

الأكاديمية الليبية للدراسات العليا

طرابلس – ليبيا



**تبطين الآبار السوداء بطبقة جيوبلاستيكية
للحد من تلوث التربة والمياه الجوفية**

**Lining of Black Water Well with Layer LDPE
Geomembrane for Protection Soil and Ground Water**

إعداد: أسامة محمد محمد خليفة

إشراف: أ.د. عبد الحميد المبروك الدجن
كبير باحثين وأستاذ الهندسة الكيميائية والبيئية

بحث مُقدم إلى

قسم الهندسة والعلوم البيئية (شعبة الهندسة البيئية)

كجزء مُكمل لمتطلبات الحصول على

درجة الماجستير من أكاديمية الدراسات العليا

17 / 12 / 2013 م

جميع حقوق الطبع محفوظة – 2013 م © All Rights Reserved – 2013
أسامة محمد خليفة Osama Muhamed Khalifa

شهادة إتمام بحث

أنا الموقع أدناه أسامة محمد خليفة أشهد بأنني قُمت بإنجاز هذا البحث بنفسني وفقاً لتوجيهات المشرف العلمي على عملي اليومي وأنني حرصت على أن تحمل هذه الدراسة طابع العمل البحثي الأصيل ذو القيمة الفنية العالية وأن كل الدراسات التي قام بها الغير في موضوع البحث تم الإشارة إليها أثناء الكتابة وفي المراجع كما هو موثق في هذه الأطروحة:

أسامة محمد محمد خليفة التوقيع:

كذلك، تم التصديق على أن هذا البحث قد استوفى الشروط الدراسية والمعايير العلمية اللازمة لإستكمال مُتطلبات منح درجة الماجستير في الهندسة والعلوم البيئية (شعبة الهندسة البيئية).

يعتمد المشرف العلمي: أ.د. عبد الحميد المبروك الدجن التوقيع:

أختتم هذه الشهادة بالتنبيه إلى أن هذه الدراسة (تبطين الآبار السوداء بطبقة جيوبلاستيكية للحد من تلوث التربة والمياه الجوفية) تخضع لتشريعات وقوانين الحماية الفكرية وأنه لا يجوز نسخ أو نشر أو إقتباس أية جزء منها بدون إذن كتابي من المؤلف.

بسم الله الرحمن الرحيم

قرآن كريم

(الآية الكريمة "وجعلنا من الماء كل شيء حي أفلا يؤمنون") سورة الأنبياء الآية 30.

(الآية الكريمة "وَالَّذِي نَزَّلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً بِقَدَرٍ") سورة الزخرف الآية 1.

(الآية الكريمة "ظهر الفساد في البر والبحر بما كسبت أيدي الناس") سورة الروم الآية 41.

صدق الله العظيم

ولأهمية الماء للإنسان والبيئة، نجد أن لفظ [الماء] تم ذكره في القرآن الكريم في 63 آية ولفظ [الأنهار] في 54 آية ولفظ [البحار] في 41 آية و[السحب] 9 آيات حيث أن جميعها تحت على أهمية تقنين استعمال الماء والمحافظة عليه والتأكد من طهارته قبل إستخدامه.

وينقسم الماء حسب الأحكام الشرعية إلى ثلاثة أقسام

القسم الأول: فهو طاهر في نفسه مطهر لغيره.

القسم الثاني: ماء طاهر في نفسه خالطه شيء طاهر غير أحد أوصافه.

القسم الثالث: الماء غير الطاهر غير طاهر في نفسه وهو الماء الذي اختلط بنجاسة غيرت أحد أوصافه.

حديث شريف

(رأى صلى الله عليه وسلم رجل وهو يتوضأ فقال : لا تسرف ، لا تسرف)

(مر صلى الله عليه وسلم على سعد وهو يتوضأ فقال ما هذا السرف فقال أفى الوضوء إسراف ؟ قال نعم .. وإن كنت

على نهر جار)

(قال صلى الله عليه وسلم لا يبولن أحدكم في الماء الراكد ، تم يتوضأ منه)

وتعتبر هذه هي أول دعوة في التاريخ للحفاظ على الماء من التلوث

شكر وتقدير

في البداية، الشكر والحمد لله عز وجل الذي سخر لنا هذا وما كنا له بمُقْرنين.

أتوجه بالشكر الخالص إلى مُشرفي وأستاذي الفاضل أ.د. عبد الحميد المبروك الدجن الذي مدني بالنصح والتشجيع والإرشاد الدائم.

أشكر أيضاً أعضاء هيئة التدريس بقسم العلوم والهندسة البيئية في أكاديمية الدراسات العليا على مجهوداتهم في إتمام الفصول الدراسية التي ساعدتني في الحصول على درجة الماجستير في مجال تخصصي.

كذلك أشكر كل من شركة المتجددة لإستيراد مواد البناء والتي سمحت لي بأجراء التجربة البيئية داخل الشركة وقدمت لي كل التسهيلات.

الشكر موصول إلى شركتي ديوان الأعمار والعالي للإستشارات الهندسية وإلى مختبر الكيمياء بمركز البحوث الصناعية في تاجوراء وإلى معمل التربة بقسم الهندسة المدنية جامعة طرابلس وشركة الانماء لصناعة المواسير بجنزور.

الإهداء

إلى أستاذي الفاضل الذي أرشدني إلى طريق العلم
وإلى والدتي التي تدعوا الله لي بالتوفيق
والى والدي "رحمه الله تعالى" وأخواتي وأصدقائي وزملائي الطلاب
وإلى من قدم لي يد العون لظهور هذا المشروع في صورته النهائية
فإليهم جميعاً أهدي هذا العمل المتواضع
وإلى مدينتي (طرابلس) التي ولدت فيها وفي بيئتها نشأت ،ومن قيم أهلها تكونت
شخصيتي وإلى مكتبتها أقدم لها هذه المساهمة

جدول المحتويات

الصفحة 5	.....	صفحة حقوق الطبع والنشر
الصفحة 6	.....	شهادة إتمام بحث
الصفحة 7	.....	شكر وتقدير
الصفحة 5	.....	الإهداء
الصفحة 6	.....	جدول المحتويات
الصفحة 7	.....	الخلاصة
الصفحة 6	.....	Abstract — الخلاصة باللغة الإنجليزية
الصفحة 7	.....	قائمة الأشكال
الصفحة 8	.....	قائمة الجداول
الصفحة 9	.....	قائمة الملحقات
الصفحة 10	.....	قائمة الرموز والإختصارات
الصفحة 11	.....	الفصل الأول: المقدمة
الصفحة 12	.....	الفصل الثاني: الدراسات السابقة
الصفحة 44	.....	الفصل الثالث: التقييم الإستراتيجي لتلوث مياه المدينة
الصفحة 57	.....	الفصل الرابع: النتائج الميدانية لعينات التربة والمياه
الصفحة 108	.....	الفصل الخامس: التوصيف التجريبي للتغلغل الجيوكيميائي
الصفحة 127	.....	الفصل السادس: مناقشة نتائج التغلغل الجيوكيميائي
الصفحة 129	.....	الفصل السابع: الإستنتاجات والتوصيات
الصفحة 130	.....	الملحقات
الصفحة 150	.....	Bibliography — المراجع

الخلاصة

تم في هذه الدراسة تصميم وبناء نموذج مثالي لبئر أسود بمواصفات تُحقق مُتطلبات الحماية والوقاية من حيث العمل بنظام هضم الماء الأسود في إنشاء مُغلق عمقه 1.77 m وحجمه 9.7 m^3 بشرط وجود بطانة جيوبلاستيكية تمنع تغلغل المُلوثات نحو التربة والمياه الجوفية وذلك لتفادي إستمرار الآثار السلبية لمياه الصرف الصحي المنزلية والعامة على الإنسان والبيئة في غياب شبكات الصرف الصحي في العديد من التجمعات السكنية المُحيطة بمدينة طرابلس ولجوء الأهالي إلى هذا النوع من الإنشاءات. البداية كانت بدراسة شاملة للتربة المؤسس عليها نموذج البئر الأسود حيث تم تصنيفها طبقاً للأنظمة الأكثر شيوعاً التي هي **AASHTO** و **USCS**. الأعمال المعملية التي تمت في هذا المجال أهتمت بخواص التربة الفيزيائية التي تميزت بمعامل نفاذية وقع في المدى $10^{-4} \leq k [\text{m/s}] \leq 10^{-7}$ بقيمة **1.22 ميكرون لكل ثانية** والخواص الميكانيكية التي برزت فيها نسبة تحمل كاليفورنيا (**CBR_{Bottom}**) بقيمة **34.72%** والتي تُطابق مدى التصنيف عند المُستوى الجيد للتربة كرمل ناعم طمي مع قليل من الحصى. التحقق من دقة نسبة الـ **CBR** المُقاسة تم بعلاقة رياضية أقرحتها هذه الدراسة لتجمع بين مُعامل مُنحنى التدرج الحبيبي (**C_c**) للتربة وأقصى كثافة جافة (**p_d**) وأفضل مُحتوى رطوبي (**W_{opt}**) حيث تحددت بها نسبة تحمل كاليفورنيا المحسوبة عند **32.34%** كقيمة قريبة جداً من القيمة الإختبارية. الخاصية الميكانيكية الأخرى التي لها أهمية خاصة كانت في نتائج إختبار إجهاد القص المُباشر التي تحددت بها قوة التماسك وزاوية الإحتكاك الداخلي (**φ**) بين حبيبات التربة والتي أستخدمت في تقييم سعة تحمل التربة من حيث قيمة صافي سعة التحمل المسموح بها (**Q_{net-all}**). بالنسبة لجانب التغلغل الجيوكيميائي، تم التأكد من أن التلوث بمُكونات الماء الأسود قائم في منطقة الدراسة بدلالة تلوث ماء بئر المراقبة المُحاذي لنموذج البئر الأسود وأن خطة الحد من عملية إنتقال المُلوثات لا تتحقق إلا ببطانة لمادة تعمل كعازل كيميائي بين مياه الصرف الصحي والتربة. عليه، تم إختيار بوليمر عديد الإثيلين المُنخفض الكثافة (**LDPE**) كمادة للبطانة الجيوبلاستيكية التي تم توظيفها بِسُمك **1.8 mm** لتتصدى لكيمياء الماء الأسود في فترة زمنية قاربت الثمانية أشهر (**7.47 شهر**). تعامل هذه البطانة مع مُحتوى البئر الأسود تميز بإكتسابها للصلادة اللازمة لمُقاومة إجهادات الشد في إختبارات تأثير قوى الشد على عينات لأغشية مُعرضة وغير مُعرضة لمياه الصرف الصحي. أنتهت الدراسة بنمذجة رياضية للعلاقات التي تم بها إستنباط العمر التصميمي للبطانة الجيوبلاستيكية الذي تحدد بفترة زمنية لا تزيد عن أربعة سنوات (**3.8 سنة**) بعد أن مرت البطانة بثلاثة مراحل بدأت بالتعارف ثم السيطرة الكيميائية وآخرها حالة الإستقرار الكيميائي التي تلعب دور هام في تحديد العمر الحقيقي للغشاء الجيوبلاستيكي.

Abstract

An anaerobic black–well model has been designed and built to satisfy the local requirements for protection of health and environment from the risks of random disposal of residential and public wastewaters in the self–built septic structures that are currently practiced in many suburbs around Tripoli city. The minimum preventive measures were the model volume (**9.7 m³**) for a depth of **1.77 m** and a plastic **geo–membrane** performing as an internal liner. The study started with classification work on the soil at the test site according to **AASHTO** and **USCS** as the most commonly used systems in the world. This included comprehensive investigation of the physical and mechanical properties of soil. Physically, the corrected coefficient of permeability was in the range $10^{-7} \leq k \text{ [m/s]} \leq 10^{-4}$ with a value of $1.22 \times 10^{-6} \text{ m/s}$. In terms of mechanical properties, the experimental value of California Bearing Ratio (**CBR_{Bottom}**) was **34.72%**, which found to be at the good level in the classification range for silty fine sand–SM. The accuracy of measured **CBR** was validated theoretically by a relationship proposed by this study on the basis of normalization of measured parameters, which included the gradation coefficient of curvature (**C_c**), maximum dry density (**ρ_d**), and optimum moisture content (**W_{opt}**). The calculated **CBR** that can be taken as a comparable value was **32.34%**. Such characterization was extended to the direct shear test as it carries a special importance for understanding the soil's mechanical behavior. This test was used to determine the shear strength parameters namely cohesion (**C**) and angle of internal friction (**φ**) for evaluation of the soil's bearing capacity in terms of the net allowable bearing capacity (**q_{net–all.}**). For the **geo–chemical contamination** by black–waters, the groundwater monitoring well that was built next to the model confirmed the infiltration of wastewaters in the studied area and, thus, an insulating liner of different chemistry must be in place. This goal was achieved with a **1.8 mm** thick polymeric geo–membrane (**LDPE**), which proved to be effective in stopping the infiltration process during a test period of about eight months (**7.47 months**). The results of tensile stress tests carried out on virgin and exposed liner samples indicated that the hardness of liners exposed to black–water has been enhanced as a result of chemical interactions between the various constituents in both wastewater and polymer. The study concluded with a mathematical model formulated for prediction of the geo–membrane's design lifetime, which was found to be **3.8 years** (**DL** $\cong$ 4 years).

