكربونية لفترة الإنشاء، وفقاً لبيانات محطة التحلية (Liu et al.، 2015) بنسبة 10٪ من مرحلة التشغيل (Ameen et al.، 2018; Raluy et al., 2004). قام Biswas (2009) بإهمال انبعاثات غازات الدفيئة GGEs تماماً الناجمة عن مرحلة إنشاء محطة تحلية المياه بتقنية التناضح العكسي نظراً لأنها ضئيلة للغاية خاصة مع العمر الطويل للمحطة.

وبالتالي إذا تم تطبيق هذا العامل على محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي في مشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC باستخدام انبعاثات غازات الدفيئةGGE المحسوبة في القسم التالي 5 -2 فإن انبعاثات غازات الدفيئة GHGs من إنشاء محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO ستكون 46801 طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون.

2-2-5 خزانات مياه البحر والمحلول الملحي والمياه العذبة

نظراً لعدم توفر تصميم خزانات مياه البحر والمحلول الملحي والمياه العذبة، فقد تم استرداد معلومات حول السعة التقديرية لهذه الخزانات من الدراسة التي أجرتها Dar (2018) مع الأخذ في الاعتبار أن سعة المشروع قد زادت منذ ذلك الحين.

نظراً لأن موقع محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO قد تم تهيئته، فإن الانبعاثات الناتجة عن تهيئة الأرض تعتبر ضئيلة، وتعد غازات الدفيئة GHGs المنبعثة من حفر متر مكعب واحد من الرصيف 4.2 كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون (World Bank, 2011) ويفترض أن يكون معامل الانبعاث لإنتاج الخرسانة المسلحة 373 كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون / م^3 (Circular Ecology، 2019).

تم افتراض البيانات التالية لحساب انبعاثات غازات الدفيئة GGEs:

- الخزانات دائرية.
- عمق الخزان 8 أمتار.
- عمق الحفر 2 متر.
- سمك الجدار 0.5 متر.
- عمق بلاطة قاع الخزان هو 1 متر.

ويرد في الجدول 6الجدول 6انبعاثات غازات الدفيئة GHGs في مرحلة الإنشاء.

الجدول 6: انبعاثات غازات الدفيئة GGEs من خزانات مياه البحر والمحلول الملحي والمياه العذبة خلال مرحلة الإنشاء

المرفق	السعة (م^3)	مساحة الخزان (م^2)	قطر الخزان (م)	الانبعاثات الناتجة عن الحفر (tCO_2)	الانبعاثات الناتجة عن إنتاج الخرسانة (tCO_2)	إجمالي الانبعاثات (tCO_2)
خزان مياه البحر	50,000	6,250	89	53	1,842	1,895
خزان المياه المعالجة	42,000	5,250	82	44	1,554	1,598

خزان المحلول الملحي	15,000	1,875	49	16	573	589
					المجموع	**4,082**

3-5 انبعاثات غازات الدفيئة GGEs خلال مرحلة التشغيل

خلال مرحلة التشغيل تكون تأثيرات استهلاك الطاقة في محطة التحلية على البيئة هي الأعلى مقارنة بمرحلة الإنشاء والمراحل الأخرى (Ameen et al., 2018). تعتمد البصمة الكربونية الإجمالية للمحطة على عاملين رئيسين: (1) كمية الكهرباء المستخدمة في محطة التحلية؛ و (2) المصادر (الوقود الأحفوري، والرياح، وضوء الشمس، وما إلى ذلك) المستخدمة لتوليد الكهرباء التي تزود المحطة. لا تتطلب عملية التناضح العكسي طاقة حرارية، ويمكن إجراء جميع العمليات باستخدام الكهرباء (Antonyan, 2019).

في مرحلة التصميم الحالية، يبلغ الطلب على الكهرباء في محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO ما مجموعه 980.3 جيجاوات ساعة في السنة (Communication with CDM, 2021).

يتم تحويل متطلبات الطاقة لتشغيل محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO إلى انبعاثات غازات الدفيئة GHGs باستخدام عامل تحويل يعتمد على مصادر الكهرباء في بلد معين (kgCO2 / kWh). بالنسبة للأردن يبلغ معامل انبعاث الشبكة 0.4585 كجم من ثاني أكسيد الكربون / كيلوواط ساعة (MoEnv/UNDP/GEF, 2020)، وعامل الانبعاث من الطاقة المتجددة هو 38 جراماً من ثاني أكسيد الكربون / كيلوواط ساعة (Hussein, 2016). تعد خسائر النقل والتوزيع T&D من الطاقة المشتراة 2٪. وفقاً لذلك يتم عرض انبعاثات غازات الدفيئة GHGs من تشغيل محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO في الجدول 7 أدناه.

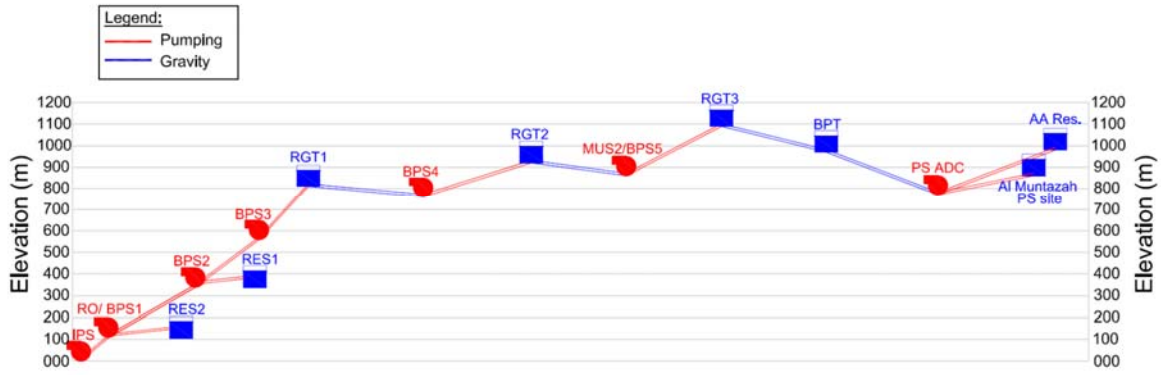
الجدول 7: انبعاثات غازات الدفيئة GGEs من تشغيل محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO

مصدر الكهرباء	عامل الانبعاثات (**kg CO2/KWh**)	الانبعاثات **(tCO2e) /year**
شبكة الكهرباء مع خسارة 2٪ بالنقل والتوزيع T & D	0.4679	449,468
مصدر كهرباء مخصص	0.4585	458,640
مصدر الطاقة المتجددة	0.038	37,251

6 حسابات انبعاثات غازات الدفيئة GGE لنظام نقل المياه

6-1 الوصف

يتكون خط أنابيب النقل من محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO إلى خزانات أبو علندا والمنتزه الحالية من جميع الأعمال المرتبطة بحوالي 420 كيلومتراً من خطوط الأنابيب المتصلة بخزانات المياه العذبة في محطة التحلية مروراً بخزانات التجميع (RGT) وحتى نقاط التسليم في خزان أبو علندا والمنتزه الحاليين. سيتراوح قطر خط الأنابيب من 84 إلى 90 بوصة على طول مسار خط الأنابيب وستقوم سلسلة من محطات الضخ (PS) بضخ المياه المحلاة من ارتفاع حوالي 100 متر (م) إلى ارتفاع 985 متراً كما هو موضح في الشكل 11. وترد تفاصيل أقطار وأطوال خط الأنابيب في الجدول الجدول 8.



الشكل 11: ملف تخطيطي لمشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC

الجدول 8: أقطار وأطوال خطوط أنابيب مشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه ع AAWDC (المصدر: Communication with CDM, 2021)

امتداد الأنابيب	القطر (بوصة)	الطول (كم)
RO إلى IPS	"96	3.46
IPS إلى RO	"96	7.37
BPS1 إلى BPS2	"90	7.81
BPS2 إلى BPS3	"90	5.81
BPS3 إلى RGT1	"90	4.31
RGT1 إلى BPS4	"84	29.52
BPS4 إلى RGT2	"90	37.38
RGT2 إلى BPS5	"90	48.63
BPS5 إلى RGT3	"90	21.31
RGT3 إلى BPT	"90	94.43

BPT إلى PS ADC	"90	63.10
	"87	100.74
PS ADC إلى المنتزه	"51	15.85
PS ADC إلى أبو علندا	"81	17.28

تشمل محطات الضخ والخزانات على طول خط أنابيب نظام النقل خزان المياه العذبة، والضغط العالي الأولي لمحطة تقوية الضخ BPS1 الأولي عالي الضغط بعد محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي RO، وخمس محطات لاحقة لإعادة تقوية الضخ ((BPS2, BPS3, BPS4, Mudawarra PS [MUS2/BPS], Abu Alanda PS [PS AA]) ، وخمسة خزانات وسيطة (BPT ، RGT3 ، RGT2 ، RGT1) ، بما في ذلك جميع الأعمال المدنية المرتبطة بها، ومرافق الدعم، والمعدات الميكانيكية، والأنابيب، والصمامات، والأجهزة ، والتحكم، والأنظمة الكهربائية ذات الجهد المنخفض (الجدول الجدول 9).