قائمة الأشكال

- الشكل 1-1: بئر أسود ملحق بمنزل خاص وقريب جداً من منسوب المياه الجوفية الصفحة 19
[10].
- الشكل 1-2: يبين الاختلاف الساعي لتدفق مياه الصرف الصحي طوال اليوم الصفحة 27
للأفراد [9].
- الشكل 2-2: يبين الاختلاف اليومي والاسبوع لتدفق مياه الصرف الصحي [9]. الصفحة 27
- الشكل 2-3: إحدائيات مساحات التقييم الإستراتيجي للتلوث في مدينة تاجوراء [10]. الصفحة 30
- الشكل 2-4: موضع الآبار السوداء وآبار المياه في المساحة 'A' بمدينة تاجوراء الصفحة 30
[10].
- الشكل 2-5: موقع المكب الأول لمدينة طرابلس في منطقة عين زارة [6]. الصفحة 31
- الشكل 2-6: موقع المكب الثاني لمدينة طرابلس في منطقة سيدي السائح [6]. الصفحة 32
- الشكل 2-7: تصريف مياه الرش بعد عملية تحسين المكب الصحي [12]. الصفحة 34
- الشكل 2-8: النموذج المثالي لقنوات تصريف مياه الرش [12]. الصفحة 34
- الشكل 2-9: تركيب بطانة الغشاء جيوبلاستيك بسمك من بولي أثلين عالي الكثافة الصفحة 35
[12].
- الشكل 2-10: كيفية وضع شبكة أنابيب تجميع السائل القمامى [12]. الصفحة 36
- الشكل 2-11: نموذج لأنابيب تحرير الغاز [12]. الصفحة 37
- الشكل 2-12: حوض تحليل مع فلتر حصوي و شبكة أنابيب للتصريف [9]. الصفحة 39
- الشكل 2-13: التركيب الهيكلي لأنواع عديد الإثيلين المختلفة [15]. الصفحة 40
- الشكل 2-14: المفاعل الإنبوبي لإنتاج البولي إثيلين. الصفحة 43
- الشكل 2-15: نموذج المفاعل وموضع بطانة البلاستيك عديد الإثيلين العالي الكثافة الصفحة 44
[28].
- الشكل 2-16: تغير اللزوجة الديناميكية مع درجة الحرارة ومعدل القص لبطانة بلاستيك عديد الإثيلين العالي الكثافة [13]. الصفحة 45
- الشكل 2-17: تغير معامل المرونة مع درجة الحرارة ومعدل القص لبطانة بلاستيك عديد الإثيلين العالي الكثافة [13]. الصفحة 46

- الشكل 2-18: مشرف البحث وهو يتفقد بطانة البلاستيك بعد إنتهاء فترة الاختبار في جامعة في جامعة كوينزلان [28]. الصفحة 47
- الشكل 3-1: موقع منطقة الدراسة وفقاً لخريطة ليبيا الجيولوجية (لوحة طرابلس) [16]. الصفحة 48
- الشكل 3-2: العمود الطبقي لتكوين قرقارش [16]. الصفحة 51
- الشكل 3-3: العمود الطبقي لتكوين جفارة [16]. الصفحة 52
- الشكل 3-4: تنوع طبقات التربة في موقع دراسة نموذج البئر الأسود. الصفحة 54
- الشكل 3-5: تصنيف التربة وفقاً للأحجام المختلفة للحبيبات المارة من خلال الغرابيل القياسية. الصفحة 56
- الشكل 3-6: نتائج التدرج الحبيبي لعينة تربة قاعدة نموذج البئر الأسود قبل التبطين بغلاف البلاستيك. الصفحة 57
- الشكل 3-7: المعدات اللازمة لإختبارات الوزن النوعي لعينات التربة بإستخدام البيكنوميتر. الصفحة 59
- الشكل 3-8: التجهيز المعمل لقياس نفاذية التربة بطريقة إختبار فرق الضغط المتغير. الصفحة 61
- الشكل 3-9: وصف للمحددات المُقاسة في عملية نفاذ الماء الخاصة بنظام فرق الضغط المتغير. الصفحة 61
- الشكل 3-10: نتائج العلاقة بين المحتوى الرطوبي والكثافة الجافة للتربة. الصفحة 67
- الشكل 3-11: المنحنى القياسي لنسبة تحمل كالفورنيا (CBR). الصفحة 69
- الشكل 3-12: صورة للتجهيزات المعملية المُستخدمة في إختبار نسبة تحمل كالفورنيا (CBR). الصفحة 70
- الشكل 3-13: منحنى ثقل الإختراق الإختباري لأعماق تربة قاعدة نموذج البئر الأسود. الصفحة 71
- الشكل 3-14: مخطط الجسم الحر لإتزان القوى والإجهادات في إختبار إجهاد القص المباشر. الصفحة 74
- الشكل 3-15: التجهيزات المعملية لإختبار إجهاد القص المباشر في معمل التربة. الصفحة 75
- الشكل 3-16: العلاقة الخطية بين أقصى إجهاد قص عند الإنهيار والإجهاد العمودي. الصفحة 76
- الشكل 3-17: مخطط التصميم الإنشائي لنموذج البئر الأسود التجريبي. الصفحة 80
- الشكل 3-18: صورة جوية لموقع الدراسة في منطقة السواني. الصفحة 80

- الشكل 3-19: صورة حفرة نموذج البئر الأسود التجريبي قبل التغليف بالبطانة الجيوبلاستيكية. الصفحة 81
- الشكل 3-20: صور خطوات تغليف نموذج البئر الأسود ببطانة الجيوبلاستيك وعبوة الماء الأسود. الصفحة 82
- الشكل 3-21: صورة لبعض التجهيزات الدراسية المستخدمة في العمل الميداني. الصفحة 83
- الشكل 3-22: صور للعينات المائية وطريقة أخذها قبل وبعد تفريغ عبوة نموذج البئر الأسود. الصفحة 85
- الشكل 4-1: نتائج التحليل الكيميائي للماء الجوفي قبل وبعد التجربة البيئية. الصفحة 91
- الشكل 4-2: الخريطة الكنتورية لمنطقة الدراسة ومواقع الآبار السوداء والآبار الجوفية. الصفحة 91
- الشكل 4-3: الخواص الكيميائية لمياه الصرف الصحي لنموذج البئر الأسود قبل و بعد التجربة البيئية. الصفحة 93
- الشكل 4-4: سلوك الملوثات الكيموحيوية في بئر المراقبة المائية في منطقة الدراسة قبل و بعد التجربة. الصفحة 95
- الشكل 5-1: أطياف إمتصاص الأشعة تحت الحمراء لخلطة من البوليمرات الأوليفينية المتباينة السلوك [25]. الصفحة 97
- الشكل 5-2: سلوك الأداء الكيموديناميكي لبوليمرات عديد الإيثيلين المنخفض الكثافة وعديد البروبيلين [25]. الصفحة 98
- الشكل 5-3: تطبيق قوة أحادية المحور (قوة الشد) على عينة من البلاستيك [28]. الصفحة 100
- الشكل 5-4: الأشكال الهندسية القياسية للعينات المُجهزة لإختبارات إجهاد الشد للبطانة الجيوبلاستيكية. الصفحة 101
- الشكل 5-5: جهاز وإعدادات إختبارات مقاومة قوة الشد لعينات البطانة البلاستيكية القياسية. الصفحة 102
- الشكل 5-6: صور تركيب عينات بلاستيك البطانة المُجهزة قياسياً في نظام إختبار إجهادات الشد. الصفحة 103
- الشكل 5-7: صور أخذ بيانات إختبار إجهادات الشد الهندسية. الصفحة 104
- الشكل 5-8: سلوك العلاقة بين الإجهاد والإستطالة الهندسيين لعينات البطانة الأصلية والمُعَرَّضة. الصفحة 105
- الشكل 5-9: المنطقة الخطية في العلاقة بين الإجهاد والإستطالة الهندسيين للبطانة الصفحة 106

الأصلية والمُعرضة.

الشكل 5-10: سلوك العلاقة المصححة بين الإستطالة والإجهاد الحقيقيين لبطانتى الصفحة 108
الأصل والمُعرض.

الشكل 5-11: المنطقة الخطية في العلاقة بين الإجهاد والإستطالة الحقيقيين لبطانتى الصفحة 109
الأصل والمُعرض.

الشكل 6-1: الكشف عن حالى التربة والبطانة بعد تفريغ الماء الأسود. الصفحة 113

الشكل 6-2: القياسات العملية اللازمة لتوصيف العلاقة بين زمن التغلغل الصفحة 114
والمُتغلغل.

الشكل 6-3: دور معاملات نموذج التغلغل فى تحديد العمر الحقيقى للبطانة الصفحة 116
الجيوپلاستىكية.

قائمة الجداول

الصفحة 20	الجدول 1-1: هيكلية الأطروحة طبقاً للترتيب العلمي لتسلسل المواضيع الدراسية.
الصفحة 23	الجدول 1-2: التعداد و التوزيع السكاني بمدينة طرابلس [1].
الصفحة 24	الجدول 2-2: التحاليل والتقديرات لعينات من القمامة المنزلية بمدينة طرابلس [2].
الصفحة 24	الجدول 3-2: مكونات القمامة المنزلية لمدينة طرابلس لسنة 1995ف [2].
الصفحة 25	الجدول 4-2: التغير في نسب وزن مكونات القمامة المنزلية لمدينة طرابلس مع الزمن [4].
الصفحة 28	الجدول 5-2: المكونات العامة الرئيسة الموجودة في مياه المجاري المعاشية الخام [9].
الصفحة 29	الجدول 6-2: تقييم بيانات العمل الميداني لعدد 31 منزل في المساحة 'A' بمدينة تاجوراء [10].
الصفحة 41	الجدول 7-2: أهم إستخدامات بوليمرات العائلة الأوليفينية [15].
الصفحة 42	الجدول 8-2: مثال على طريقة حساب درجة التبلور لعدد الإثيلين من مخطط المسعر الحراري [15].
الصفحة 50	الجدول 1-3: الوحدات الصخرية للعصر الرابع التي تقع فيها منطقة الدراسة [16].
الصفحة 50	الجدول 2-3: الوحدات الصخرية للعصر الثالث التي تقع فيها منطقة الدراسة [16].
الصفحة 58	الجدول 3-3: التعريف بنظامي تصنيف تربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود.
الصفحة 58	الجدول 4-3: العلاقة بين نظامي تصنيف التربة AASHTO و USCS للمجموعة A-2 .
الصفحة 58	الجدول 5-3: التقييم العام للتكوين الترابي للقاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود.
الصفحة 60	الجدول 6-3: نتائج إختبارات الوزن النوعي لعينتين من تربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود.
الصفحة 62	الجدول 7-3: بيانات وقيم المُحددات المُقاسة في إختبار تحديد مُعامل نفاذية تربة موقع الدراسة.
الصفحة 63	الجدول 8-3: قيم مُعامل تصحيح درجة حرارة الوسط الإختباري اللازمة لتقييس مُعامل نفاذية التربة.
الصفحة 64	الجدول 9-3: علاقة التغير في المدى العام لمُعامل النفاذية وأنواع الترب [20].

الصفحة 64	الجدول 3-10: قيم مُعامل النفاذية لأهم أنواع التربة [25].
الصفحة 65	الجدول 3-11: قيم مُعامل النفاذية الميداني الواقعة في مدى عامل فعالية الحجم الحبيبي.
الصفحة 68	الجدول 3-12: النتيجة النهائية لقيمة أقصى كثافة جافة عند أفضل محتوى رطوبي.
الصفحة 68	الجدول 3-13: حدود القيم القصوى للكثافة الجافة وأفضل محتويات الرطوبة لأنواع التُّرب [20].
الصفحة 69	الجدول 3-14: قيم الثقلين القياسيين في إختبار تحديد نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) للتربة.
الصفحة 71	الجدول 3-15: قيم نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) لتربة قاع نموذج البئر الأسود.
الصفحة 72	الجدول 3-16: المدى المُحدد بنظامي التصنيف AASHTO و USCS لنسب الـ CBR.
الصفحة 75	الجدول 3-17: حساب قيم الإجهادات العمودية وإجهادات القص في إختبار إجهاد القص المباشر.
الصفحة 76	الجدول 3-18: القيم اللابعدية المنشورة لعوامل سعة تحمل التربة المُعينة
الصفحة 77	الجدول 3-19: قيم المُحددات الإختبارية والبُعدية في مُعادلة ترزاغي.
الصفحة 79	الجدول 3-20: خُلاصة نتائج الخواص الفيزيائية لتربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود.
الصفحة 79	الجدول 3-21: خُلاصة نتائج الخواص الميكانيكية لتربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود.
الصفحة 86	الجدول 3-22: مُدونة الخطوات والمُشاهدات والنتائج لفترات إختبار نظام البئر الأسود النموذجي.
الصفحة 90	الجدول 4-1: نتائج إختبارات تحليل الماء الجوفي قبل وبعد التجربة البيئية.
الصفحة 92	الجدول 4-2: نتائج التحليل الكيميائي لمكونات نموذج البئر الأسود
الصفحة 94	الجدول 4-3: نتائج التحاليل الكيميائية لمُكونات بئر مُراقبة تلوث مياه منطقة الدراسة.
الصفحة 105	الجدول 5-1: نتائج إختبارات إجهاد الشد الهندسي للبطانة الجيوبلاستيكية لحالتي الأصل والمُعرض.
الصفحة 107	الجدول 5-2: نتائج حسابات التصحيح للإستطالة وإجهاد الشد الحقيقيين لبطانتي الأصل والمُعرض.

الجدول 3-5: مُراجعة نتائج إختبارات إجهاد الشد للبطانة الجيوبلاستيكية ومُقارنتها الصفحة 110
بالمدى القياسي.

الجدول 1-6: يعطي قيم ثوابت تلبس نتائج التغلغل في الشكل 1-6. الصفحة 115

قائمة المُلحقات

الصفحة 123	المُلحق رقم 1:	المفاهيم الأساسية
	المُلحق 1-1	معاني المصطلحات العلمية والفنية
	المُلحق 2-1	ميكانيكا التربة
	المُلحق 3-1	كيموفيزياء المياه
الصفحة 128	المُلحق رقم 2:	المعلومات والبيانات القياسية
	المُلحق 1-2	الوحدات القياسية المحلية والعالمية
	المُلحق 2-2	مقاييس التعرض لمياه الصرف الصحي
الصفحة 131	المُلحق رقم 3:	نتائج دراسات التربة والمسح الميداني والمياه
	المُلحق 1-3	التقييم المبدئي للتربة
	المُلحق 2-3	المواصفات القياسية لتحديد خواص التربة الفيزيائية والميكانيكية
	المُلحق 3-3	نتائج دراسات التربة لقاعدة نموذج البئر الأسود (ملخص)
	المُلحق 4-3	تحليل نتائج بيانات التجارب المعملية التي أجريت في معامل التربة
	المُلحق 5-3	نتائج دراسات المياه والمسح الميداني
	المُلحق 6-3	نتائج التخریط الكنتوري لمنطقة الدراسة
الصفحة 140	المُلحق رقم 4:	الخواص الميكانيكية للبطانة الجيوبلاستيكية
	المُلحق 1-4	إختبارات إجهاد الشد للبطانة الجيوبلاستيكية
الصفحة 141	المُلحق رقم 5:	الخلفيات المصورة للعوامل الدراسية
	المُلحق 1-5	مرحلة تجهيز النموذج الإنشائي لنموذج البئر الأسود
	المُلحق 2-5	مرحلة تعبئة نموذج بالمياه السوداء
	المُلحق 3-5	مرحلة التحاليل المخبرية لتربة منطقة الدراسة
	المُلحق 4-5	مرحلة التحاليل المخبرية للمياه ومسح الميداني
	المُلحق 5-5	مرحلة إختبارات إجهاد الشد للبطانة الجيوبلاستيكية
	المُلحق رقم 6:	
	المُلحق 1-5	البيانات النموذجية للمادة البلاستيكية

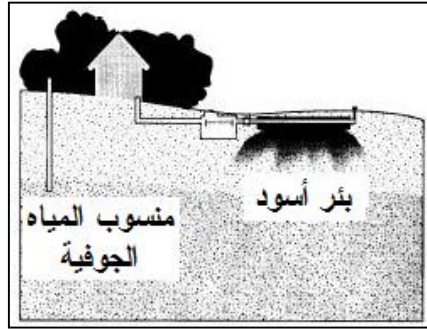
قائمة الرموز والإختصارات

[mg/L]	متطلبات الأكسجين الحيوي (Biological Oxygen Demand)	BOD
[mg/L]	متطلبات الأكسجين الكيميائي (Chemical Oxygen Demand)	COD
[mg/L]	مجموع الكربون العضوي (Total Organic Carbon)	TOC
[mg/L]	مجموع الأملاح الذائبة (Total Dissolved Solids)	TDS
[mg/L]	مجموع العوالق الصلبة (Total Suspended Solids)	TSS
= 1 [mg/L]	جزء في المليون (parts per million)	ppm
-----	الأس الهيدروجيني (Log of Hydrogen Ions)	pH
-----	مخلفات البلدية الصلبة (Municipal Solid Waste)	MSW
[g/cm ³]	أقصى كثافة جافة (Maximum Dry Density)	MDD
[%]	أفضل محتوى رطوبي (Optimum Moisture Content)	OMC
[%]	نسبة تحمل كاليفورنيا (California Bearing Ratio)	CBR
[kPa]	قوة التماسك للتربة (Cohesion)	C
[degrees]	زاوية الاحتكاك الداخلي (Angle of Internal Friction)	φ
[kPa]	سعة التحمل القصوى للتربة (Ultimate Bearing Capacity)	q_{ult}
[kPa]	سعة التحمل الآمنة للتربة (Safe Bearing Capacity)	q_s
[kPa]	صافي سعة التحمل المسموح بها (Net Allowable Bearing Capacity)	q_{net-all}
[mm/sec]	معامل نفاذية التربة (Soil Permeability Coefficient)	k
-----	معامل الأمان (Factor of Safety)	F_s
-----	الوزن النوعي (Specific Gravity)	G_s
-----	عديد الإثيلين منخفض الكثافة (Low Density Polyethylene)	LDPE
-----	عديد الإثيلين العالي الكثافة (High Density Polyethylene)	HDPE
-----	عدد التغلغل (Infiltration Number)	I_n
[MPa]	إجهاد الشد الحقيقي (True Tensile Stress)	σ_t
[%]	الإستطالة الحقيقية (True Elongation)	ε_t

الفصل الأول

المقدمة

المحافظة على صحة الإنسان وسلامة البيئة من إختلاط مياه الصرف الصحي بالمياه الجوفية يبقين دائماً من أولويات أنظمة المراقبة على أداء شبكات التصريف المربوطة بالمجمعات السكنية والمستشفيات والمصانع والمرافق الخدمية. هذا الواقع المثالي بدأ يتلاشى في الآونة الأخيرة بسبب إنتشار ظاهرة حفر خزانات مياه صرف صحي خاصة وملحقة بالمنازل والمنشآت العامة التي يُطلق عليها الآبار السوداء كما هو في الشكل 1-1.



الشكل 1-1: بئر أسود ملحق بمنزل خاص وقريب جداً من منسوب المياه الجوفية [10].

فخطر التلوث أصبح حقيقة والوقاية أصبحت ضرورة. لذلك، برزت أهمية دراسة إتجاه تغلغل مياه الصرف الصحي في التربة من أجل التحكم في معدلات التصريف والتجميع في أبراج معالجة. هذا الهدف كان موضوع عدد كبير من الدراسات الحديثة التي منها المعالجة الكيموفيزيائية لمياه الصرف الصحي بإستخدام المخلفات الصلبة في معاصر ثمار الزيتون وتبطين قاع المكبات العامة بطبقة بلاستيكية لتجميع السائل القمامي وكذلك تبطين الآبار السوداء بطبقة جيوبلاستيكية للحد من تلوث التربة والمياه الجوفية والتوصيف الجيولوجي لشكل تغلغل الملوثات في باطن الأرض. نتائج مثل هذه الأبحاث لعبت دوراً هاماً في تصميم أنظمة معالجة فعالة يتم فيها فصل وإزالة الملوثات من مصادر مياه الصرف الصحي. كما إن مياه الصرف الصحي تحتوي أيضاً على جراثيم وميكروبات تتمثل في

فيروسات وبكتيريا وفطريات وديدان. كل ذلك يتطلب إدراج إختبارات بكتيرية وبيولوجية دقيقة في عمليات المعالجة.

لذلك، برزت أهمية هذه الدراسة التي موضوعها تبطين الآبار السوداء بطبقة جيوبلاستيكية للحد من تلوث التربة والمياه الجوفية والتي تطلبت النظر في الأهداف التالية:

1. تجهيز المساكن والمرافق الإنتاجية والخدمية والتي تحتوي علي الابار السوداء بطبقة جيوبلاستيكية لمنع تسرب المياه الملوثة الي التربة والمياه الجوفية والتي لم يتم إصالة بمنظومة الصرف الصحي
2. تحديد مدي مقاومة الطبقة جيوبلاستيكية للأحمال الناتجة من مياه الملوثة داخل البئر الاسود.
3. تحديد الخواص الفيزيائية (Physical properties) للتربة مثل الكثافة النوعية والنفاذية للتربة وتصنيف التربة هندسياً .

4. تحديد الخواص ميكانيكية (Mechanical propertie) للتربة مثل تحديد مقاومة الحمل ومعاملات المرونة .

5. تحديد خواص الطبقة البلاستيكية من خلال اجراء اختبارات ميكانيكية و الاختبارات الريولوجية.

6. تسهيل عملية تجميع المياه الملوثة ومنع تسربه للمياه الجوفية والتربة وخاصتا المستخدمة في الاغراض الزراعية .

7. تساعد عملية تجميع مياه الابار السوداء الباحثين في دراسة وتحليل المياه الملوثة ومعرفة مكوناته.

8. الحد من تلوث التربة والمياه الجوفية وحماية البيئة و محافظة علي صحة الانسان و البيئة .

لتحقيق هذه الأهداف، تم وضع الخطة الدراسية التي على أساسها تبلورت الرسالة بمحتوى تتوزع فيه سبعة فصول دراسية تبدأ بالمقدمة وتنتهي بفصل الإستنتاجات والتوصيات كما هو في الجدول 1-1 الذي يعطي وصف عام لهيكلية الأطروحة.

الجدول 1-1: هيكلية الأطروحة طبقاً للترتيب العلمي لتسلسل المواضيع الدراسية.

عنوان الفصل	مواضيع الفصل
الفصل الأول	المقدمة
الفصل الثاني	الدراسات السابقة
الفصل الثالث	التصميم الإنشائي لنموذج البئر الأسود
	أهداف الدراسة وهيكلية العمل البحثي
	أزمة القمامة ومياه الصرف الصحي
	تصميم المكبات
	مياه الصرف الصحي في الضواحي
	دواعي الدراسة
	جغرافيا منطقة الدراسة
	جيولوجيا منطقة الدراسة

— مصادر المياه الجوفية — دواعي إختيار موقع الدراسة — الفحص العيني لتربة الموقع — خواص تربة الموقع — النموذج الإنشائي للبئر الأسود — التجهيزات الدراسية والعمل الميداني		
— دواعي التقييم — تحاليل المياه — تحاليل مياه نموذج البئر الأسود — تحاليل مياه بئر المراقبة	مراقبة تلوث مياه منطقة الدراسة	الفصل الرابع
— دواعي إختيار مادة البطانة — إختبار الأداء الكيموديناميكي لبطانة — إختبارات إجهاد الشد للبطانة	أداء البطانة الجيوبلاستيكية	الفصل الخامس
— العمر التصميمي الآمن (الدواعي) — العمر التصميمي الآمن (النمذجة) — العمر الحقيقي للبطانة البلاستيكية	إستنباط العمر التصميمي للغشاء الجيوبلاستيكي	الفصل السادس
— الإستنتاجات — التوصيات	الإستنتاجات والتوصيات	الفصل السابع

الفصل الثاني

الدراسات السابقة

1-2 أزمة القمامة و مياه الصرف الصحي

عند توفر المياه إلى المنشآت السكنية والخدمية، فإنه تكون الحاجة إلى التخلص من المياه المستخدمة (الصرف الصحي). والصرف الصحي يحتوي على مخلفات آدمية ومياه نظافة، ومياه غسيل أواني منزلية وكذلك العديد من الكيماويات في حالة وصول مياه الصرف من منطقة صناعية أو تجارية. وهي تحمل كذلك كائنات حية دقيقة التي يمكن ان تسبب الامراض ومواد عضوية التي يمكن أن تلوث البحيرات والمجاري المائية في حالة تحللها. كذلك التنمية لتجمع سكني جديد أو تجمع قائم سيؤدي حتما إلى زيادة المخلفات الصلبة المنزلية والصناعية، جمع والتخلص من المخلفات الصلبة هو من مسئولية الإدارة المحلية ولكن بعض من المخلفات الصناعية يمكن أن تكون خطرة وتتطلب طرق خاصة للتداول والتخلص منها. توجد علاقة مؤكدة بين الصحة والبيئة الصحية وتداول المخلفات الصلبة والتخلص منها، عدم التخلص المناسب من المخلفات المنزلية الصلبة يمكن أن يؤدي إلى انتشار الأمراض مثل التيفوس والطاعون بسبب توالد وتكاثر الفئران والهامام [14]. كذلك فإنه في حالة التخلص الجديد من المخلفات المنزلية في مدفن للقمامة أو على الأرض فإنه من المحتمل كذلك حدوث تلوث للمياه السطحية والمياه الجوفية من خلال ترشح السائل القمامي (Leachate) في حالة سقوط الأمطار على القمامة وتسرب المياه الحاملة للملوثات إلى المياه السطحية أو الجوفية. كذلك فإن حرق المخلفات قد يسبب تلوث كبير للهواء الجوي .

1-1-2 تراكم المخلفات الصلبة

أن النظافة العامة والتي هي عبارة عن عملية جمع ونقل والتخلص من النفايات الصلبة للتجمعات السكانية والتجارية والصناعية والزراعية في المدن والقرى لها أثر واضح في الحفاظ على جمال البيئة وحسن مظهرها ، لأنها تعتبر من الامور الهامة التي تحقق اغراض الوقاية من الامراض والقضاء

على أهم أماكن تكاثر وإنتشار الحشرات والقوارض والحيوانات الضالة، لقد برزت أهمية النظافة العامة نتيجة للارتفاع المستمر في المستوى الحضاري والمعيشي الذي صاحبه ازدياد في كمية المخلفات الصلبة كما ونوعا وخصوصا ان هذه النفايات تتولد بصورة مستمرة وعلى مدار الساعة، ولذا فإن عمليات النظافة العامة تحتاج الي إدارة جيدة وتخطيط مسبق لغرض تفادي هذه المشاكل ، ولقد نجحت الدول المتقدمة في تطبيق إدارة جيدة لإدارة هذه النفايات وذلك نظراً لتقارب تركيبة فضلاتها المنزلية اما في الدول النامية فهي تسعى حثيثا الى ايجاد حلول تتمشى وظروفها المحلية. وعلى الصعيد المحلي والتي من بينها مدينة طرابلس لاتزال تشكل اعمال النظافة العامة من جمع ونقل وحفظ والتخلص النهائي للقمامة المنزلية بالطرق السليمة عبئا وصعوبات ادارية وفنية ومالية على اجهزة حماية البيئة المعنية بشئون النظافة العامة . ولقد لاحظ انه بالرغم من المجهودات التي تقوم بها هذه الاجهزة وفق امكانياتها البشرية والمادية المتاحة الا انه لم يتم تحقيق مبداء الادارة السليمة للقمامة المنزلية ولا تزال القمامة المنزلية من مختلف مصادرها متراكمة في الساحات العامة واماكن الفضاء وعلى جانبي الطرقات وغيرها وهي تشكل خطرا جسيما على الصحة العامة والبيئة.

2-1-2 الناتج اليومي للقمامة

لقد سجلت مدينة طرابلس مثل سائر المدن الاخرى تفاقم ظاهرة النفايات بسبب تطور مستوى العيش وتغير انماط الاستهلاك والتنمية الصناعية والاقتصادية والاجتماعية بشكل عام وقد بلغت اجمالي كمية النفايات المنتجة يوميا حوالي 1270 طن وهو ما يوافق بمعدل واحد كيلو جرام للفرد يوميا [5]. والجدول التالي يبين التوزيع السكاني على مستوى النطاق بالشعبية لسنة 2003 ف معد اعتمادا على النتائج النهائية للتعداد العام للسكان والتعداد العام للمباني والمساكن والمنشاءات لسنة 1995 ف الصادر عن الهيئة الوطنية للتوثيق والمعلومات .

م	المنطقة	عدد السكان	عدد الوافدين	الاجمالي	الناتج اليومي للنفايات بالطن
1	طرابلس المركز	837 216	54 209	271 046	271 046
2	حي الاندلس	291 754	43 763	335 517	335 517
3	أبوسليم	241 663	36 249	277 912	277 912
4	سوق الجمعة	333 949	33 395	367 344	367 344
	الاجمالي	1 084 203	167 616	1 251 819	1251 819

جدول 1-2: يبين التعداد و التوزيع السكاني بمدينة طرابلس [1].

هذا التعداد السكاني محسوب على نتائج أحصاء 1995 ف والزيادة السنوية الصافية 2.84 % [1].

المتوسط %	2002/1 %	2001/10 %	2001/1 %	2000/11 %	99/10 %	99/3 %	99/1 %	التاريخ	
								النوع	
10.30	8.62	11.91	7.90	12.89	7.49	11.30	12.31	اكياس بلاستيك LDPE	البلاستيك
2.13	2.19	1.57	3.66	1.50	1.70	2.59	1.64	عبوات بلاستيك HDPE	
1.76	1.86	0.93	2.80	2.10	0.95	1.76	1.94	زجاجات بلاستيك PETE	
3.80	3.86	3.22	3.95	4.50	4.63	3.69	2.79	الدشت	الورق
10.29	8.29	11.15	8.26	10.49	16.28	10.22	7.32	الكرتون	
4.62	2.81	2.72	12.56	6.89	2.11	2.64	2.60	المنسوجات	
6.91	9.24	8.22	4.02	4.20	4.97	8.69	9.01	الحديد	المعادن
1.40	1.52	1.43	0.86	0.90	1.43	2.16	1.52	الالومنيوم	
0.54	0.45	0.79	0.36	0.54	0.20	0.66	0.78	الزنك	
0.42	0.76	0.29	0.22	0.30	0.14	0.56	0.68	النحاس	
2.53	2.05	2,64	2.80	2.10	2.72	2.57	2.79	الزجاج	
1.38	1.38	1.00	2.01	0.36	2.38	1.04	1.49	الخشب	
1.21	1.84	0.86	1.36	0.84	0.82	1.47	1.64	احدية جلدية	
0.92	0.88	1.07	1.01	0.66	0.54	0.77	1.49	الاحجار	
1.75	2.38	1.43	0.86	1.38	1.98	1.53	2.67	العظام	
50.05	52.24	51.09	47.38	50.36	51.63	48.34	49.33	المادة العضوية	

جدول 2-2: يبين التحاليل والتقديرات لعينات من القمامة المنزلية بمدينة طرابلس [2].