الجدول 9: نظام نقل المياه مواقع ومناطق المكونات المختلفة

المرفق	الإحداثيات	المساحة (هكتار)	الارتفاع عن سطح البحر (masl)
محطة تقوية الضخ 1 - BPS1	29°26.97'23"N, 34°6.17'59"E	0.57	118
محطة تقوية الضخ 2 - BPS2	29°26.00'26"N, 35°6.01'1"E	3.48	339
محطة تقوية الضخ 3 - BPS3	29°26.82'28"N, 35°46.90'3"E	3.03	557
خزان التجميع 1 - RGT1	29°4.03'30"N, 35°42.17'5"E	2.52	806
محطة تقوية الضخ 4 - BPS4	29°9.65'42"N, 35°7.43'16"E	4.68	754
خزان التجميع 2 - RGT2	29°37.02'37"N, 35°38.20'34"E	2.22	921
موقع المدور 2 / محطة تقوية الضخ 5 - MUS2/BPS5	29°24.51'33"N, 35°34.85'55"E	4.69	862
خزان التجميع 3 - RGT3	29°23.93'43"N, 35°30.14'58"E	2.4	1089
خزان تفتيت الضغط - BPT	30°43.13'33"N, 36°14.38'7"E	2.41	974
محطة ضخ أبو علندا - PS ADC	31°6.29'48"N, 36°4.85'0"E	6.42	762
خزان أبو علندا الحالي	31°13.59'54"N, 35°14.57'58"E	-	985
خزان المنتزه الحالي	31°52.33'51"N, 35°40.35'53"E	-	860

خزان العقبة 1 في موقع محطة تقوية الضخ BPS2	N, 35°"25.37'26°29 E"0.74'1	0.12	336
خزان العقبة 2 في موقع محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO	,N"19.97'23°29 E"5.65'59°34	0.18	110

كما هو مدرج في الملحق 1، تم النظر في مراحل دورة الحياة الأربع للمواد المختلفة لخطوط الأنابيب في هذه الدراسة. هذه المراحل هي على النحو التالي

1. إنتاج المواد وتصنيع خطوط الأنابيب.
2. النقل بالأنابيب إلى موقع العمل.
3. تركيب الأنابيب في الخندق.
4. تشغيل خط الأنابيب

2-6 انبعاثات غازات الدفيئة GGEs خلال مرحلة الإنشاء

1-2-6 خطوط أنابيب نقل المياه

يشير مصطلح خط الأنابيب إلى خط طويل من الأجزاء المتصلة من الأنابيب مع المضخات، والصمامات، وأجهزة التحكم وغيرها من المعدات، أو المرافق اللازمة لتشغيل النظام. عادة ما تكون أنابيب نقل المياه ذات قطر كبير (أكثر من 12 بوصة) والتي تنقل المياه من مكان إلى آخر.

يعتبر تركيب هذه الأنابيب عملية معقدة بسبب تنوع ظروف الأرض عبر التركيبات لمسافات طويلة. في بعض الأحيان، يصعب ربط خطوط الأنابيب بالبيئة بسبب طبيعتها النائية.

ولكنه يتبع علاقة وثيقة مع بيئتنا بسبب الأنشطة المختلفة المستهلكة للطاقة التي ينطوي عليها تركيب خطوط الأنابيب مثل تصنيع الأنبوب، ونقله إلى موقع العمل، وتركيبه في الخندق. نظراً لأن كل نشاط إنشائي يؤثر على البيئة يصبح من المهم للغاية لمهندس التصميم تقييم هذا التأثير واتخاذ الخطوات اللازمة لتقليله.

يمكن أن يضر إنشاء خطوط أنابيب المياه بالبيئة واستخدام الأراضي. يمكن أن تربك أنشطة الإنشاء النظم البيئية وتدمر المناظر الطبيعية وتخل بالبيئة السطحية والعميقة. تتطلب خطوط أنابيب النقل تحت الأرض خنادق ضخمة تؤدي إلى الإخلال بالأرض موضع الحفر.

يمكن أن تستهلك عمليات الإنشاء كميات كبيرة من الطاقة نظراً لأن خط أنابيب النقل سيعمل من تحت الأرض، حيث تشمل أنشطة الإنشاء تهيئة الأرض، وأعمال الحفر، وإنشاء الخنادق، ومد الأنابيب وربطها، والتخزين، والحفر، وحركة الشاحنات، واستخدام الآلات، وبعض التخزين الكيميائي ونقل المواد الخطرة.

وفقا لدراسة أجراها Du et al. (2013) تم حساب عوامل انبعاثات غازات الدفيئة GHGs لإنتاج وتركيب ونقل كيلو متر واحد من أنابيب البولي إيثيلين عالي الكثافة HDPE. وبما أن هذه الأنابيب لا تنتج في الأردن وبالتالي فإن بلدها الأصلي غير معروف بعد فإن الانبعاثات المتعلقة بنقلها من مصنع إنتاجها إلى ميناء العقبة مستبعدة من الحسابات. يبين الجدول 10الجدول 10مجموع الانبعاثات الناجمة عن إنشاء خطوط أنابيب النقل.

الجدول 10: انبعاثات غازات الدفيئة GGEs من إنشاء خطوط أنابيب المياه العذبة

المرحلة	عامل الانبعاثات (tCO_2/km)	إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة (tCO_2e) GGEs
الإنتاج	215	98,256
التركيب	2.81	1,284
النقل	0.17	78
	إجمالي الانبعاثات	**99,618**

2-2-6 محطات الضخ

وفقاً لدرون Doorn et at. (2006) فإن معامل الانبعاث المستخدم لتقدير انبعاث تهيئة الأرض لمواقع محطة الضخ PS هو 10.5 طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون / هكتار. ينتج عن الوقود والكهرباء التي تستهلكها كل آلات الإنشاء انبعاثات كربونية، ويمكن حساب إجمالي الانبعاثات الكربونية من استهلاك الطاقة بضرب عدد التحولات الميكانيكية في استهلاك الطاقة للإنشاء ثم ضربه في معامل انبعاث الكربون للطاقة المطلوبة في مرحلة الإنشاء.

في الهندسة العملية، يكون العمل والوقت اللازمين للإنشاء صغيرين نسبياً (Kong et al.، 2020). لذلك لا يتم النظر في انبعاثات الكربون الاصطناعية منهما. بعد ذلك تكون انبعاثات الكربون الناتجة عن استهلاك الطاقة مساوية تقريباً لإجمالي انبعاثات الكربون في مرحلة الإنشاء حوالي 11.136 كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون / م^3 (Kong et al.، 2020). من أجل الوصول إلى هذا العامل، تم استخدام الرافعات البرجية لرفع محطة الضخ PS في الموقع المناسب. يتم استخدام مضخة صب هيكل ثانوي كهربائية لصب الخرسانة. نظراً لأن التصميم التفصيلي لمنشأة محطة الضخ PS ليس نهائياً بعد فمن المفترض أن تتكون جميع المباني من 3 طوابق وطابق سفلي واحد (بافتراض أن ارتفاع الطابق الأرضي والسفلي هو 3.8 متر). بافتراض أن نسبة مساحة الإنشاء محطة الضخ PS إلى مساحة الموقع هي 0.8، لذلك يتم عرض حساب انبعاثات الكربون في مرحلة الإنشاء في الجدول 11 أدناه.

*الجدول 11: انبعاثات غازات الدفيئة **GGEs** من محطات الضخ أثناء الإنشاء*

رقم المضخة	حجم الأرض المطلوب (هكتار)	مساحة الأرض المطلوبة (م^2)	انبعاثات مكافئ ثاني أكسيد الكربون الناتج عن تهيئة الأرض (tCO_2e)	مساحة الإنشاء (م^2)	حجم المبنى (م^3)	انبعاثات مكافئ ثاني أكسيد الكربون من المباني (tCO_2e)	انبعاثات مكافئ ثاني أكسيد الكربون (tCO_2e)
BPS1	0.57	5,700	6.0	4,560	22,803	254	**260**
BPS2	3.48	34,800	36.5	27,840	139,203	1,550	**1,587**
BPS3	3.03	30,300	31.8	24,240	121,203	1,350	**1,382**
BPS4	4.68	46,800	49.1	37,440	187,203	2,085	**2,134**
BPS5	4.69	46,900	49.2	37,520	187,603	2,089	**2,138**
PS ADC	6.42	64,200	67.4	51,360	256,803	2,860	**2,927**
					إجمالي الانبعاثات		**10,428**

3-2-6 خزانات التجميع

نظراً لعدم توفر تصميم الصهاريج وخزانات التجميع في مرحلة التصميم هذه، فقد تم الحصول على معلومات حول سعة خزانات التجميع وخزان تفتيت الضغط من دراسة Dar (2018). يمكن الرجوع لتقرير المهمة 1-2، لمزيد من التفاصيل حول سعة خزان العقبة 1 (Aqaba Reservoir 1) في موقع محطة تقوية الضخ (BPS2)، وخزان العقبة 2 (Aqaba Reservoir 2) في موقع محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO.

وفقاً لدرون Doorn et at. (2006)، فإن معامل الانبعاث المستخدم لتقدير الانبعاث الناتجة عن تهيئة الأرض لمواقع الخزانات هو 10.5 طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون / هكتار. تبلغ انبعاثات غازات الدفيئة GHGs الناتجة عن حفر متر مكعب واحد من الرصيف 4.2 كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون (World Bank, 2011) ويفترض أن يكون معامل الانبعاث لإنتاج الخرسانة المسلحة 373 كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون / م^3 (Circular Ecology, 2019).

تم افتراض البيانات التالية من أجل حسابات انبعاثات غازات الدفيئة GGE:

- الصهاريج والخزانات دائرية.
- عمق الصهاريج والخزانات ثمانية أمتار.
- عمق الحفر هو مترات.
- سمك الجدار هو نصف متر.
- عمق بلاطة قاع الصهريج / الخزان هو متر واحد.