م	البيان	النسبة %	المقابل بالوزن اليومي
1	مواد عضوية	50.05	635.6
2	ورق وكرتون	14.09	178.9
3	بلاستيك	14.18	180.0
4	معادن	9.27	177.7
5	منسزجات	4.62	58.67
6	زجاج	2.53	32.13
7	خشب	1.38	17.52
8	جلود	1.21	15.36
9	عظام	1.75	22.22
	الاجمالي	% 100	1270

جدول 2-3: مكونات القمامة المنزلية لمدينة طرابلس لسنة 1995ف [2].

يتراوح وزن القمامة الناتجة عن كل مواطن بدولة ليبيا ما بين 0.35 كجم في اليوم الى 2.0 كجم في اليوم بمتوسط 0.78 كجم للشخص الواحد في اليوم، لذلك تقدر كمية القمامة المنتجة يوميا من مدن وقرى ليبيا بحوالي 4000 طن، إضافة الى المخلفات ذات الأحجام الكبيرة كالأثاث والأدوات المنزلية والإطارات المستهلكة وماشبه ذلك. الجدول (2-4) يوضح التغير في نسب مكونات القمامة بمدينة طرابلس من 1971 إلى 2002 ف، كما يبين ارتفاع كبير في نسبة اللدائن حيث كانت 2.1% (لدائن ومطاط وجلود) في سنة 1971 وارتفعت في سنة 2002 ف الى 13.17% (لدائن فقط) وهذه ناتج من زيادة استخدام هذه المادة في الأسواق والمستلزمات المنزلية وبعض الأغراض الأخرى. كما أن نسبة المعادن قد زادت إلى أكثر من الضعف أي من 3.8% إلى 7.8% ويشكل الألومنيوم الجزء الأكبر من المعادن [4].

المواد	سنة 1971	سنة 2002
مواد عضوية قابلة لتحلل	48.80	52.65
ورق كرتون	16.50	16.92
بلاستيك	2.10	13.17
معادن	3.80	7.80
منسوجات	3.10	4.26
زجاج وفخار	3.3	2.48
خشب	1.90	1.33
اتربة، احجار، رماد	16.70	1.39

جدول 2-4: التغير في نسب وزن مكونات القمامة المنزلية لمدينة طرابلس مع الزمن [4].

يعتبر موضوع المخلفات الصلبة من المواضيع التي تلقى اهتماما بالغا من جميع دول العالم والمنظمات الدولية التي تعني بشئون البيئة والصحة العامة والموارد الطبيعية والتنمية المستدامة. إن القمامة خليط من عدة مواد عضوية سهلة التحلل وغير سهلة التحلل ومواد غير عضوية قابلة وغير قابلة للاشتعال وتحتاج إلى عناية وإدارة جيدة للحفاظ على بيئة نظيفة. قدرت تكلفة الحفظ والجمع والنقل والتخلص النهائي من المخلفات الصلبة بجميع أنواعها ومعدلاتها بحوالي 1.0% إلى 1.5% من الدخل القومي العام لأي دولة باعتبار أن القمامة المنتجة يوميا من الشخص الواحد تعتمد على دخل الفرد في البلد وتزداد بزيادة الدخل ومستوى المعيشة. كما أن مكونات القمامة عبارة عن مواد أولية تم استخدامها، وأن المصادر الطبيعية على مستوى العالمي من أشجار ومعادن ونحوها في تناقص مستمر نتيجة لزيادة الطلب عليها وايضا لمحدويتها. لذلك فأن عملية استرجاع بعض مكونات المخلفات الصلبة وتدويرها والاستفادة منها أصبحت إحدى اهتمامات المنظمات الدولية المهمة بالبيئة والتنمية المستدامة [4].

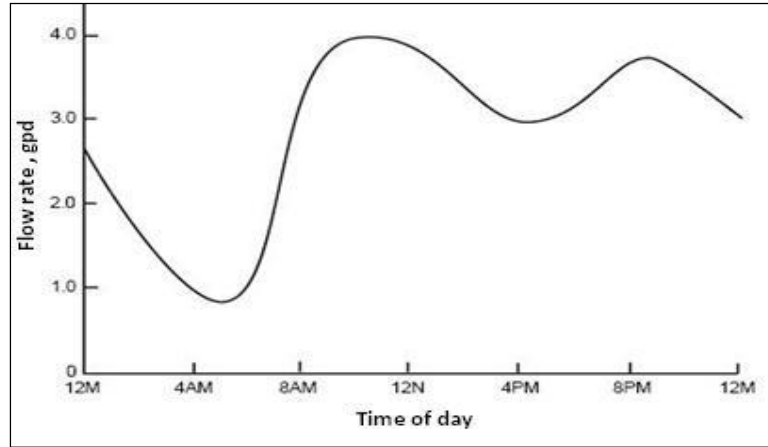
2-2-1 تصريف مياه الصرف الصحي

لقد أدى التطور الذي شهدته معظم دول العالم وزيادة عدد السكان وارتفاع مستوى المعيشة إلى ارتفاع ملحوظ في الطلب على المياه ورغم أن بعض الدول لا تعاني من هذه المشكلة بسبب تنوع مصادر المياه التقليدية منها ووجود هذه المياه بكميات تفي بالطلب إلا أن توزيع المياه الصالحة للاستعمال على سطح الكرة الأرضية ليس متساوياً. الأمر الذي أدى إلى التفكير في تنوع مصادر المياه واستغلال أكبر كمية منه بشتى الطرق والتي منها استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة في ري المسطحات الخضراء والأشجار. محطات معالجة مياه الصرف الصحي تقوم بمعالجة المياه القادمة من المصنع والمدينة السكنية التي تشمل مياه المطابخ والحمامات ومياه غسيل السيارات ومختبرات التحاليل والأمطار كما أنها تحتوى على تركيزا عالية من المواد العضوية وإعداد رهيبه من الكائنات الحية الدقيقة التي لها القدرة على البقاء حية في البيئية لفترة زمنية طويلة وتحت أسوأ الظروف من حيث درجة الحرارة والبرودة وفي هذه الحالة يكون كافي لإصابة كل من يتعرض لها بالتلوث كما تحتوى على تركيزا عالية من العناصر الثقيلة التي تسبب تلوث المياه الجوفية في حالة وصولها. من سنة 1976م إلى غاية 2000م يتم تصريف مياه الصرف الصحي بما تحتويه من ملوثات إلى شاطئ البحر مسبب تلوث كبير للأحياء البحرية وموت الكثير منها وإصابة الإنسان بأمراض مختلفة عند استهلاكه للأحياء البحرية ومن الصعب تقدير الخسائر الصحية والبيئية والاقتصادية المترتبة عن هذا التلوث[8]. يطلق تعبير مياه الفضلات على كافة أنواع المياه المبتذلة الناجمة عن مختلف الفعاليات المنزلية (غسيل ثياب و صحن و أعمال التنظيف الخرى و المياه المستهلكة بالأدواش و المراحيض...الخ) والتجارية وتضاف إليها في المدن الكبرى مياه الفضلات الصناعية . تشكل مياه الفضلات عامة من حوالي(99%) من الماء وحوالي (1%) من الشوائب والملوثات الضارة ويطلق تعبير مياه المجاري (Sewage) عادة على مياه الفضلات المنقولة بشبكة المجاري العامة إلى محطة المعالجة أو إلي أي مصب طبيعي بعيداً عن المدينة.

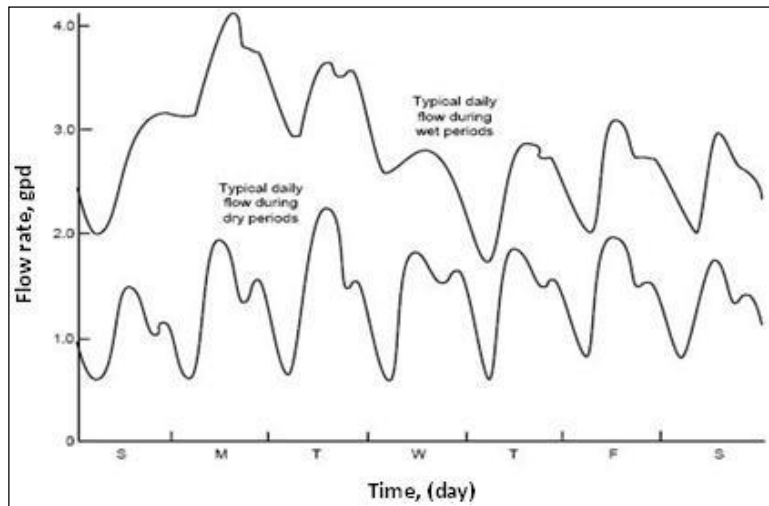
2-2-2 كميات مياه الفضلات

تشكل مياه الفضلات حوالي (80 %) من المياه العذبة المستهلكة في المدينة ومن أجل ذلك يتم تحديد كميات مياه الفضلات حسب عدد السكان الحالي والمتوقع عند نهاية الفترة التصميمية لأي مشروع لتنفيذ مشروع صرف صحي (شبكات - محطات معالجة) و بالاستناد إلى الإستهلاك الإجمالي من المياه لكل فرد في المنطقة المدروسة يتم حساب الكميات الإجمالية من مياه الفضلات الناجمة عنها . فمثلاً" في تاجوراء يبلغ معدل صرف الشخص التقريبي باليوم حوالي 43 ليتر. وتتغير كمية مياه

الفضلات المطروحة في شبكة المجاري العامة بتغير معدلات الإستهلاك المائي ولذلك يختلف معدل تصريف مياه الفضلات باختلاف الفترات الزمنية، حيث يزداد خلال ساعات الذروة الصباحية والمسائية ويقل بقية اليوم، بينما يزداد في أيام نهاية الأسبوع عن بقية الأيام اما بنسبة لفصول السنة يزداد خلال فصل الصيف ويتناقص خلال فصل الشتاء. و يمكن تبيان الاختلاف الساعي بالتدفق لمياه الصرف الصحي طوال اليوم بالشكل (1-2). و أما الاختلاف اليومي والاسبوع بالتدفق لمياه الصرف الصحي فتعطى بالشكل (2-2)[9].



الشكل 1-2: يبين الاختلاف الساعي لتدفق مياه الصرف الصحي طوال اليوم[9].



الشكل 2-2: يبين الاختلاف اليومي والاسبوع لتدفق مياه الصرف الصحي [9].

إن مياه الصرف المنزلية الغير معالجة تتضمن الملوثات الهامة الموضحة بالجدول التالي:

شديدة التركيز	وسطية التركيز	ضعيفة التركيز	الوحدات	المكونات
1200	720	350	mg/L	البقايا الجافة
850	500	250	mg/L	المواد المنحلة
525	300	145	mg/L	المواد المعدنية
325	200	105	mg/L	المواد الطيارة
350	220	100	mg/L	المواد المعلقة الكلية
75	55	20	mg/L	المعدنية
275	165	80	mg/L	الطيارة
20	10	5	mg/L	المواد المترسبة
400	220	110	mg/L	الأحتياج البيولوجي للأكسجين
290	160	80	mg/L	الكربون العضوي الكلي
1000	500	250	mg/L	الأحتياج الكيميائي للأكسجين
85	40	20	mg/L	الآزوت
50	25	12	mg/L	النشادر الحر
35	15	8	mg/L	الآزوت العضوي
0	0	0	mg/L	النترات
0	0	0	mg/L	النتريت
15	8	4	mg/L	الفوسفات على شكل P
5	3	1	mg/L	عضوي
10	5	3	mg/L	لاعضوي
100	50	30	mg/L	الكلورايد
50	30	20	mg/L	السلفات
200	100	50	mg/L	القلوية على شكل (CaCO ₃)
150	100	50	mg/L	الدهون / الزيت
10 ⁷ -10 ⁹	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁶ -10 ⁷	No/100ml	الكوليفورم كلي
400<	100-400	100>	mg/L	المركبات العضوية الطيارة

جدول 2-5: المكونات العامة الرئيسة الموجودة في مياه المجاري المعاشية الخام [9].

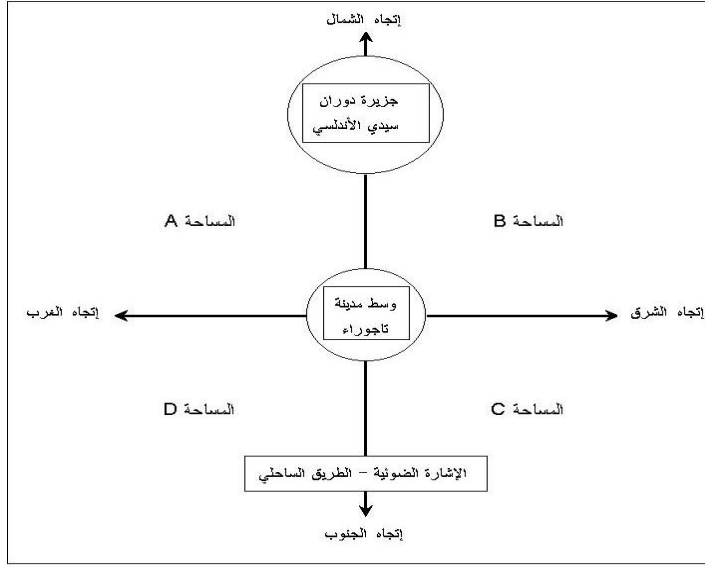
1-2-3 الحالة البيئية لمدينة تاجوراء

لقد درس الباحث في هذا البحث التخريط جيوكيميائي لتغلغل مياه الآبار السوداء في الاراضي السكنية و العامة بمدينة تاجوراء، و وفقاً لنتائج المسح الميداني لمدينة تاجوراء و التجمعات السكانية فيها ، أتضح ان المدينة تعاني من عدم توفر بنية تحتية سليمة للصرف الصحي و ان هناك حي واحد (حي

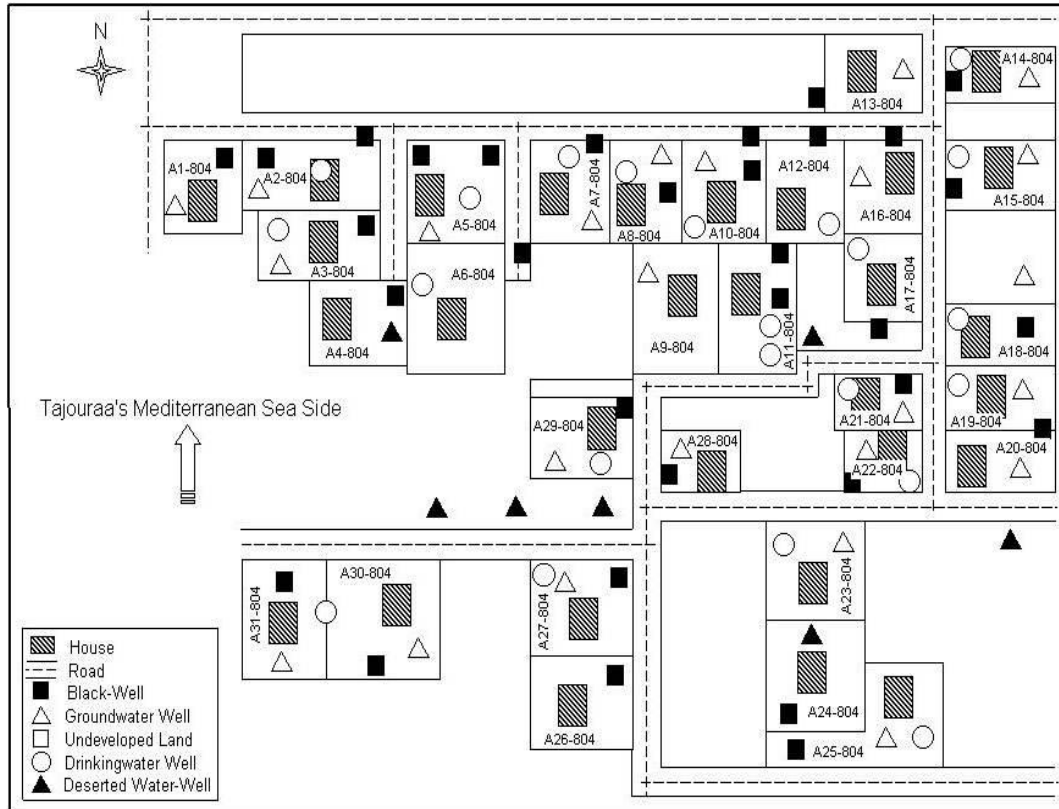
سيدي خليفة) مربوط بشبكة تصريف خاصة مع محطة سيدي عبد الكريم التي تمثل 5% من النسبة الكلية للتجمع السكاني بالمدينة. الباقي موزع على 80% من السكان الذين يفتقرون الي وجود شبكات تصريف صحي و نسبة 15% خاصة بالانشطة الصناعية الصغرى. فعملية التخلص من مياه الصرف الصحي المنزلية تتم الي يومنا هذا بواسطة ابار سوداء ملحقه لهذا الغرض . للأسف ، خطورة نقل المياه السوداء في هذه الاماكن يناظر خطر الابار السوداء المكشوفة التي بالتالي أصبحت مصدر لانبعاث الغازات الضارة و الروائح الكريهة و شوهت المظهر الحضاري للمدينة . زد علي ذلك مصادر التلوث الكيميائي المباشر و المتمثل في نواتج مرافق الخدمات الطبية و معامل التصوير و مواقع غسيل السيارات و تغير زيوت المحركات فالتلوث بكيموايات مختلطة مع الطور السائل للموائع الحاضنة لها مثل المياه السوداء و مياه الشرب و الدم و الزيت و مواد التنظيف و التطهير يتم بآلية **التغلغل الجيوكيميائي** التي تنقل الملوثات من سطح الارض الي المياه الجوفية مروراً بطبقات التربة المختلفة . تكرر هذه العملية لعشرات السنين يتسبب في تغير الخواص الطبيعية للتربة و المياه الجوفية مما يؤثر سلبيا على مقومات الحياة الانسانية [10]. فلا زالت هذه الممارسة الخاطئة مستمرة بشكل عشوائي وبطرق أنشائية لا تستند على أسس علمية معتمدة. هذا الأمر الواقع أستخدم البحث في وسائل وقائية من خلال دراسات عملية تهدف إلى تجنب المواطن من المخاطر الصحية والبيئية المصاحبة للآبار السوداء. لذلك، بدأ العمل من مدينة تاجوراء كموقع دراسي تتوفر فيه شروط الإعتماد على الآبار السوداء في التخلص من مياه الصرف الصحي. الشكل (2-3)، يعطي صورة مفصلة عن موقع العمل البحثي التي تم تقسيمه إلى أربعة مساحات عمل تقع بين أحداثيات الغرب والشمال والشرق والجنوب. إتساع هذه الرقعة الأهلة بالسكان حصر الدراسة في الوقت الحالي في المساحة 'A' وفي جزء يضم 31 منزل فقط. البداية كانت بزيارات ميدانية لهذا الجزء حيث تم توزيع إستبيان على السكان من أجل تجميع بيانات عن النوع الإنشائي للآبار السوداء وحجمها وعمرها الزمني. كذلك، ساعد الإستبيان على تحديد المسافة بين البئر الأسود وبئر المياه الجوفية وبئر ماء الشرب (الماجن) لكل منزل في المساحة المدروسة.

مجموع السكان المُستركين في الإستبيان	متوسط حجم البئر الأسود [m ³]	متوسط عمر البئر الأسود بالسنة [year]	مجموع مساحة الأرض الحاوية للآبار السوداء [m ²]	المعدل الكلي اليومي لتولد مياه الصرف الصحي [m ³ /day]
280	53.3	21.42	553	14.7

الجدول 2-6: تقييم بيانات العمل الميداني لعدد 31 منزل في المساحة 'A' بمدينة تاجوراء [10].



الشكل 2-3: أحداثيات مساحات العمل البحثي في مدينة تاجوراء [10].



الشكل 2-4: موضع الآبار السوداء وآبار المياه في المساحة 'A' بمدينة تاجوراء [10].

2-2 تصميم المكبات

للاسف و حسب علم الباحث و الأستاذ المشرف لم يتم وضع اي أساس لتصميم مكب صحي في ليبيا ، كما لم يتم وضع إستراتيجية لإدارة المخلفات الصلبة والتي تعتبر الأساس لتصميم المكبات و إدارة المخلفات الصلبة للوصول للهدف النهائي من إدارة المخلفات الصلبة و هو الحصول على أدنى المخلفات يتم التخلص منها وتقليل تكلفة التخلص منها كما وهو الاهم الحفاظ على البيئة و صحة الانسان.

2-2-1 مواقع التخلص النهائية (المكبات)

يوجد داخل مدينة طرابلس عدد اثنان كمواقع للتخلص النهائي للبقمامة المنزلية وهي الموقع الاول يوجد بمنطقة عين زارة على مساحة حوالي 15 هكتار ، وهو يعمل منذ الستينات ، وحاليا لا يتم استغلاله نظرا لانتهاؤ عمره الافتراضي منذ سنوات وتتكدس القمامة به لارتفاعات تصل الي عشرات الامتار ارتفاعا مما يتسبب بعض المشاكل البيئية وتشويه جمال مدينة طرابلس كما يوضح الشكل(2-5).



الشكل 2-5: موقع المكب الأول لمدينة طرابلس في منطقة عين زارة [6].

أما المكب الثاني يوجد خارج مدينة طرابلس بمنطقة سيدي السائح على مساحة تقدر بحوالي 100 هكتار وبدأ استغلاله منذ سنة 2002 ف[6]. وطريقة التخلص المعتمدة به هي عبارة عن القاء

بالعراء دون اجراء عمليات الردم والحماية ، وبالتالي فانه يعاني من نفس المشاكل ويجب اتخاذ الاجراءات العاجلة لتصحيح الوضع البيئي للموقع منعا من تفاقم المشكلة وحدوث تلوث لبيئية المنطقة. وطريقة التخلص المعتمدة به هي عبارة عن القاء بالعراء دون اجراء عمليات الردم والحماية ، وبالتالي فانه يعاني من نفس المشاكل ويجب اتخاذ الاجراءات العاجلة لتصحيح الوضع البيئي للموقع منعا من تفاقم المشكلة وحدوث تلوث لبيئية المنطقة.



الشكل 2-6: موقع المكب الثاني لمدينة طرابلس في منطقة سيدي السائح [6].

2-2-2 إدارة المكبات Landfills Management

أن موضوع النظافة و التخلص من النفايات هو من الموضوعات التي تحتل مكان الصدارة بين سائر اختصاصات المدن والبلدان ليس فقط لأنه يستأثر كثير من المميزات ويستخدم القوى البشرية فيها ولكن لأنه من أكثر الأمور تأثراً بالحياة اليومية للسكان فبواسطته يمكنهم أن يعيشوا في راحة وأطمئنان وهو أيضاً يمكن أن يكون سبباً في تكدير صفو معيشتهم وتغريض شتى شئون حياتهم وبوسعنا أنا نتصور مدى القلق والإزعاج الذي يمكن أن يسببه تراكم نفايات مدينة ليوم واحد فقط في العراء. عادات الناس وسلوكهم وما ألفوه من أساليب التخلص من نفاياتهم دوراً سلباً أو إيجاباً في إقامة أو دعم جهود الاجهزة المعنية بالنظافة وتحول السلبيات إلى إيجابيات أمر يتطلب من الجهد أضعاف ما يبذل في عملية النظافة نفسها [11].

الردم الارضى الصحى Sanitary Landfills

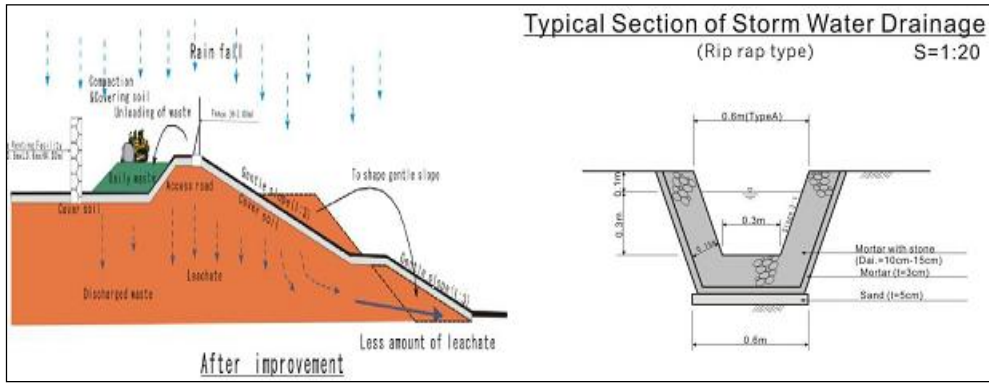
من اقدم الطرق و أكثرها استخداماً للتخلص النهائي من المخلفات الصلبة هو الردم الارضى. التخلص من المخلفات الصلبة فوق سطح الارض في شكل أكوام لم يعد يستخدم حالياً نظراً لما يسببه من تلوث

للبيئة و نقل للأمراض و مأوى للزواحف و الحشرات و الحيوانات الضالة و روائح كريهة و احتمالات حدوث حرائق هذا بالإضافة الى ما يسببه من تلوث للمياه الجوفية . حاليا يتم التخلص من المخلفات الصلبة في حفر ردم الأرضى الصحية . و هذه عبارة عن إنشاء هندسي مصمم للتخلص من المخلفات الصلبة ، أى أنه مصمم و منشأ ويتم استخدامه بطريقة بيئية صحيحة لا تهدد الصحة العامة أو الأمن ، كما تقلل من المضايقات مثل الهواء والروائح . توجد ثلاث خواص أساسية لحفر الردم الأرضى الصحى تميزها عن الردم كومات فوق سطح الارض وتشمل: (1) توضيح المخلفات الصلبة في الردم الأرضى (المبطن) الذى يتم اختياره بعناية و بطريقة صحيحة. (2) تنشر مادة المخلفات و يتم دمكها باستخدام ماكينة دمك ثقيلة مناسبة. (3) تغطى المخلفات كل يوم بطبقة من التربة المدموكة ربما أن تكون أهم المظاهر الحديثة لتصميم حفرة الردم الأرضى هو التقنيات المستخدمة في منع تلوث المياه الجوفية [14].

الطاقة الكلية و العمر التصميمى لمنطقة الردم الأرضى الجديدة يتوقف على حجم و طبوغرافية الموقع، معدل إنتاج المخلفات، درجة الدمك للمخلفات. كمية مادة التربة اليومية للتغطية تضيف تقريبا 20% إلى الحجم الكلى للملء كما يجب أخذها في الاعتبار عند تقرير طاقة منطقة الردم الأرضى . يجب أن يتوفر الحجم الكافي خلال منطقة العمل للموقع بحيث تتوفر لمنطقة الردم الأرضى عمر تصميمي قدره 25 عاما. كلما زادت فترة عمر الخدمة المفيد للموقع كلما كانت عملية إدارة المخلفات الصلبة اقتصادية للمجتمع المخدوم . عموما بالنسبة لطاقة الردم الأرضى فأن المقبول هو واحد هكتار من الأرض مغطاة لعمق واحد متر أو واحد فدان مغطى لعمق 8 قدم، مع دمك المخلفات، وذلك لخدمة 1000 شخص. بعد نهاية عمر الخدمة لمنطقة الردم يستفاد منها في إقامة الملاعب و المتنزهات و المساحات الخضراء و ملاعب الجولف .. الخ [14] .

السيطرة على المياه السطحية

يمكن التحكم في المياه السطحية و تحويلها بعيدا عن مكان الردم الأرضى بعمل الميل المناسب من (6-12%) ميل للغطاء اليومي يسمح للمياه بالصرف بحرية من منطقة الردم . القنوات المبطننة بالخرسانة أو حفر الصرف يمكن إنشاءها حول محيط الموقع لتوجيه سقوط الأمطار و جمع المياه من الموقع. الغطاء النهائي أعلى منطقة الردم التى أتكملت ينشأ بحيث يكون مانع لنفاذية المياه و يمنع تسرب الامطار فوق منطقة الردم الأرضى مباشرة، حيث يصمم و يدرج لمنع و وصول المياه إلى المخلفات في الردم . الغطاء يمكن أن يتكون من طبقة من التربة بسمك لا يقل عن 60 سم بميل (3-5%)، ويكون أسفل طبقة صرف تربة رملية و طبقة من بطانة غشائية مرنة ذات نفاذية من التربة [14].