يتم عرض حساب انبعاثات الكربون في مرحلة الإنشاء في الجدول 12 أدناه

*الجدول 12: انبعاثات غازات الدفيئة **GGEs** من الصهاريج والخزانات أثناء الإنشاء*

المرفق	المساحة (هكتار)	السعة (م^3)	مساحة الخزان (م^2)	قطر الخزان (م)	انبعاث ثاني أكسيد الكربون من تهيئة الأرض (tCO_2)	الانبعاثات الناتجة عن الحفر (tCO_2)	الانبعاثات الناتجة عن إنتاج الخرسانة (tCO_2)	إجمالي الانبعاثات (tCO_2)
خزان التجميع RGT1 - 1	2.5	42,000	5,250	82	26	44	1,554	1,624
خزان التجميع RGT2 - 1	2.2	42,000	5,250	82	23	44	1,554	1,621
خزان التجميع RGT3 - 1	2.4	38,000	4,750	78	25	40	1,409	1,474
خزان تفتيت الضغط - BPT	2.4	42,000	5,250	82	25	44	1,554	1,623
خزان العقبة 1 في موقع BPS2	0.1	6,000	750	31	1	6	240	247

خزان العقبة 2 في موقع محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO	0.2	9,000	1,125	38	2	9	352	363
إجمالي الانبعاثات								**6,954**

3-6 انبعاثات غازات الدفيئة GGEs خلال مرحلة التشغيل

من المتوقع أن تؤدي الانبعاثات الناتجة عن تشغيل خط أنابيب النقل إلى تأثير ضئيل أو معدوم على البيئة المحيطة والمجتمع باستثناء تشغيل محطات الضخ (الجدول 13) حيث من المتوقع أن تعمل المضخات على مدار 24 ساعة في اليوم.

يتم ترجمة متطلبات الطاقة لتشغيل محطة الضخ PS إلى انبعاثات غازات الدفيئة GHGs باستخدام معامل التحويل على أساس مصادر الكهرباء في بلد معين (kgCO2 / KWh). بالنسبة للأردن يبلغ معامل انبعاث الشبكة 0.4585 كجم من ثاني أكسيد الكربون / كيلوواط ساعة (MoEnv/UNDP/GEF, 2020)، وعامل الانبعاث من الطاقة المتجددة هو 38 جراماً من ثاني أكسيد الكربون / كيلوواط ساعة (Hussein، 2016). تعتبر خسائر النقل والتوزيع T & D من الطاقة المشتراة 2٪. وبناءً على ذلك يتم عرض انبعاثات غازات الدفيئة GHGs الناتجة عن تشغيل محطة الضخ PS في الجدول 13 والجدول 14 أدناه.

*جدول 13: انبعاثات غازات الدفيئة **GGEs** من تشغيل محطات الضخ باستخدام عامل شبكة الكهرباء في الأردن*

رقم محطة الضخ	استهلاك الطاقة المقدر (GWh/year)	الانبعاثات السنوية (tCO_2/year)
BPS1	282	131,948
BPS2	230	107,617
BPS3	259	121,186
BPS4	217	101,534
BPS5	258	120,718
PS ADC	215	100,599
	المجموع	**683,602**

*الجدول 14: انبعاثات غازات الدفيئة **GGEs** من تشغيل نظام النقل باستخدام مصادر مختلفة للطاقة*

مصدر الكهرباء	عامل الانبعاثات (kg CO_2/KWh)	الانبعاثات (tCO_2e) /year

شبكة الكهرباء مع خسارة 2٪ بالنقل والتوزيع & D	0.4679	683,602
مصدر كهرباء مخصص	0.4585	669,869
مصدر الطاقة المتجددة	0.038	55,518

7 الخاتمة

يرد في الجدول 15 أدناه انبعاثات غازات الدفيئة GGEs من إنشاء مشروع العقبة – عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC.

*الجدول 15: انبعاثات غازات الدفيئة **GGEs** من مشروع العقبة – عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC أثناء الإنشاء*

المكون	النطاق 1	النطاق 2*	النطاق 3	الانبعاثات (tCO_2e)
أبراج المأخذ	82	*0	877	959
خطوط أنابيب المأخذ ومنفذ التصريف المغمورة بمياه البحر	4	*0	298.2	302
محطة ضخ المأخذ البرية	.29	*0	1,234	1,263
خط أنابيب مياه البحر والمحلول الملحي	704	*0	1,056	1,760
محطة التحلية	46,801	*0	*0	46,801
خزانات مياه البحر والمحلول الملحي والمياه العذبة	113	*0	3,969	4,082
أنابيب خط نقل المياه	1284	*0	98,334	99,618
محطات الضخ	10,428	*0	*0	10,428
خزانات التجميع	289	*0	6,663	6,954
المجموع		**0***		**172,167**

* لا توجد معلومات تتعلق بالبيانات اللازمة لحساب هذا المكون.

ويرد في الجدول 17 أدناه بيانات انبعاثات غازات الدفيئة GGE من تشغيل مشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC باستخدام شبكة الكهرباء الأردنية، بينما يعرض الجدول 17 انبعاثات غازات الدفيئة GGE من مصادر الطاقة المختلفة.

*الجدول 16: انبعاثات غازات الدفيئة **GGEs** السنوية من مشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC أثناء التشغيل (شبكة الكهرباء)*

المكون	النطاق 1	النطاق 2	النطاق 3	الانبعاثات (tCO_2e/year)
محطة ضخ المأخذ البري	*0	111,360	*0	111,360
محطة التحلية	*0	449,468	*0	449,468
محطات الضخ	*0	683,602	*0	683,602
المجموع	**0***	**1,244,430**	**0***	**1,244,430**

* لا توجد معلومات تتعلق بالبيانات اللازمة لحساب هذا المكون.

الجدول 17: انبعاثات غازات الدفيئة GGEs السنوية من مشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC أثناء التشغيل (مصادر طاقة مختلفة)

المكون	انبعاثات شبكة الكهرباء مع خسارة 2٪ من النقل والتوزيع **T&D** **(tCO2e/yr)**	مصدر انبعاثات الكهرباء المخصص (tCO_2e/yr)	مصدر انبعاثات الطاقة المتجددة **(tCO_2e/yr)**
محطة ضخ المأخذ البري	111,360	109,123	9,044
محطة التحلية	449,468	458,640	37,251
محطات الضخ	683,602	669,869	55,518
المجموع	**1,244,430**	**1,237,632**	**101,813**

في حالة مشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC، فإن السيناريو خط الأساس هو خيار "عدم وجود مشروع"، والذي يوفر جميع الانبعاثات الناتجة عن إنشاء وتشغيل المشروع. الخيار الأفضل لهذا المشروع هو استخدام مصادر الطاقة المتجددة التي يمكن أن تشغل محطة تحلية المياه والبنية التحتية المرتبطة بها مباشرة. يعد مشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC بنية تحتية مهمة لتأمين إمدادات المياه في الأردن مقابل الاعتماد على هطول الأمطار. إن الحاجة إلى مثل هذا الأمن ملحة بالنظر إلى الجفاف المستمر منذ عقد من الزمن، ولا سيما بالنظر إلى النمو السكاني غير المسبوق والمخاطر المرتبطة بتغير المناخ.

8 إجراءات ترشيد الطاقة

في مؤلفات تغير المناخ، تشير الإجراءات التخفيفية إلى الجهود المبذولة للحد من انبعاثات غازات الدفيئة GHGs بينما يشير التكيف إلى استراتيجيات التعامل مع آثار تغير المناخ. تدفع مبادرات التكيف والتخفيف نحو بدائل مستدامة لتحلية المياه قادرة على إنتاج كميات ضئيلة أو غير جديرة بالاهتمام من ثاني أكسيد الكربون لمراعاة ظروف تغير المناخ، ومع ذلك تعد تحلية المياه مثالاً على الصراع بين تدابير التخفيف والتكيف حيث إنها لا تزال أكثر طرق معالجة المياه كثافة في استخدام الطاقة، لا سيما وأن معظم البلدان لا تزال تزود محطات تحلية المياه بالوقود الأحفوري بالطاقة.

نظراً لأن معظم انبعاثات غازات الدفيئة GHGs المرتبطة بمشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC تحدث أثناء مرحلة تشغيل المشروع فهي تقريباً ناتجة عن إنتاج الكهرباء المشتراة لتشغيل محطة سحب وضخ المياه IPS ومحطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO ومحطات الضخ. من المتوقع أن يتم تقليل معامل الانبعاث للكهرباء المشتراة خلال عمر المشروع المقدرة بـ 30 عاماً، نتيجة عدد من العوامل المهمة، نذكر منها الآتي:

- تكاليف وقود توليد الطاقة المستقبلية.
- نمو أحمال الكهرباء في المستقبل.
- التزامات / أهداف الطاقة المتجددة.
- الإطار الزمني لتقنيات الجيل الجديد القابلة للتطبيق.

سيتم النظر في مفهوم كفاءة الطاقة من أجل المراقبة المثلى للطاقة والتحكم فيها من خلال التصميم التفصيلي لمحطة تحلية المياه. يعد استخدام المحركات والمضخات عالية الكفاءة من متطلبات المشروع. تشمل الوسائل الإضافية لتحقيق الكفاءة في التصميم التحكم التلقائي في الإضاءة الخارجية، وأنظمة التدفئة، والتهوية، وتكييف الهواء، وفقدان الطاقة (الضوء والحرارة والبرودة)، ونظام الطاقة الشمسية لتشغيل الأنظمة المساعدة، واستخدام تقنية LED للإضاءة وإدارة عامل الطاقة بين الآخرين. بالإضافة إلى ذلك سيتم تصميم جميع عناصر العملية بحيث تعمل العناصر في الخدمة ضمن نطاقات الكفاءة المثلى ضمن الطاقة الاستيعابية لمحطة التحلية.