الشكل 2-7: تصريف مياه الرش بعد عملية تحسين المكب الصحي [12].



الشكل 2-8: النموذج المثالي لقنوات تصريف مياه الرش [12].

تبطين القاع Bottom Liners

معظم مدافن الرمد الصحي يتم إنشاءها بواسطة بطانة مركبة من مادة مخلفة فوق طبقة من الطفل (الطين) بسمك 60 سم، وهذه تكون حاجز غير نفاذ الذي يحتوى السائل القمامى و يمنعها من الاختلاط مع المياه الجوفية. (في بعض الحالات يمكن تغير سمك و مكونات تبطين قاع حفرة الرمد الصحي طبقا للظروف المناخية و المحلية و الهيدرولوجية). المادة المخلفة تكون عادة من البولى إيثيلين على الكثافة و تسمى البطانة الغشائية المرنة و توضع فوق طبقة أساس معدة بحرص لمنع اختراقها أو تموجها. الطفلة (تربة طينية) يجب أن يكون معامل التوصيل هيدروليكي اقل من 1×10^{-6} مم/الثانية. أى أن مياه الغسالة للتربة التى توجد و تدخل الطفلة ستتدفق اقل من بوصة واحدة في العام [12].



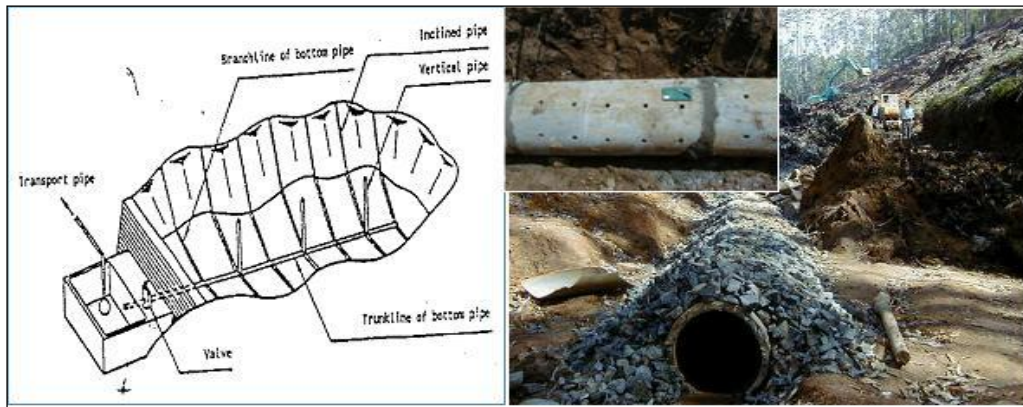
الشكل 2-9: تركيب بطانة الغشاء جيوبلاستيك بسمك 1.8-2.5 مم من بولى أثيلين عالى الكثافة [12].

السائل القمامى Leachate contaminant

أماكن الردم الأرضى الصحى تنتج كميات كبيرة من السائل عالى التلوث يسمى غسالة التربة حسب المرجع او السائل القمامى (Leachate) ويعتمد تصميم منطقة الردم الأرضى على قدرة التربة الطبيعية في ترشيح و امتصاص الملوثات [13]. هذا المفهوم بخصوص التخفيف الطبيعي كان هو السائد، و لكن المفهوم الحديث مبنى على التحكم في الملوثات و معالجة السائل القمامى. بعض السائل القمامى ينتج مباشرة من الرطوبة و تحلل القمامة العضوية القابلة للتحلل في المخلفات الصلبة، ولكن معظمها يأتى من مياه الأمطار أو من المياه السطحية و التى في المخلفات الصلبة، ولكن معظمها يأتى من مياه الأمطار أو من المياه السطحية و التى تترشح في المخلفات ثم تتسرب إلى أسفل خلالها [14]. الالتصاق المباشر مع المخلفات ينتج عنه تلوث شديد لهذه المباني. و في حالة و صول مياه غسالة التربة إلى المياه الجوفية أو أن تتسرب إلى الجوفية أو أن تتسرب إلى مجرى مائى فإنه يحجب تلوث خطيراً جداً. توجد طريقتين لمنع حدوث مشاكل السائل القمامى (Leachate) في موقع الردم الأرضى الصحى أحد هذه الطرق هى التجهيز الهندسي للموقع لمنع دخول مياه الأمطار و السيول إلى منطقة الردم الصحى وذلك بعمل حواجز و قنوات توجيه. الطريقة الثانية هى بتوفير بطانة مانعة لنفاذ المياه بين المخلفات و طبقة التربة فوق الخزان الجوفى أسفلها [14].

جمع و معالجة السائل القمامى Leachate Collection and Treatment

السائل القمامى الذى يتم احتواءه بواسطة البطانة السفلية لا يسمح لها بالتراكم، حيث يجب جمعها و معالجتها في موقع مركزى قبل التخلص النهائى منها. البدئل للتخلص النهائى تشمل الصرف إلى محطات المعالجة الصرف الصحى ، أو المعالجة في الموقع ثم التخلص منها في المجرى المائى. الشبكة من مواسير البلاستيك المثقبة الموضوعة في طبقة الصرف الموجودة فوق البطانة الغير نفادة مباشرة تستخدم عموماً لجمع السائل القمامى . المواسير المثقبة بقطر 4 بوصة توجه هذه المياه الى ماسورة تجميع ذات قطر أكبر و أخيراً الى بيارة الجمع أو محطة الضخ. يتم عمل الإجراءات اللازمة للتفتيش و الصيانة لتأكد التدفق الحر لسائل القمامى. السائل القمامى هو عموماً مياه صرف عالية التركيز تتصف بارتفاع المحتوى من الحمل العضوى BOD وانخفاض الرقم الهيدروجينى pH، واحتمال وجود مواد سامة. و هى أحياناً و ليس دائماً قابلة للمعالجة في محطات المعالجة التقليدية لمياه الصرف الصحى. بالإضافة إلى المشاكل الفنية المتعلقة بالمعالجة و التخلص، فإن هناك اعتبارات قانونية بيئية يجب ان تؤخذ في الاعتبار و كذلك مشاركة الاهالى. في حالة توفر شبكة صرف صحى قريبة و أن طاقة محطة المعالجة مياه الصرف تسمح بأحمال إضافية فإنه عادة يفضل معالجة السائل القمامى في محطات المعالجة المتاحة، ولكن هذه العسارة او السائل قد تحتاج الى بعض المعالجة المسبقة طبقاً لخواصها[14].



الشكل 2-10: كيفية وضع شبكة أنابيب تجميع السائل القمامى [12].

غاز مطامر الردم الصحي Landfill Biogas

المادة العضوية المدفونة في المخلفات الصلبة تتحلل بفعل الكائنات الحية الدقيقة. معدل التحلل يتوقف أساساً على كمية الرطوبة الموجودة في المخلفات. معدل التحلل يسير نسبياً عندما تزداد نسبة المحتوى من الرطوبة عن 50% ولكن التحلل الكامل للمخلفات و تثبيت مكونات الدفن الصحي من المخلفات من المخلفات يستغرق حوالى 20 عاماً". أولاً، تتحلل المخلفات هوائياً حتى استخدام الأكسجين الموجود في المخلفات التي تم وضعها طازجة بواسطة الكائنات الهوائية. ثم يستمر التحلل اللاهوائي منتجا غاز الميثان CH_4 ، وغازات أخرى نتيجة تحلل المواد العضوية. غاز الميثان المخلوط مع الهواء بتركيزات ما بين 5 إلى 15% شديد الانفجار. و هو سام كـو هو سام كذلك ويمكن أن يسبب الوفاة بسبب استنشاقه. غاز الميثان يسرى في المسار حيث أقل مقاومة، حيث يمكنه الانتقال لمسافات أفقية طويلة خلال الطبقات المسامية للرمل أو الزلط. يمكن حدوث حالات خطيرة في حالة ارتفاع الغاز إلى السطح و يتراكم في المباني أو البدرومات أو أى مساحة مغلقة. لقد حدثت حالات انفجار خطيرة وتسبب في فقد الأرواح في الماضى و الذى يمكن تجنبه بالتصميم و التنفيذ الجيد لمدافن المخلفات. ويمكن التحكم في حركة الغاز بتوفر حواجز غير منفذة في المدفن الصحي. طبقة كثيفة بسمك واحد متر من الطين أو الطفلة الرطبة، مثلاً، سوف تعمل كحاجز ممتاز لسريان الغاز عند القاع و محيط المدفن. يمكن إنشاء نظام تصريف الغاز لجمع المحتجز و تصريفه نحو السطح، حيث يمكن تخفيضه بأمان و نشره في الجو كما في الشكل ، بدلاً من صرف الغاز في الجو يمكن جمع غاز الميثان و استخدامه كوقود. و يتضمن نظام استعادة غاز الميثان كوقود، استخدام مبدأ نفاذية الغشاء Membrane permeation لفصل البقايا القليلة من ثانى أكسيد الكربون، النتروجين، كبريتيد الهيدروجين من الغاز، مع ترك الميثان النقى كمنتج للبيع[14].



الشكل 2-11: نموذج لأنابيب تحرير الغاز [12]

2-3: إدارة مياه الصرف الصحي في الضواحي

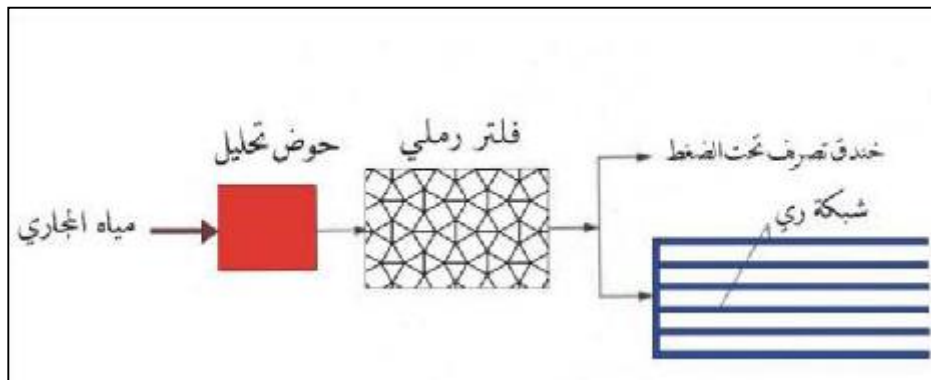
تعاني المجتمعات الصغيرة وبشكل عام من قلة الموارد المائية لتغطية نفقات مشاريع إدارة المياه الملوثة والمشاكل الشائعة تتعلق في أمور التصميم، العقود، البناء، الإشراف، التمويل، التشغيل والصيانة. لذلك فمختلف هذه التحديات تواجه أي فريق يتصدى لإدارة مثل هذه المشاريع. إن التخطيط المتكامل للمياه الملوثة في التجمعات الصغيرة يعني استخدام كافة الخيارات والأدوات الممكنة لمعالجة وإدارة هذه المياه الملوثة. وذلك في ملتبطلب من تجميع ونقل ومعالجة المياه الملوثة والتخلص من المياه المعالجة والمخلفات الصلبة. تتنوع إمكانيات وأساليب الإدارة الخاصة بالمياه الملوثة للمناطق اللامركزية ويمكن إيجازها كمايلي: (1) البيوت المنفصلة عن بعضها البعض وبشكل متباعد المعالجة بالمكان عبر أحواض التحليل. (2) التجمعات السكنية المتقاربة يتم جمع مياهها الملوثة ومعالجتها عبر حوض تحليل كبير أو سلسلة من أحواض التحليل. (3) التجمعات التجارية تحتاج الى معالجة أولية لإزالة الدهون والشحوم من المياه الملوثة و تنقها فلاتر حصوية و ربما برك أكسدة أو الأحواض الرطبة. (4) التجمعات الصناعية يمكن تطبيق مختلف أنواع طرق المعالجة للحصول على المواصفات المطلوبة للمياه المعالجة التي يمكن صرفها أو إعادة استخدامها. من الأهمية بمكان إمرار مياه الصرف المنزلية على أحواض تحليل قبل وصولها لخط الصرف الرئيسي مما يسهم في التخلص من قسم كبير من المواد القابلة للترسيب وبالتالي إنقاص قطر الأنابيب الناقلة للمياه الملوثة وبالتالي تخفيض تكاليف خطوط الصرف الصحي وتكاليف محطات المعالجة أيضاً[9].

2-3-1: المعالجة عن طريق إدارة المصدر (مصدر الملوثات)

المخلفات البشرية تحتوي على مواد مغذية ذات قيمة غذائية للنباتات وكذلك عضوية يمكن تحويلها إلى سماد ومواد محسنة للتربة. وهكذا فإن إعادة استخدام هذه المخلفات يؤدي إلى تخفيض الحاجة لإنتاج الأسمدة الصناعية التي تحتاج بدورها إلى طاقة وتؤدي إلى مشاكل بيئية. بالإضافة إلى ذلك تؤدي معالجة هذه المخلفات إلى حماية المياه السطحية من التلوث. إن كمية كبيرة من المواد المغذية للنباتات يمكن الحصول عليها في حالة ضبط مصدر التلوث في المنازل. فالمعالجة من خلال تطبيق إدارة المصدر تجعل التحكم في تخفيف النفايات البشرية ممكناً وهذا يؤدي إلى تنفيذ عملية المعالجة بفعالية بالإضافة إلى الحصول على كميات عالية من المواد المغذية للنبات[9].

2-3-2: المعالجة قرب مصدر التلوث

إن المياه الملوثة في المناطق الريفية أو الزراعية (اللامركزية) يمكن أن تنتج عن بيت أو تجمع تجاري أو سياحي أو تجمع لعشرات المنازل، أن إنشاء مكان لمعالجة مياه الصرف الصحي عن منشأ هذه المياه يوفر أموالاً طائلة بسبب تجنب إنشاء شبكات صرف صحي ذات أطوال كبيرة. أن الحديث عن معالجة مياه الصرف الصحي في المناطق اللامركزية أو الزراعية يعني ببساطة طرق المعالجة وسهولة التشغيل والصيانة لتجنب الحاجة إلى خبرات ماهرة التشغيل والصيانة والتي عادة لا تتوفر في البلدان النامية. وتتنوع المعالجة قرب المصدر التلوث بشكل عام تبعاً لعوامل مختلفة وقد تكون المعالجة البيولوجية إما هوائية أو لاهوائية وكن بشكل رئيسي هناك عدة أنظمة معالجة بسيطة ومناسبة جداً للبلدان النامية [9]. من أبسط هذه الطرق هي أحواض التحليل، أن الدور الأهم لحوض الترسيب هو التخلص من المواد القابلة للترسيب الموجودة في مياه الصرف الناتجة عن الاستخدامات المنزلية والتجارية والسياحية ويكون زمن المكوث للمياه الملوثة ضمنه يوم واحد على الأغلب. وتصل فاعلية حوض التحليل في إزالة الـ BOD إلى (40-50%) و الـ SS (55%) والفسفور (25%) والنيتروجين (10%) [9]. عادة ما يتكون حوض التحليل من قسمين الأول يستخدم للتخلص من المواد القابلة لترسيب و الحمأة المتجمعة في القسم الأول تحلل لاهوائياً ويتم التخلص منها كحمأة مثبتة كل سنة مرة واحدة تقريباً. وبحال التصميم جيداً فإن إزالة الحمأة تتكرر كل عدة سنوات. أما القسم الثاني لحوض التحليل يستخدم لتحسين مواصفات المياه الخارجة عبر استخدام الفلاتر مثلاً. والمياه الخارجة من حوض التحليل يمكن إرسالها إلى أنابيب مطمورة ومتقبة بحيث تتساب المياه عبر التربة كما في الشكل (2-12). يمكن أن يتم وضع شبكة التصريف الأنبوبية ضمن خنادق وتكون محاطة بالحصي أو بمواد بلاستيكية أو مطاطية، أو تكون ممددة فوق سرير رملي أو حصوي [9].