يجب تكوين التصميم التفصيلي لمرافق محطة تحلية مشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC كسلسلة من الهياكل التي تشترك في الجدران والأسقف والمعدات المشتركة مما يسمح بتخفيض كبير في مساحتها المادية.

نظراً لأن هذا المشروع سيكون من نوع الإنشاء والتشغيل والنقل BOT يجب أن يتبع التصميم التفصيلي النهائي لمرافق ومحطة تحلية المياه بالتناضح العكسي SWRO مبادئ الريادة في الطاقة والتصميم البيئي (LEED). سيؤدي ذلك إلى تقليل التأثير العام لإنشاء المباني ووظائفها على البيئة من خلال: (1) التطوير المستدام للموقع؛ (2) كفاءة الطاقة؛ (3) اختيار المواد (4) جودة البيئة الداخلية و (5) توفير المياه.

تماشياً مع مبادئ الريادة في الطاقة والتصميم البيئي LEED يجب أن تتضمن مباني محطة التحلية ميزات ومواد تسمح بتقليل استخدام الطاقة للإضاءة وتكييف الهواء والتهوية. على سبيل المثال سيتم تجهيز أجزاء من جدران محطة التحلية بألواح نصف شفافة لزيادة استخدام ضوء النهار ورؤية الإطلالات الخارجية. سيتم التحكم تلقائياً في الإضاءة الداخلية لغير حالات الطوارئ لإيقاف تشغيلها في الغرف والمرافق غير المشغولة. سيضمن نظام المراقبة الحفاظ على التهوية في مناطق العمل الفردية في المبنى، كحد أدنى من متطلبات التصميم. بالإضافة إلى ذلك، سيشمل تصميم المبنى تركيبات الحفاظ على المياه (صنابير المراحيض، والاستحمام، وخزانات المياه، ودورات المياه، وما إلى ذلك) لمرافق خدمة موظفي المحطة وري الحدائق.

تم تحديد مجموعة من تدابير كفاءة الطاقة من أجل تقليل انبعاثات غازات الدفيئة GHGs المرتبطة بالمشروع. تغطي هذه الإجراءات كلاً من مرحلتي التشغيل والإنشاء للمشروع.

تشمل هذه التدابير المحتملة أثناء الإنشاء ما يلي:

- سيتم الحصول على مواد الإنشاء بقدر الإمكان وبشكل معقول من داخل منطقة المشروع، أو بالقرب منها لتقليل استخدام الوقود عند نقل المواد.
- إعادة استخدام المواد التي تمت إزالتها عند تهيئة الأرض بالحد الأقصى.
- ستتم صيانة معدات الإنشاء لتعمل بشكل جيد لزيادة كفاءة استهلاك الوقود للمعدات.
- سيتم استخدام المعدات ذات الحجم المناسب لأنشطة الإنشاء.
- استخدام القوالب الخرسانية القابلة لإعادة الاستخدام.
- سيتم تقليل النفايات الناتجة عن الإنشاء إلى الحد الأدنى.
- سيتم اتخاذ مبادرات للحد من غازات الدفيئة في معسكرات الإنشاء ومواقع الإنشاء.

التدابير المحتملة أثناء التشغيل، تشمل ما يلي:

- تقليل استهلاك الطاقة من خلال إدارة العوامل الرئيسية في نظام المأخذ.
- اعتماد العمليات ومواصفات المعدات الميكانيكية الفعالة في محطة المعالجة المسبقة ومحطة التحلية وخطوط أنابيب نقل المياه العذبة ومحطات الضخ.
- تصميم مكاتب موفرة للطاقة (الإدارة، مركز الزوار، مبنى التحكم).
- النظر في خيارات نقل طاقم الإنشاء إلى الموقع.
- التركيز على إعادة استخدام ركام الإنشاء إما في الموقع أو في المشاريع الكبرى الأخرى الموجودة في المنطقة الإقليمية.
- تنسيق النقل: المواد والركام والنفايات.
- تحسين عملية تحلية المياه لتصبح مؤتمتة بالكامل مما يقلل من الحاجة لموظفي المحطة وزيادة انبعاثات غازات الدفيئة GHGs المرتبطة بنقل الموظفين والخدمات.

تدابير أخرى مساندة لتوفير الطاقة والحد من انبعاثات غازات الدفيئة GHGs وإضافة المزيد من القيمة:

- يمكن أن تخضع محطات تحلية المياه للتكلفة الحقيقية لإمدادات الطاقة. إن تحميل تكلفة الطاقة المحددة مسبقاً لمحطات التحلية يحد من تطوير محطات أكثر كفاءة في استخدام الطاقة لتحقيق تكلفة دورة حياة أقل.
- يفضل أن يتم الحصول على إمدادات الطاقة لتحلية المياه من محطات الطاقة المتجددة عبر الاتصال بالشبكة.
- يمكن تقديم محاسبة ثاني أكسيد الكربون لقياس وتحسين محطات تحلية المياه.
- يمكن أن توفر محطات تحلية المياه القدرة على الاستجابة للطلب لتكون قادرة على تقليل الطلب على الكهرباء عند الحاجة وخلق قيمة خارج قطاع المياه.

9 المراجع

- Alsadi, A. (2019). Evaluation of carbon footprint during the life cycle of four different pipe materials.
- Ameen, F., Stagner, J. A., & Ting, D. S. K. (2018). The carbon footprint and environmental impact assessment of desalination. International Journal of Environmental Studies, 75(1), 45-58.
- Antonyan, M. (2019). Energy footprint of water desalination. Master thesis, University of Twente. Available online: http://essay.utwente.nl/78100/
- Bienkowski, B. (2015). Can Saltwater Quench Our Growing Thirst? Ensia, 13 April 2015. Available online: https://ensia.com/features/can-saltwater-quench-our-growing-thirst/
- Biswas, W. K. (2009). Life cycle assessment of seawater desalinization in Western Australia. World Academy of Science, Engineering and Technology, 56(3), 369-375.
- Brunori, C., Balzamo, S., & Morabito, R. (2001). Comparison between different leaching tests for the evaluation of metal release fromfly ash. Fresen. J. Anal. Chem., 371(6), 843-848.
- CDM Smith/USAID (2020a). Jordan Water Infrastructure. USAID Contract No. AID-OAA-I-15-00047, Order: 72027818F00002. Task 1-Aqaba Amman Water Desalination and Conveyance Project. Draft – Desalination Plant Conceptual Design Report.
- CDM Smith/USAID (2020b). Jordan Water Infrastructure. USAID Contract No. AID-OAA-I-15-00047, Order: 72027818F00002. Task 1-Aqaba Amman Water Desalination and Conveyance Project. Hydropower Energy Report.
- Chilana, L., Bhatt, A. H., Najafi, M., & Sattler, M. (2016). Comparison of carbon footprints of steel versus concrete pipelines for water transmission. Journal of the Air & Waste Management Association, 66(5), 518-527.
- Circular Ecology (2019). Embodied carbon model for concrete. Available at: https://circularecology.com/wp-content/uploads/2020/05/Embodied-Carbon-Calculator-Concrete-Example-Output-Report.pdf
- Dar (2018). Aqaba-Amman Water Desalination and Conveyance Project. Concept Design and Technical Feasibility Report.
- Dar/HR Wallingford (2021). Aqaba-Amman Water Desalination and Conveyance Project [300 MCM/yr Plant]. Seawater Intake & Brine Outfall Preliminary/Hydraulic Design.
- Dell'Orso, M., Mangialardi, T., Paolini, A. E., & Piga, L. (2012). Evaluation of the leachability of heavy metals from cement -basedmaterials. J. Hazard. Mater., 227, 1-8.
- Doorn, M. R. J., Towprayoon, S., Vieira, S. M. M., Irving, W., Palmer, C., Pipatti, R., & Wang, C. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 5: Waste. The National Greenhouse Gas Inventories Programme, the Intergovernmental Panel on Climate Change. Hayama, Kanagawa, Japan, 6.
- Du, F., Woods, G. J., Kang, D., Lansey, K. E., & Arnold, R. G. (2013). Life cycle analysis for water and wastewater pipe materials. Journal of Environmental Engineering, 139(5), 703-711.

- Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- EIB (2020). Project Carbon Footprint Methodologies - Methodologies for the assessment of project GHG emissions and emission variations, version 11.1. Available online: https://www.eib.org/attachments/strategies/eib_project_carbon_footprint_methodologies_en.pdf
- Forsythe, P., & Ding, G. (2014). Greenhouse gas emissions from excavation on residential construction sites. Australasian Journal of Construction Economics and Building, The,14(4), 1-10.
- Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R., Christiansen, K., & Klüppel, H. J. (2006). The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. The international journal of life cycle assessment, 11(2), 80-85.
- GEF/UNDP (2014). Jordan's Third National Communication on Climate Change.
- Hajibabaei, M., Nazif, S., & Sereshgi, F. T. (2018). Life cycle assessment of pipes and piping process in drinking water distribution networks to reduce environmental impact. Sustainable cities and society, 43, 538-549.
- Herbert, B., Chiu, A., & Friedrich, R. (2021). GRE Pipe Green Energy that Powers the World. Available at: https://www.nov.com/-/media/nov/files/products/caps/fiber-glass-systems/bondstrand-composite-solutions-for-the-marine-market/white-paper--gre-pipe-green-energy-that-powers-the-world-042921.pdf
- Hussein, N. (2016). Greenhouse Gas Emissions Reduction Potential of Jordan's Utility Scale Wind and Solar Projects. Jordan Journal of Mechanical & Industrial Engineering, 10(3).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2013). In: Stocker TF D, Qin, G.K., Plattner, M., Tignor, S.K., Allen, J., Boschung, A., Nauels, Y., Xia, V., Bex and P.M. Midgley (Eds.), Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- International Water Association (IWA) (2016). What role for desalination in the new water paradigm. Available online: https://iwa-network.org/news/what-role-for-desalination-in-the-new-water-paradigm/
- Joshi, A. (2012). A carbon dioxide comparison of open cut and pipe bursting.
- Kong, A., Kang, H., He, S., Li, N., & Wang, W. (2020). Study on the carbon emissions in the whole construction process of prefabricated floor slab. Applied Sciences, 10(7), 2326.
- Lienhard, John H.; Thiel, Gregory P.; Warsinger, David M.; and Banchik, Leonardo D, eds. "Low Carbon Desalination: Status and Research, Development, and Demonstration Needs, Report of a workshop conducted at the Massachusetts Institute of Technology in association with the Global Clean Water Desalination Alliance." MIT Abdul Latif Jameel World Water and Food Security Lab, Cambridge, Massachusetts, November 2016. Available online: http://web.mit.edu/lowcdesal/

- Liu, J., Chen, S., Wang, H., & Chen, X. (2015). Calculation of carbon footprints for water diversion and desalination projects. Energy Procedia, 75, 2483-2494.
- Ministry of Foreign Affairs of the Netherlands (2018). Climate Change Profile: Jordan.
- MoEnv/UNDP/GEF (2020). Jordan's Second Biennial Update Report. Available at: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Jordan%E2%80%99s%20Second%20Biennial%20Update%20Report%20for%20web%2010-5.pdf
- Ministry of Water and Irrigation (MWI) (2016) Climate Change Policy for a Resilient Water Sector Available online: http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/jor165863.pdf
- Napia, C., Sinsiri, T., Jaturapitakkul, C., & Chindaprasirt, P. (2012). Leaching of heavy metals from solidified waste using Portland cement and zeolite as a binder. Waste Manage., 32(7), 1459-1467.
- Raluy, R. G., Serra, L., Uche, J., & Valero, A. (2004). Life-cycle assessment of desalination technologies integrated with energy production systems. Desalination, 167, 445-458.
- The Economist (2017). Jordan opens first desalination plant. Available online: http://country.eiu.com/article.aspx?articleid=335238617&Country=Jordan&topic=Economy&subtopic=For_7
- United Nations Framework Convention to Combat Climate Change (UNFCCC) (2015). Paris Agreement. Available online: http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf
- United Nations Environmental Plan (UNEP) (2001). Seawater Desalination in Mediterranean Countries: Assessment and Guidelines. Available at: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8172/94.pdf?sequence=3&amp%3BisAllowed=
- Vahidi, E., Jin, E., Das, M., Singh, M., & Zhao, F. (2015). Comparative life cycle analysis of materials in wastewater piping systems. Procedia Engineering, 118, 1177-1188.
- WBCSD, W. (2004). The greenhouse gas protocol. A corporate accounting and reporting standard, Rev. ed. Washington, DC, Conches-Geneva.
- World Bank (2011). Greenhouse Gas Emissions Mitigation in Road Construction and Rehabilitation: A Toolkit for Developing Countries. Available at: https://documents1.worldbank.org/curated/en/660861468234281955/pdf/696590ESW0P1010UBLIC00GHG0Web0final.pdf
- World Resources Institute (WRI) (2004). The Greenhouse Gas Protocol, A Corporate Accounting and Reporting Standard. Available online: https://files.wri.org/s3fs-public/pdf/ghg_protocol_2004.pdf

10 الملحق 1

10-1 المقدمة

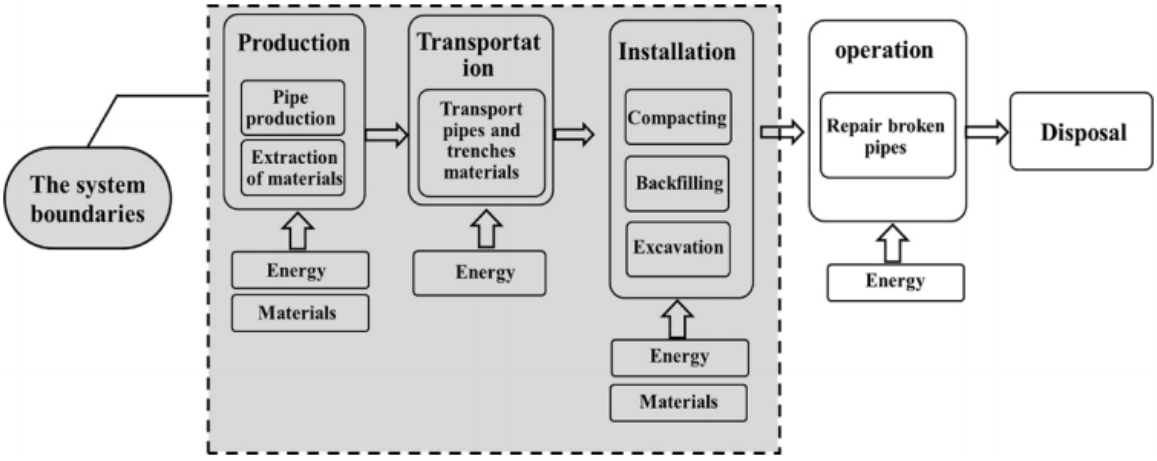
تتغاير مواد خطوط الأنابيب المستخدمة في أنظمة إمداد المياه، من حيث خصائص الأداء، ومتطلبات التشغيل والصيانة. وعلاوة على ذلك، ينبغي مراعاة الجوانب البيئية عند اختيار مادة الأنابيب المثلى لشبكة إمدادات المياه.

بالنسبة لمشروع العقبة-عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC تم النظر في العديد من مواد الأنابيب من قبل مستشار التصميم CDM Smiths، بما في ذلك، الحديد الصلب، وحديد الدكتايل (DI)، والبلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية (GRP)، والخرسانة مسبقة الإجهاد (PCCP). تم تحليل المواد بناءً على عدة اعتبارات بما في ذلك التكلفة، وتوافرها في السوق، والقوة، والمتانة، وسهولة الإصلاح، وإمكانية التصنيع جزئياً في الأردن. على الرغم من أن أنابيب البولي إيثيلين عالية الكثافة (HDPE) تحتاج إلى شحنها عن طريق البحر من شمال أوروبا لأنها غير متوفرة في الأردن ولا توجد منشأة تصنيع لها في الشرق الأوسط، إلا أن تقرير CDM Smiths يُوصي باستخدامها أو عوضًا عنها استخدام البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية GRP لأنابيب المأخذ ومنافذ التصريف البحرية.

يتم تقييم مواد خطوط الأنابيب الخمسة المذكورة أعلاه، في هذا الملحق، وعن مختلف الفئات البيئية إلى أقصى حد ممكن، مثل إمكانات الاحترار العالمي (GWP)، واستنفاد طبقة الأوزون، والسمية البيئية، واستهلاك الطاقة أثناء مراحل الإنتاج والنقل والتركيب لكل مادة من مواد الأنابيب. يستند هذا الملحق أساسًا على مراجعة المؤلفات العلمية. عادة ما يتم النظر في الأنشطة التالية في كل مرحلة:

- الإنتاج: المواد الخام مثل الفولاذ، والبولي إيثيلين، والحديد، والحجر الجيري، والأسمنت، والألياف الاصطناعية... إلخ)، ومعدات تصنيع الأنابيب (آلة بثق للأنابيب البلاستيكية، والمسبوكات... إلخ)، والطلاءات الواقية للأنابيب (غراء البيتومين، وملاط الأسمنت، والزنك).
- النقل: مسافة النقل، ونوع السيارة المستخدمة، وكمية الوقود المستهلكة.
- التركيب: استخدام الحفارة لحفر الخنادق، والمدحلة، والمواد المطلوبة في الخنادق (الرمل، الحصى، الخرسانة).
- الاستخدام: خسائر الاحتكاك أثناء النقل، والصيانة، والإصلاح.

يوضح المخطط الانسيابي التالي حدود النظام للمراحل المذكورة أعلاه بما في ذلك سلسلة من الأنشطة المنفذة في كل مرحلة (الشكل الشكل 12).



الشكل 12 حدود النظام للاعتبارات البيئية (المصدر: Hajibabaei et al.، 2018)

2-10 مراجعة المؤلفات

استخدمت العديد من الدراسات طريقة تقييم دورة الحياة (LCA) لتقييم الآثار البيئية لمواد الأنابيب المختلفة، ويعرف تقييم دورة الحياة (LCA) على أنه تجميع، وتقييم للمدخلات، والمخرجات، والآثار البيئية المحتملة لنظام المنتج طوال دورة حياته (Finkbeiner et al.، 2006).

على سبيل المثال أجرى (Vahidi et al.، 2015) تقييماً مقارناً لدورة الحياة لأربعة أنواع مختلفة من مواد الأنابيب وهي البوليمر المقوى بالألياف (FRP) المعروف أيضاً باسم البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية GRP، والبولي فينيل كلوريد (PVC)، وحديد الدكتايل DI، والخرسانة.

تم قياس التأثيرات البيئية المدروسة لجميع مواد الأنابيب من حيث "استنفاد طبقة الأوزون"، والسمية الأيكولوجية، و"استهلاك الطاقة" في مراحل دورة حياة المشروع المختلفة.

أوضحت نتائج مقارنة جميع المراحل من حيث التأثيرات البيئية أن مرحلة الإنتاج لها التأثير الأكبر على الفئات البيئية المختلفة لجميع المواد الأربعة المدروسة.