الشكل 2-12: حوض تحليل مع فلتر حصوي و شبكة أنابيب للتصريف [9].

2-4 دواعي الدراسة

هذه الدراسة تعتبر أمتداد لدراسة سابقة في جامعة كوينزلاند The University of Queensland الاسترالية تحت أشرف (أ.د. عبد الحميد الدجن) كما في المرجع [28]. الفرق بين هذه الدراسة ودراسة (بيثي فورد Bethany Forde) هو أن الدراسة السابقة تناولت تبطين المكبات MSW (Municipal Solid Waste) بطبقة عازلة من بلاستيك عديد الإثيلين العالي الكثافة، أما في هذه الدراسة فقد تم تبطين قاعدة الآبار السوداء بطبقة من بلاستيك عديد الإثيلين منخفض الكثافة. حيث تعتبر مياه الصرف الصحي الناتجة من المجمعات السكنية والمرافق الخدمية والتي تتسرب إلى التربة والمياه الجوفية والتي تحتوي على كثير من المواد المختلفة الملوثة سواء عالقة أو مذابة بإضافة إلى الكائنات الحية الدقيقة الممرضة. هذه المياه يتم تجميعها في حفر داخل التربة ويطلق عليها الآبار السوداء. إمتداد هذه الممارسات الخاطئة أدى إلى الإعتماد الكلي على الآبار السوداء كجزء من مخططات المباني الخاصة والعامة فمثل هذه الإنشاءات الضارة بقت مصدر خطر على الإنسانية في العديد من دول العالم وذلك بالنظر إلى أن التلوث بفعل الآبار السوداء يتسبب في أمراض مستعصية ويهدم الدورة البيئية الطبيعية. لذلك، برزت أهمية هذه الدراسة التي موضوعها تبطين الآبار السوداء بطبقة جيوبلاستيكية للحد من تلوث التربة والمياه الجوفية والتي تطلبت النظر في الأهداف التالية:

1. توفير بيانات القاعدة الأرضية للآبار السوداء بإختبارات قياسية على تربة الإنشاء لتشمل التصنيف العيني والخواص الفيزيائية والميكانيكية والتوزيع الحبيبي والنفذية.
2. تصميم وبناء نموذج مثالي لبئر أسود مجهز بموضع المتابعة الدورية لتغير العينات التي يجب أن تمثل نظام هضم خالي من الأكسجين (Anaerobic Digestion).
3. تبطين نموذج البئر الأسود بغلاف جيوبلاستيكي سُمكه يتراوح بين 1.5 – 2.0 mm على أن يكون من مجموعة البوليمرات الأوليفينية (Polyolefins) التي تتميز بخواص كيموديناميكية مرغوب فيها والتي يعتمد تركيبها الكيميائي على عنصري الكربون والهيدروجين فقط.
4. توصيف عوامل الأداء الكيموديناميكي والميكانيكي للبطانة الجيوبلاستيكية قبل وبعد التعرض لحمل وكيمياء الماء الأسود في زمن لا يقل عن ستة أشهر.
5. توصيف نتائج البحث في تأهيل الأسس الفنية المطلوبة لإرساء مواصفة قياسية ليبية تكفل للمهتمين بالسلامة الصحية والبيئية إجراءات التصريف الآمن للمياه الملوثة.
6. تزويد الجهات المعنية في المرافق البلدية بالمعايير القياسية المستقاة من نتائج هذه الدراسة لتقنين وتطوير طرق بناء الآبار السوداء.
7. وضع أسس نظرية تبحث في المفاهيم المتعلقة بالعمر التصميمي للبطانة الجيوبلاستيكية من حيث العلاقة التي تربط بين خواص طبقة البلاستيك والسلوك الديناميكي والكيميائي للمياه والملوثات.

2-4-1: مجموعة بلاستيك الإيثيلين (PE)

تتكون مجموعة بلاستيك الإيثيلين (Polyethylenes) التي تستخدم بعض منها مصانع الأغذية البلاستيكية من ثلاثة مواد بوليمرية أساسية هي عديد الإيثيلين المنخفض الكثافة (LDPE) وعديد الإيثيلين المنخفض الكثافة الخطي (LLDPE) وعديد الإيثيلين العالي الكثافة (HDPE). هذه المجموعة مع بوليمر عديد البروبيلين (PP) تُشكل ما يُعرف بالعائلة الأوليفينية (Polyolefins) التي تتميز بخاصية مفيدة تتركز على طبيعة تركيبها الكيميائي الذي يحتوي على عنصري الكربون والهيدروجين فقط والذي يختلف عن التركيب الكيميائي لبوليمرات أخرى مثل عديد كلوريد الفينيل (PVC) وعديد اليوريثان (PU). أول مادة بوليمرية أُكتشفت كانت أحد أعضاء هذه العائلة في العام 1933 ف وكانت عديد الإيثيلين المنخفض الكثافة أو ما تُعرف بالإيثيلين المتفرع (Branched PE) ووصل إنتاجها إلى المستوى التجاري في العام 1939 ف بلمرة الإيثيلين عند درجة حرارة عالية وضغط عالي [15]. تبع ذلك إنتاج عديد الإيثيلين العالي الكثافة أو ما يُعرف بالإيثيلين الخطي (Linear PE) عند درجة حرارة منخفضة وضغط منخفض كنتيجة لتطوير حفازات زيغلر (Ziegler Catalyst Systems) في العام 1953 ف [15]. الشكل (2-13) يوضح التركيب الهيكلي لنواتج بلمرة وخط البوليمرات المكتشفة [19].



الشكل 2-13: التركيب الهيكلي لأنواع عديد الإيثيلين المختلفة [15].

الإستفادة الأخرى من حفازات زيغلر كانت في إكتشاف بوليمر عديد البروبيلين البلوري في العام 1954 ف. أما آخر الإكتشافات في العائلة الأوليفينية كانت في العام 1977 ف لعديد الإيثيلين المنخفض الكثافة الخطي كأحد منتجات شركة يونيون كربايد الأمريكية (Union Carbide Co., USA) ليعمل كبوليمر مساعد لبوليمر (Copolymer) بأقصر سلاسل جانبية أو فروع على العمود الفقري [15]. الجدول (2-7) يعطي معلومات التطبيقات العملية التي تُستخدم فيها بوليمرات العائلة الأوليفينية.

البوليمر	الكثافة $[g/cm^3]$	الوصف والتطبيق
LDPE	0.91 – 0.935	بوليمر يجمع بين القسوة والمرونة ويستخدم بشكل رئيسي في رقائق

التغليف (Packaging Films) وفي الأعمال الزراعية وتشكيل الفينيات والأنابيب.		
أقوى وأصلب من LDPE وأغلب إستخداماته في عمليات التشكيل بالنفخ ويعتمد عليه في تبطين المكبات العامة كطبقة عازلة بين القمامة والتربة [19].	0.965 – 0.935	HDPE
أصلب من LDPE في عمليات صهر معينة ويعمل كبوليمر مساعد لإنتاج رقائق تتحمل مستويات عالية لقوى الصدم والشد.	0.925 – 0.91	LLDPE
يتميز عن أعضاء العائلة الأوليفينية بسهولة التحكم في عمليات البثق (Controlled Rheology Polypropylene) بسبب خاصية إنفتاح السلسلة (Chain Scission) عند التعرض لمستوى حراري عالي [19]. لذلك، فهو شائع الإستخدام في تصنيع أنابيب PP-R والقطع المكونة للسيارات وحاوي أجهزة ومعدات الإذاعة المرئية.	0.91 – 0.90	PP

الجدول 2-7: أهم إستخدامات بوليمرات العائلة الأوليفينية [15].

2-4-2: التصنيفات الصناعية

القطاع الصناعي يتعامل مع البوليمرات بشكل عام تحت أسم المواد البلاستيكية أو البلاستيك كمصطلح فني يصف بدقة معنى المادة الصناعية. فالفرق بين البوليمر والبلاستيك يتمحور في أن الأول يُنظر له كمادة خام لمُنتجات الثاني. أي بمعنى أن البوليمر يتعرض لعمليات تغيير بمُضافات كيميائية ليصبح المادة الصناعية المعروفة بالبلاستيك [15]. عمليات التغيير تتم وفقاً لمتطلبات الإنتاج بمُضافات تستخدم فيها الصناعة كيماويات تشمل مُضادات الأكسدة والكهرباء الساكنة والمُثبتات الحرارية والمُلدنات والألوان والمواد المائلة مثل كربونات الكالسيوم (CaCO_3) [15]. بعض هذه المُضافات يلعب دور في تحسين الخواص البوليميرية والبعض الآخر يُساعد على تخفيف السمية وتخفيض تكاليف الإنتاج.

كل ذلك يقع ضمن تصنيفان رئيسيان هما: (1) البلاستيك المطاوع للحرارة (Thermoplastic) مثل العائلة الأوليفينية و(2) البوليمرات الصلدة (Thermosetting Polymers) التي لا يمكن تليينها بالحرارة نظراً لتكوينها الشبكي المبين في الشكل (2-13) (Network Polymers) والتي تشتهر بخاصية تشابك السلاسل البوليميرية (Crosslinking) كما هو في مادة المطاط [15]. في التصنيف الأول، المواد البوليميرية القابلة للإنصهار والتشكيل الصناعي تنقسم إلى بلاستيك بلوري متراسف

(Crystalline) بسلوك يميل أكثر نحو الخاصية المرنة (Elastically) وبلاستيك شفاف (Amorphous) يستجيب. بسهولة للمؤثر الديناميكي. بين هذا وتلك يقع التصنيف الشبه بلوري (Semi-Crystalline) كخاصية تتميز بها مجموعة بلاستيك الإيثيلين التي تُظهر درجة تبلور في المدى 60% - 70% [15].

هنا تجدر الإشارة إلى أن خاصية التبلور تؤثر بشكل مباشر على خواص بوليمرية هامة مثل درجة حرارة الإنصهار (T_m) ومُعامل المرونة (G' - Storage Modulus) والنفذية. فمعرفة درجة التبلور (χ_c) هي معرفة لخاصية أساسية في علوم وتقنيات البوليمر. تحديد هذه الخاصية يتم بواسطة قياسات تفاضلية من المُسعر الحراري (Differential Scanning Calorimetry – DSC). الجدول (2-8) يوضح خطوات حساب درجة التبلور لعديد الإيثيلين من مُخطط قياسات المُسعر [15].

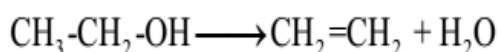
درجة حرارة بداية الإنصهار $T_{mo} [^{\circ}C]$	درجة حرارة الإنصهار $T_{mp} [^{\circ}C]$	المحتوى الحراري الإختباري $H_f (DSC) [J/g]$	المحتوى الحراري القياسي عند تبلور تام $\chi_c = 100\%$ $H_f (Standard) [J/g]$	درجة التبلور $\chi_c [\%]$
122.3	131.6	180.1	290	62.1

الجدول 2-8: مثال على طريقة حساب درجة التبلور لعديد الإيثيلين من مُخطط المُسعر الحراري [15].

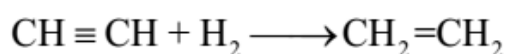
2-4-3: البولي الإيثيلين منخفض الكثافة (Low Density Polyethylene(LDPE)

هو أول بلاستيك أنتج من بلمرة غاز الإيثيلين و هو عبارة عن بوليمير يتكون من سلسلة خطية تتصل بها تفرعات جانبية كثيرة و هذه التفرعات تتسبب في إنخفاض درجة التبلور للبوليمر و بالتالي إنخفاض كثافته. يحضر البولي إيثيلين ذو الكثافة المنخفضة من بلورة غاز الإيثيلين تحت ضغط عالي. حيث يحصل إنتاج بطريقتين أولاً: إنتاج الإيثيلين يحصل عليه بطريقتين.