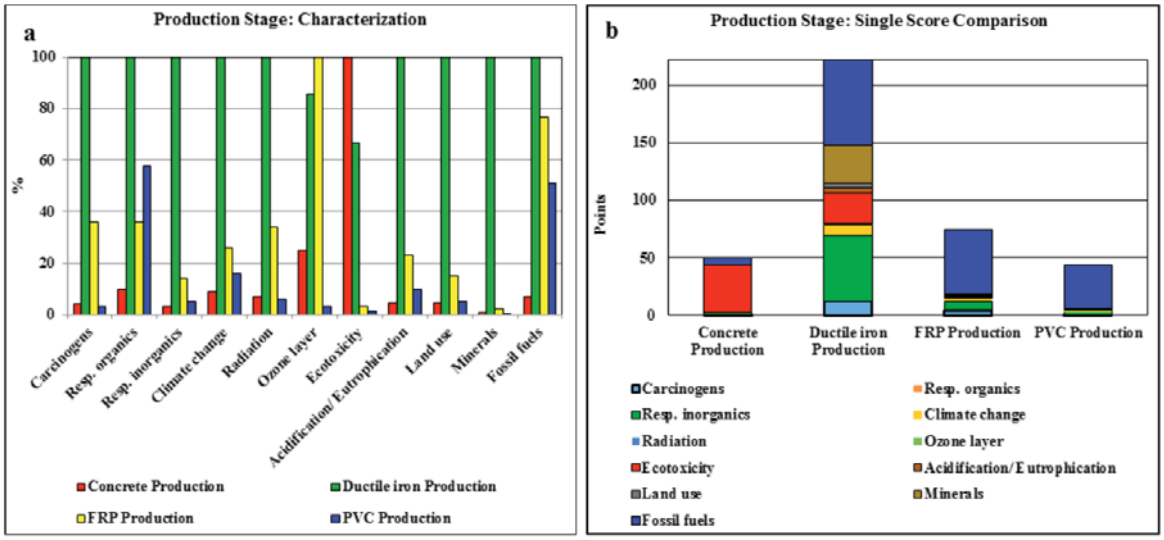
علاوة على ذلك توضح النتائج الواردة في الشكل 13 (أ) أن المادة الأكثر ضرراً لإنتاج الأنابيب هي حديد الدكتايل DI. في الواقع، فإن إنتاج أنابيب حديد الدكتايل DI له تأثير على جميع الفئات تقريباً باستثناء السمية الأيكولوجية حيث يكون لمرحلة إنتاج الخرسانة التأثير الأكبر على هذه الفئة.

وعلى الرغم من أن إنتاج أنابيب حديد الدكتايل DI له تأثير سلبي كبير على استنفاد طبقة الأوزون، فإن مرحلة إنتاج البوليمر المقوى بالألياف FRP أو البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية GRP تعتبر المرحلة الأكثر تأثيراً على استنفاد طبقة الأوزون بسبب استخدام البوليسترين، وتوليد الهيدروكلوروفلوروكربون (HCFC).

كاستنتاج عام، فإن إنتاج أنابيب البوليمر المقوى بالألياف FRP (أو البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية GRP) له أيضاً تأثير بيئي كبير، ولكنه أقل بكثير من إنتاج حديد الدكتايل DI. بالإضافة إلى ذلك توصل (Vahidi et al.، 2015) إلى أن إنتاج خطوط الأنابيب الخرسانية له التأثير الأكبر على السمية الأيكولوجية.

من أجل تقييم تأثير عملية الإنتاج لكل مادة من مواد الأنابيب في الفئات البيئية المختلفة، تم حساب الدرجات الفردية لمرحلة الإنتاج لمواد الأنابيب المختلفة.

يتم حساب هذه الدرجة على أنها المتوسط المرجح لكل فئة بيئية على جميع الفئات الأخرى. يتم عرض الدرجات الفردية التي تم الحصول عليها في الشكل 13 (ب).



*الشكل 13: (أ) الرسم البياني لمقارنة آثار مرحلة الإنتاج لجميع مواد الأنابيب، (ب) الرسم البياني لمقارنة كل أثر من الأثار الناتجة عن مرحلة الإنتاج على حدة لجميع مواد الأنابيب (المصدر: **Vahidi et al.**، 2015)*

من النتائج التي تم الحصول عليها عند دراسة كل أثر بشكل منفصل للأثار المحتملة في مرحلة الإنتاج، تم التوصل إلى أن الأنابيب الخرسانية كما يوضح (الشكل 13 (ب))، كان لها تأثير بيئي الرئيس، من حيث السمية البيئية، واستخدام الوقود الأحفوري مع درجة أعلى من السمية الأيكولوجية (90٪) مقارنة بتلك الخاصة بالأحفوري (حوالي 10٪) (Vahidi et al.، 2015).

تم تأكيد السمية الأيكولوجية من خلال دراسات أخرى تقيم التسرب المحتمل للمعادن الثقيلة والمركبات غير العضوية السامة الأخرى الموجودة بالأسمنت في البيئة، وهي مادة أولية تستخدم في إنتاج الأنابيب الخرسانية (Brunori et al.، 2001، Dell'Orso et al.، 2012، Napia et al.، 2012).

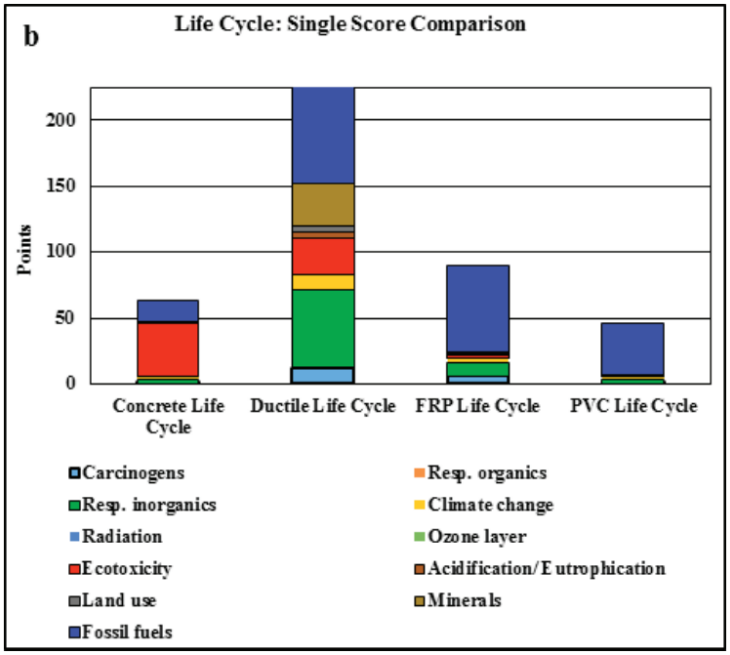
بالنسبة لإنتاج أنابيب حديد الدكتايل DI كان التوزيع على النحو التالي: تأثير 35٪ على الوقود الأحفوري، و28٪ على طبقة الأوزون وحوالي 13٪ على السمية البيئية. من ناحية أخرى، فإن إنتاج أنابيب FRP (أو GRP) له أكبر تأثير منفرد من حيث استخدام الوقود الأحفوري بنسبة كبيرة تبلغ حوالي 75 ٪ (Vahidi et al.، 2015).

أما بالنسبة لإنتاج أنابيب حديد الدكتايل DI، فقد كان التوزيع على النحو التالي: تأثير 35٪ على الوقود الأحفوري، وتأثير 28٪ على طبقة الأوزون وحوالي 13٪ على السمية الأيكولوجية، ومن ناحية أخرى فإن إنتاج أنابيب البوليمر المقوى بالألياف FRP (أو البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية GRP) له أكبر تأثير منفرد من حيث استخدام الوقود الأحفوري بنسبة كبيرة تبلغ حوالي 75٪ (Vahidi et al.، 2015).

في نفس الدراسة تم إجراء مقارنة شاملة لمراحل دورة حياة مواد الأنابيب الأربعة المختلفة، وتشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أن دورة حياة حديد الدكتايل DI لها التأثير الأكبر ضمن الفئات البيئية المختلفة.

تم أيضاً حساب نتائج دورة حياة مواد الأنابيب المختلفة وتم تقديمها في الشكل 14.

توصلت الدراسة إلى أن دورة حياة حديد الدكتايل DI لها تأثير حوالي 35 ٪ على استهلاك الوقود الأحفوري. بالنسبة لدورة حياة أنابيب البوليمر المقوى بالألياف FRP (أو GRP البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية)، فإن النتائج المعروضة في الشكل تشير إلى أن التأثير الفردي الأكبر كان على الوقود الأحفوري بنسبة كبيرة تبلغ حوالي 75٪. وبشكل عام، يمكن ملاحظة أن التأثير على استهلاك الوقود الأحفوري من دورة حياة أنابيب حديد الدكتايل DI، والبولي فينيل كلوريد PVC، والبوليمر المقوى بالألياف FRP هو السائد، وأن السمية الأيكولوجية هي الفئة الأكثر تأثيراً في دورة حياة مواد الأنابيب الخرسانية (Vahidi et al.، 2015).



الشكل 13تقييم دورة حياة الأنابيب الخرسانية (المصدر: Vahidi et al.، 2015)

أجريت دراسة أخرى لتقييم دورة الحياة LCA على ستة أنواع شائعة الاستخدام من مواد أنابيب المياه والصرف الصحي وهي بولي فينيل كلوريد PVC، وحديد الدكاتيل DI، والحديد الصلب، وبولي إيثيلين عالي الكثافة HDPE، والخرسانة العادية، والخرسانة المسلحة أو مسبقة الإجهاد PPCP لتقييم الأثار الناجمة عن إنتاجهم ومساهمتهم في الاحتباس الحراري العالمي GWP خلال المراحل المختلفة لإنتاج، ونقل، وتركيب، واستخدام خط الأنابيب. تم تقييم مساهمتهم في الاحتباس الحراري العالمي GWP عن طريق قياس قيم انبعاثات مكافئ ثاني أكسيد الكربون لكل كيلومتر من خطوط الأنابيب للأنواع الستة. أشارت النتائج إلى أن أنابيب حديد الدكاتيل DI ساهمت بأكبر إضافة من حيث انبعاثات غازات الدفيئة، فضلاً عن ارتفاع مساهمتها في الاحتباس العالمي من بين الأنواع الستة. وسجلت الأنابيب الخرسانية أقل قدرة على إحداث الاحتباس العالمي على الرغم من الطلب على الطاقة المرتبط بإنتاج الأسمنت. ومن جهة أخرى، أشارت النتائج إلى أن البولي إيثيلين عالي الكثافة يساهم في إحداث الاحتباس العالمي أكثر من الخرسانة المسلحة (Du et al., 2013).

الجدول 18 ملخص المرحلة المعتمدة وإجمالي مساهمة مواد خطوط الأنابيب المختلفة في الاحتباس الحراري لكل كيلومتر من (المصدر: Du et al. 2013)

Pipe materials (12-in. pipe)	Total GWP (10^3 kg CO_2/km)	Production phase (10^3 kg CO_2/km)	Installation phase (10^3 kg CO_2/km)	Transportation phase (10^3 kg CO_2/km)
PVC	318	315	2.81	0.26
Ductile iron	472	468	3.28	0.88
Concrete	68.3	63.1	2.91	2.26
HDPE	218	215	2.81	0.17
Reinforced concrete	152	146	2.91	2.47
Cast iron	353	349	3.28	0.84

كانت منهجية تقييم دورة الحياة LCA في دراسة التي أجريت على خمسة أنواع مواد الأنابيب، هي نفسها المستخدمة في تقييم شبكات توزيع مياه الشرب. شملت المواد المدرجة في هذه الدراسة، البولي فينيل كلوريد PVC، وحديد الدكاتيل DI، والخرسانة، وبولي إيثيلين عالي الكثافة HDPE، والخرسانة المسلحة، والحديد الصلب. تم تقييم جميع المواد بحسب الفئات البيئية التالية: الاحتباس الحراري العالمي GWP، ونضوب طبقة الأوزون (OLD)، والأكسدة الكيميائية الضوئية (PO)، وقابلية التحمض (AP)، والإثراء الغذائي (EU) والطلب التراكمي على الطاقة (CED). تشير نتائج هذه الدراسة إلى أنه

أنابيب بولي فينيل كلوريد PVC خلال مرحلة الإنتاج، تولد أقل تأثير من حيث تأثيرها على جميع الفئات البيئية تقريبًا. وبشكل عام، يولد البولي إيثيلين عالي الكثافة تأثيرات مشابهة للبولي فينيل كلوريد PVC وبالتالي فهو قابل للمقارنة، ولكن له تأثيرات بيئية أعلى قليلاً. وعلاوة على ذلك، تظهر النتائج أن حديد الدكاتيل DI يولد تأثيرًا أكبر عند تقييم جميع الأثار البيئية، باستثناء الطلب التراكمي على الطاقة CED. إذ تتطلب الأنابيب المصنعة من حديد الدكاتيل DI المزيد من المواد لتصنيعها. لوحظ نفس الترتيب المماثل لحديد الدكاتيل DI ، عند تقييم الأنابيب الفولاذية من حيث مساهمتها في الاحتباس العالمي. إن هذا السيناريو كان قد تكرر بالفعل بالنسبة لفئة الطلب التراكمي على الطاقة CED حيث بلغ الطلب على الطاقة من حديد الدكاتيل DI ومواد الأنابيب الفولاذية 1،680 MJ و1،400 MJ على التوالي. بالإضافة إلى ذلك، تُظهر نتيجة تقييمات الطلب التراكمي على الطاقة CED أن الطلب على الطاقة لإنتاج أنابيب حديد الدكاتيل DI أكبر من 2 إلى 3 مرات تقريبًا من أنابيب بولي إيثيلين عالي الكثافة HDPE والبولي فينيل كلوريد PVC (الجدول 19) (Hajibabaei et al., 2018).

*جدول 19: الأثر البيئي لكل مادة في مرحلة الإنتاج (المصدر: **Hajibabaei et al., 2018**).*

فئة التأثير	الوحدة	الفولاذ	بولي إيثيلين عالي الكثافة HDPE	الخرسانة المسلحة	حديد الدكاتيل DI	البولي فينيل كلوريد PVC
الاحتباس الحراري العالمي GWP	Kg CO2 eq	1/05E+02	2/55E+01	2/84E+01	1/28E+02	2/11E+01
نضوب طبقة الأوزون OLD	1 eq1-جKg CF	6/25E-06	4/36E-07	2/41E-06	1/20E-05	4/69E-07
الأكسدة الكيميائية الضوئية PO	Kg C2H4 eq	4/22E-02	7/82E-03	1/60E-02	6/50E-02	3/77E-03
قابلية التحمض AP	Kg SO2 eq	5/29E-01	9/78E-02	3/79E-01	9/05E-01	7/07E-02
الإثراء الغذائي EU	Kg PO4 – eq	2/73E-01	1/59E-02	1/40E-01	4/18E-01	1/62E-02
الطلب التراكمي على الطاقة CED	MJ	1/40E+03	9/98E+02	7/15E+03	1/68E-03	5/77E+02

كما قيمت الدراسة الآثار البيئية خلال مرحلة النقل. يوضح الجدول 20 أن مواد أنابيب الصلب وأنابيب حديد الدكتايل DI تمثل أقل تأثير على البيئة أثناء مرحلة النقل؛ نظراً لأن المواد المستخدمة في الخنادق المشيدة من حديد الدكتايل DI والفولاذ لها وزن أقل مقارنة بتلك المستخدمة في الخنادق الأخرى. تجدر الإشارة إلى أنه على الرغم من أن أنابيب البولي فينيل كلوريد PVC والبولي ايثلين عالي الكثافة HDPE تتطلب مواد أقل مقارنةً بحديد الدكتايل DI وأنابيب الصلب في مرحلة الإنتاج، فإن البولي فينيل كلوريد PVC والبولي إيثلين عالي الكثافة HDPE لها تأثير بيئي أكبر في مرحلة النقل بسبب المواد المطلوبة كالحصى والرمل لإنشاء الخنادق (Hajibabaei et al., 2018).

*الجدول 20: الأثر البيئي في مرحلة النقل (المصدر: **Hajibabaei et al., 2018**)*

فئة التأثير	الوحدة	الفولاذ	البولي فينيل كلوريد PVC	حديد الدكاتيل DI	بولي إيثيلين عالي الكثافة HDPE	الخرسانة المسلحة 2	الخرسانة المسلحة 1
الاحتباس الحراري العالميGWP	Kg CO2 eq	3/23E+00	3/76E+00	3/25E+00	3/76E+00	4/39E+00	4/34E+00
نضوب طبقة الأوزونOLD	1 eq1-جKg CF	5/99E-07	6/96E-07	6/03E-07	6/96E-07	8/14E-07	8/04E-07
الأكسدة الكيميائية الضوئيةPO	Kg C2H4 eq	5/44E-04	6/33E-04	5/48E-04	6/33E-04	7/40E+04	7/31E-04
قابلية التحمضAP	Kg SO2 eq	1/29E-02	1/50E-02	1/30E-02	1/50E-02	1/76E-02	1/73E-02
الإثراء الغذائيEU	Kg PO4 – eq	2/92E-03	3/39E-03	2/94E-03	3/39E-03	3/79E-03	3/92E-03
الطلب التراكمي على الطاقةCED	MJ	5/32E-01	6/18E-01	5/35E+01	6/18E+01	7/23E+01	7/15E+01

تظهر النتائج المرصودة خلال مرحلة التثبيت المعروضة في الجدول الجدول 21 الأسمنت الليفي له أعلى تأثير عبر جميع الفئات البيئية في حين أن البولي فينيل كلوريد PVC، والبولي إيثلين عالي الكثافة HDPE لهما نتائج مماثلة مثل حديد الدكتايل DI وأنابيب الصلب (Hajibabaei et al.، 2018).

الجدول 21: الآثار البيئية في مرحلة التركيب (المصدر: Hajibabaei et al.، 2018)

فئة التأثير	الوحدة	بولي إيثيلين عالي الكثافة والبولي فينيل كلوريد	الخرسانة المسلحة 2	الخرسانة المسلحة 1	الفولاذ وحديد الدكاتيل DI
الاحتباس الحراري العالميGWP	Kg CO2 eq	8/83E+00	1/07E+01	2/80E+01	8/73E+00
تضوب طبقة الأوزونOLD	Kg -ج CF 1 eq1	1/34E-06	1/56E-06	2/46E-06	1/27E-06
الأكسدة الكيميائية الضوئيةPO	Kg C2H4 eq	2/75E-03	3/35E-03	4/93E-03	2/73E-03
قابلية التحمضAP	Kg SO2 eq	5/28E-02	6/41E-02	1/02E-01	5/17E-02
الإثراء الغذائيEU	Kg PO4 – eq	1/29E-02	1/60E-02	2/74E-02	1/30E-02
الطلب التراكمي على الطاقةCED	MJ	1/37E+02	1/65E+02	2/76E+02	1/35E+02

قام Chilana et al. (2016) بتحليل ومقارنة بصمة ثاني أكسيد الكربون من مادتين من خطوط الأنابيب المستخدمة في أنابيب نقل المياه ذات القطر الكبير أنابيب الصلب (SP) والخرسانة مسبقة الإجهاد PCCP، لمسافة 150 ميلاً من خط أنابيب بأقطار كبيرة مختلفة (66، 72، 84، 108 بوصة)، وكانت طريقة التثبيت هي طريقة الإنشاء المفتوحة. تم النظر في ثلاث مراحل لدورة الحياة: التصنيع والتركيب والتشغيل، ووجدت النتيجة أن تصنيع الأنابيب يستهلك كمية كبيرة من الطاقة وبالتالي ساهم بأكثر من 90٪ من انبعاثات الكربون في دورة الحياة لكلا الأنبوبين. كانت انبعاثات أنابيب الصلب SP أكبر بنسبة 64٪ من ثاني أكسيد الكربون من التصنيع مقارنة بالخرسانة مسبقة الإجهاد PCCP. بالنسبة لمرحلة النقل كانت انبعاثات الخرسانة مسبقة الإجهاد PCCP أكبر من ثاني أكسيد الكربون بسبب الوزن الثقيل للخرسانة مسبقة الإجهاد PCCP. وجدت هذه الدراسة أن استهلاك الوقود من قبل معدات الإنشاء لتركيب الأنابيب في الخندق متشابه لكل من الخرسانة مسبقة الإجهاد PCCP وأنابيب الصلب SP. وبشكل عام وجد أن الخرسانة مسبقة الإجهاد PCCP لديها انبعاثات في البصمة كربونية أقل بسبب الطاقة الكبيرة المستخدمة أثناء تصنيع أنابيب الصلب SP. (Chilana et al.، 2016).

بالنسبة لدورة حياة خط الأنابيب أثناء مرحلة التركيب، قارن Joshi (2012) طرق الإنشاء طريقة الحفر المفتوح وطريقة تركيب الأنابيب الموجه بدون خندق فيما يتعلق بالجانب البيئي. كان الهدف من البحث هو تحديد انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن استخدام آلات الإنشاء، وكذلك انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بسبب تأخير حركة المرور أثناء عملية الإنشاء. وجدت نتائج الدراسة أن طريقة تركيب الأنابيب بتقنية التركيب الموجه بدون حفر كانت أقل بنسبة 72.6٪ من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون مقارنة بطريقة الحفر المفتوح. لذلك تم التوصل إلى أن هذا الانخفاض الشديد في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون كان بسبب قلة عمليات الحفر، وتجنب تعطل حركة المرور، وقصر مدة العمل (Joshi، 2012).

درس Alsadi (2019) انبعاثات ثاني أكسيد الكربون خلال مراحل دورة حياة خط الأنابيب (التصنيع والتركيب والتشغيل والإتلاف). تتضمن مرحلة التصنيع كل الطاقة من البداية إلى بوابة المصنع لإنتاج الأنبوب. شملت مرحلة التركيب نقل خط الأنابيب ومعدات الإنشاء إلى موقع العمل، وتركيب خط الأنابيب، والردم، وإعادة الرصف. شملت مرحلة التشغيل ضخ الطاقة، وتنظيف خطوط الأنابيب، وتشمل مرحلة الإتلاف الطاقة اللازمة للتخلص من المواد غير القابلة لإعادة التدوير من مواد خط الأنابيب. ركزت دراسته على أنبوب ضغط الصرف الصحي الكبير يبلغ قطره 36 بوصة وطوله 100 قدم يعمل عند ضغط داخلي يبلغ 100 رطل لكل بوصة مربعة، وعمر خط الأنابيب هو 100 عام. تمت مقارنة أربع مواد

لخطوط الأنابيب: الخرسانة مسبقة الإجهاد PCCP والبولي فينيل كلوريد PVC والبولي ايثيلين عالي الكثافة HDPE وأنابيب تركيب والإصلاح بدون خنادق (CIPP). تم استخدام ثلاث طرق تثبيت لتثبيت خط الأنابيب: يتم استخدام طريقة الحفر المفتوح لتثبيت الخرسانة مسبقة الإجهاد PCCP ، وطريقة تركيب الأنابيب الموجه بدون خندق لتثبيت البولي فينيل كلوريد PVC والبولي إيثيلين عالي الكثافة HDPE، وطريقة تركيب وإصلاح الأنابيب بدون خنادق Alsadi CIPP (2019)، كما وجدت الدراسة أن أنابيب البولي فينيل كلوريد التي تستخدم طريقة تركيب الأنابيب الموجه بدون خندق لديها أقل بصمة كربونية مقارنة بالخرسانة مسبقة الإجهاد PCCP، والبولي إيثيلين عالي الكثافة HDPE، وأنابيب التركيب والإصلاح بدون خنادق CIPP (الجدول الجدول 22).

*الجدول 22: ثاني أكسيد الكربون خلال مراحل دورة حياة خط الأنابيب (المصدر: **Alsadi, 2019**)*

	Stage	PCCP	PVC	HDPE	CIPP	Unit	Remark
Phase 1	Fabrication/ Original	28,080	60,609	128,273	99591	lb	From cradle to factory gate
	Fabrication/ Optimization	7,175	35,916	68,392	89,650		
	Reduction	75%	41%	47%	10%		
Phase 2	Installation/ Original	97,457	17,922	17,922	21,310	lb	Transportation + Construction+ Backfill+ Repaving
	Installation/ Optimization	30,313	7,044	7,044	4,926		
	Reduction	69%	61%	61%	77%		
Phase 3	Operation/ Original	788,316	680,148	693,906	738,146	lb	Pumping + Pipe cleaning
	Operation/ Optimization	732,189	680,148	693,906	738,146		
	Reduction	7%	0	0	0		
Phase 4	Disposal/ Original	279	1,061	2,245	6,971	lb	CIPP cannot be recycled
	Disposal/ Optimization	159	424	898	6,971		
	Reduction	43%	60%	60%	0		

ومن الجوانب الأخرى التي ينبغي مراعاتها عند تقييم الآثار البيئية لمواد خطوط الأنابيب توافر هذه المواد في البلد الذي سيتم فيه تركيب نظام إمدادات المياه. وهذا جانب مهم لأن استيراد المواد سيسهم في انبعاثات غازات الدفيئة GHGs عن طريق وسائل النقل المختلفة. وفقا لمذكرة CDM Smith الفنية - تقرير التقييم الفني لمواد الأنابيب الصادر بتاريخ 3 أيلول 2020، تتوفر جميع مواد خطوط الأنابيب المقترحة لمشروع العقبة – عمان لتحلية ونقل المياه AAWDC في الشرق الأوسط باستثناء أنابيب البولي ايثيلين عالي الكثافة HDPE. يجب شحن هذه الأنابيب عن طريق البحر من شمال أوروبا، وبالتالي فإن شحن مواد الأنابيب هذه سيساهم بشكل كبير في انبعاثات غازات الدفيئة GHGs مقارنة بالمواد الأخرى. بالإضافة إلى ذلك وجد التقرير أنه على عكس مواد أنابيب البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية GRP، يمكن لخطوط أنابيب الصلب تحمل ضغط التشغيل العالي، وبالتالي تقليل العدد المطلوب من محطات تقوية الضخ. وعليه فإن هذا يزيد من ظاهرة الاحتباس الحراري GWP من البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية GRP أثناء التشغيل مقارنة بالصلب.

3-10 الخلاصة

تظهر الدراسات أن أنابيب حديد الدكتايل DI لها تأثير بيئي كبير مقارنة بمواد خطوط الأنابيب الأخرى كما أن إنتاج الخرسانة له تأثير كبير على السمية البيئية. يقدم الجدول 23 ملخصاً للأداء البيئي لمواد الأنابيب المختلفة المقترحة لمشروع AAWDC.

الجدول 23: ملخص الأداء البيئي لمواد الأنابيب المختلفة التي تمت دراستها

مواد الأنابيب	ملخص الأداء البيئي
الفولاذ	• تأثير كبير على جودة النظام الإيكولوجي، وموارده خلال مراحل دورة الحياة المختلفة • استهلاك منخفض للطاقة أثناء التشغيل
حديد الدكتايل	• تأثير بيئي كبير من حيث استنفاد طبقة الأوزون، والسمية الأيكولوجية، واستهلاك الطاقة، وإمكانات الاحترار العالمي، والأكسدة الكيميائية الضوئية، وإمكانات التحمض، وتراكم المواد العضوية خلال مراحل مختلفة من دورة حياتها
البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية GRP	• دورة حياة البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية GRP لها تأثير كبير على استهلاك الوقود الأحفوري، والسمية (الإيكولوجية)، واستنفاد طبقة الأوزون. • استهلاك عالي للطاقة أثناء التشغيل
الخرسانة مسبقة الإجهاد pccp	• ثقيلة للغاية وبالتالي فإن نقل هذه المواد له تأثير كبير على احتمالية الاحتباس الحراري العالمي. • مساهمة متوسطة إلى منخفضة نسبياً في إمكانية الاحترار العالمي خلال مراحل دورة حياة المشروع المختلفة.
البولي إيثيلين عالي الكثافة **HDPE**	• تأثير بيئي متوسط إلى منخفض نسبياً من حيث جودة النظام الإيكولوجي والموارد خلال مراحل دورة الحياة المختلفة • غير متوفر في الشرق الأوسط وبالتالي انبعاثات كبيرة من غازات الدفيئة GHGs أثناء النقل