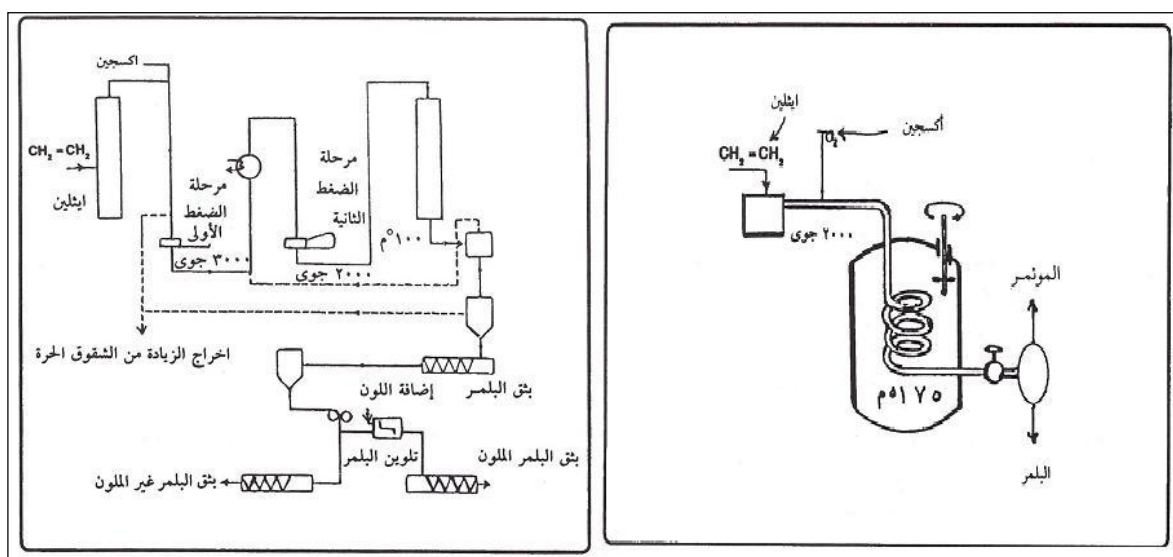
(أ) - إزالة جزئ ماء من الكحول الإيثيلي:



(ب) - هدرجة غاز الأسيتيلين:



ولكن في معظم الاحيان فإن الإيثيلين يحصل عليه كمنتج بتروكيميائي في عملية التكسير النافثا و التي تستخرج من تقطير البترول. ثانياً: طريقة البوليمر (العملية الصناعية)، تتم العملية في معظم الأحوال في مفاعل أنبوبي مسخن تحت ضغط عالي حيث يدخل المونومر من أحد طرفي المفاعل الموضح في الشكل (2.6)، يدخل غاز الإيثيلين بعد التنقية من الشوائب غاز الميثان ثم يذاب فيه غاز الأكسجين (عامل الحفز) لعمل محلول بتركيز (0.5% O_2). ثم يضخ الخليط (المحلول) في المفاعل الأنبوبي عند ضغط (1000-3000 atm) وتكون الأنبوبة مسخنة عند درجة حرارة (175-200 °C) و في المفاعل الصناعي قد يصل طول الأنبوبة إلى واحد كيلومتر و قطرها يصل الي 5 سم من الداخل و 15 سم من الخارج و معدل الانتاج يصل إلى 100 مليون كيلوجرام في السنة. عند نهاية الأنبوبة يوجد صمام يفتح على فترات و بفتحه ينخفض الضغط حيث يقذف بالبوليمير الناتج و المونومر المتسرب الزائد يسمح للمونومر بالتبخر، ثم يفصل البوليمر و يغسل.



الشكل 2-14: المفاعل الأنبوبي لإنتاج البولي إيثيلين LDPE تحت ضغط عالي.

2-4-4: أداء بطانة بلاستيك عديد الإثيلين العالي الكثافة كماده عازله في مكبات المُلخّفات البروتينيه الخالية من الأكسجين

تم وضع بطانة بلاستيكية من مادة عديد الإثيلين العالي الكثافة (HDPE) بسمك 1.5 مم في قاع مفاعل إسطواني الشكل مصنوع من مادة الحديد الغير قابل للصدأ بحجم 37 لتر حيث وضع فيه 11.6 كجم من المُلخّفات المنزلية فوق السطح العلوى لهذا الغلاف البوليمري. تتكون المُلخّفات البروتينيه من بقايا اللحم المطبوخ والطازج وكذلك قطع الخبز والبطاطس حيث بلغت الكثافة الغير مضغوطة 328 كجم/م³. وُضعت هذه المُلخّفات في جو خالٍ من الأكسجين وتُركت لتتحلل لمدة ثمانية أشهر. في أثناء

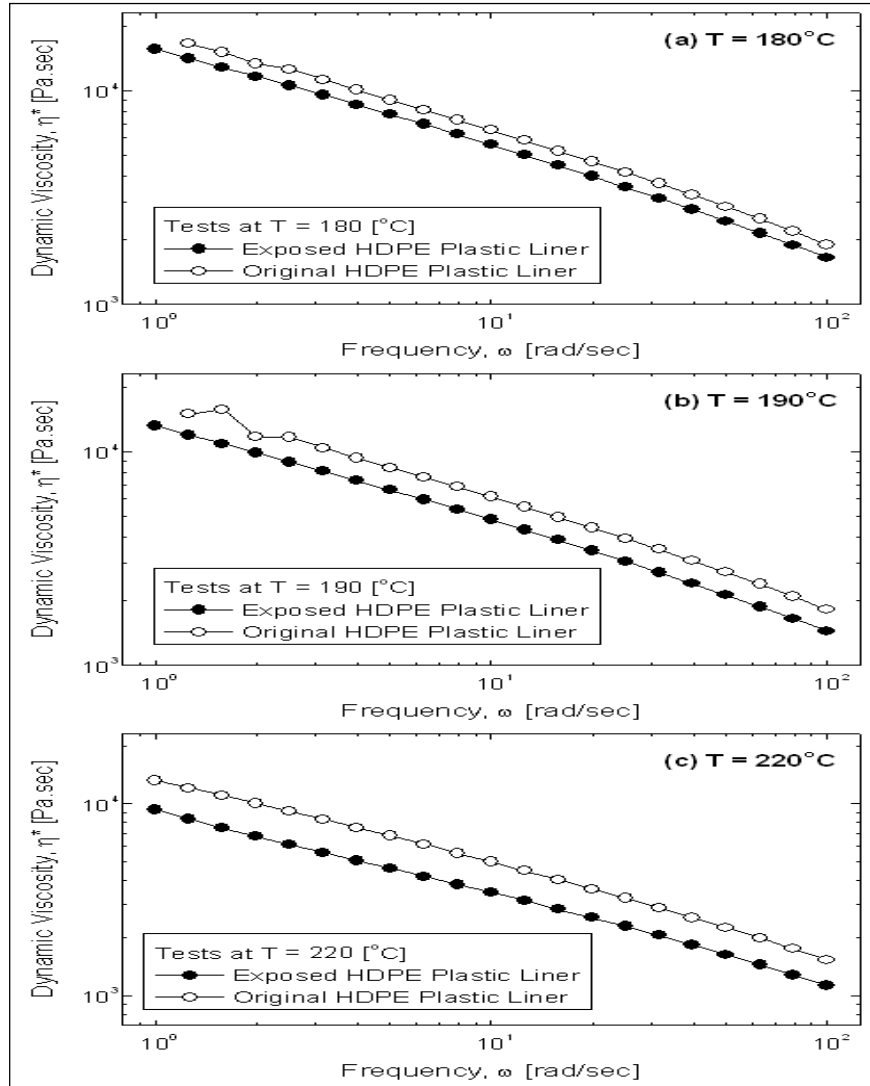
ذلك، تم العمل على أخذ عينات من السائل القمامي المركز وتحليلها كروماتوغرافياً لإمكانية معرفة أنواع الأحماض الدهنية المتطايرة ذات الأوزان الجزيئية المنخفضة والمرتفعة في السائل القمامي المركز. تم كذلك استخدام جهاز الريوميتر (RFS-8400) لتوصيف الخواص الإنسيابية للبطانة البلاستيكية ومقارنة النتائج قبل وبعد الاستخدام عند درجات حرارة مختلفة. بعد مضي الفترة الزمنية المحددة للتجربة، وُجد أن البطانة البلاستيكية لم يحدث لها تغير من حيث الشكل بينما حدث لها تغير في الخواص الإنسيابية (اللزوجة ومعامل المرونة) [13].



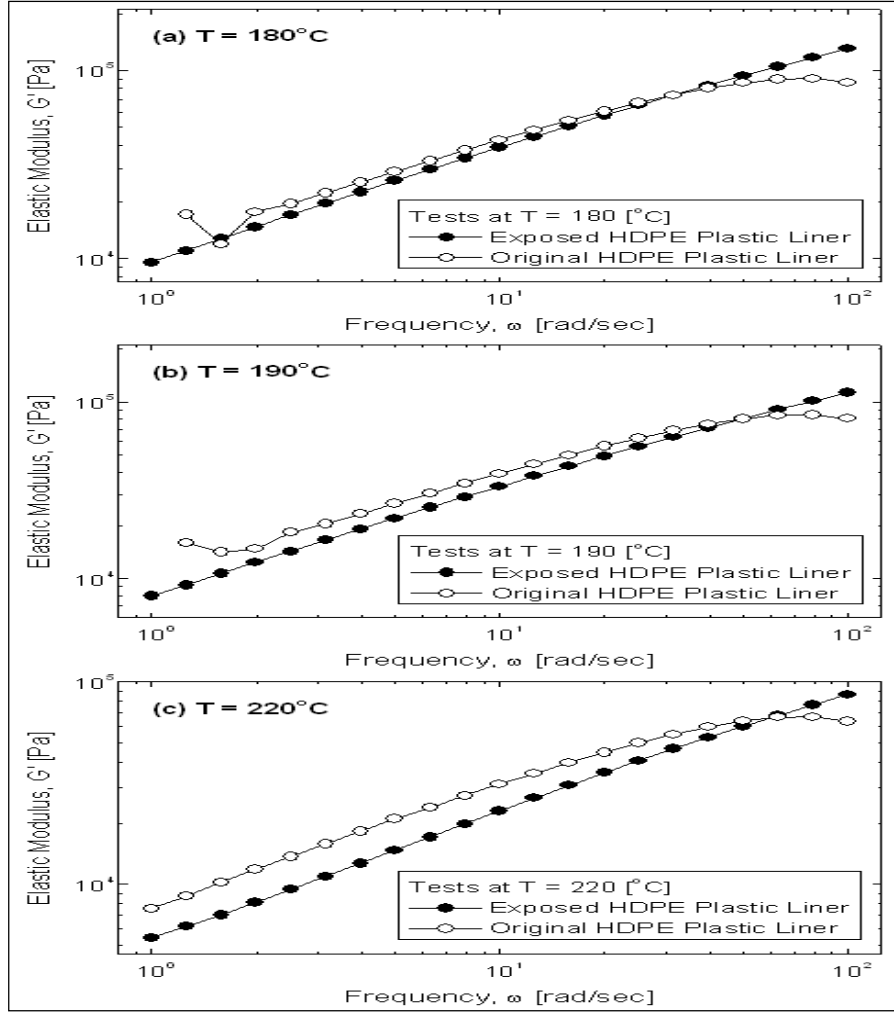
الشكل 2-15: نموذج المفاعل وموضع بطانة البلاستيك عديد الإثيلين العالي [13].

الأشكال (2a, 2b, 2c, 3a, 3b, 3c) توضح التغيرات في لزوجة ومرونة البطانة البلاستيكية قبل وبعد تعرضها للسائل القمامي. هذه النتائج الجديدة والمرغوب فيها تُعتبر مُشجعة وتُحقق الأهداف المرجوة من مادة عديد الإثيلين العالي الكثافة على المستويين الصناعي والبيئي. صناعياً، يُعتبر تعرض عديد الإثيلين العالي الكثافة (HDPE) للسائل القمامي المركز يُحسن من عملية إنسيابه أثناء التصنيع وذلك بإختزال معامل المقاومة للسريان أو اللزوجة الديناميكية (η^*) كما هو مبين في الشكل (2-16). تُساند هذه النتائج ما تم الحصول عليه في أبحاث عالمية من حيث تحسين سريان البوليمرات بإعادة بثقها وهذا ما يُطلق عليه في أدب الموضوع بتغيير الخواص ديناميكياً وليس كيميائياً [13]. هذا يؤدي إلى التوسيع في منحنى توزيع الوزن الجزيئي للبوليمر. أما بما يتعلق بالجانب البيئي، فإن النتائج تُعزز أيضاً استخدام عديد الإثيلين العالي الكثافة كمادة عازلة بين التربة والقمامة. هذا واضح في سلوك النتائج المتعلقة بمعامل المرونة (G') والموضحة في الشكل (2-17) حيث نرى أن عديد الإثيلين قد اكتسب صلادة وقوة عند تعرضه لمُعدلات قص عالية ودرجات حرارة مختلفة بينما نرى أن عديد الإثيلين العالي الكثافة الغير مُستعمل والذي تم استخدامه في المقارنة فشل في مقاومته لنفس مُعدلات

القص. كذلك، لوحظ من الفحص العيني للعينة البوليمرية المعرضة للسائل القمامي المركز عدم وجود أية ثقوب أو تهشم [13].



الشكل 2-16: تغير اللزوجة الديناميكية مع درجة الحرارة ومعدل القص لبطانة بلاستيك عديد الإثيلين العالي الكثافة قبل وبعد التعرض للسائل القمامي المركز [13].



الشكل 2-17: تغير معامل المرونة مع درجة الحرارة ومعدل القص لبطانة بلاستيك عديد الإثيلين العالي الكثافة قبل وبعد التعرض للسائل القمامي المركز [13].

الإستنتاجات أكدت هذه الدراسة بالتجربة أن مادة عديد الإثيلين العالي الكثافة يمتاز بخواص تؤهله للإستخدام الأمثل في الأوساط الصعبة مثل ماتعرض له في هذه التجربة حيث يُنصح بما لا يدع مجال للشك بإستخدامه كطبقة بوليميرية عازلة في المكبات العامة لحماية التربة الزراعية والمياه الجوفية من التلوث. كذلك، يُمكن تطبيق نتائج هذه الدراسة بكل سهولة في المكبات المحلية وذلك ببناء مكب نموذجي تُستخدم فيه عملية العزل المُشار إليها في هذه الدراسة. كما يوصي الباحثون بإجراء تجارب معملية لمُحاولة وجود إجابات عملية لمعرفة ماذا حدث للسلاسل الكيميائية المُكونة لمادة العزل البوليميري وما هي التغيرات التي حدثت لزيادة متانة البطانة البلاستيكية والتي إلى الآن لم يُعرف لها سبب [13].



الشكل 2-18: يوضح مشرف البحث وهو يتفقد بطانة البلاستيك بعد إنتهاء فترة الاختبار فى جامعة كوينزلان[28].

الفصل الثالث

التصميم الإنشائي لنموذج البئر الأسود Structural Design of Black-Well Model

3-1: جغرافيا منطقة الدراسة

تُعتبر المنطقة التي تُمثّلها الدراسة من أكثر المناطق في دولة ليبيا التي أُجريت عليها دراسات جيولوجية وتعدينية مُختلفة [16]. تبلغ مساحة هذه المنطقة حوالي (13,500 كم²) تقريباً ويحدها من الشمال البحر الأبيض المتوسط ومن الجنوب خط العرض $32^{\circ}00'$ وتقع بين خطي الطول $12^{\circ}00'$ و $30^{\circ}13'$ شرقاً كما هو في الشكل 3-1.



الشكل 3-1: موقع منطقة الدراسة وفقاً لخريطة ليبيا الجيولوجية (لوحة طرابلس) [16].

3-2: جيولوجيا منطقة الدراسة

3-2-1: جيومورفولوجية المنطقة

تتكون المنطقة من ثلاثة وحدات مورفولوجية تُعرف بسهل الجفارة وواجهة الهضبة (أو الجبل) وسطح الهضبة (أو الظهر) حيث أن كل منها له الخصائص التي تتميز بها والتي يمكن إيجازها في ما يلي:

أ. سهل الجفارة

سهل الجفارة يُمثل الوحدة التي تقع بها منطقة الدراسة والتي تمتد من منطقة الخمس شرقاً بمحاذاة جبل مسلاته ومياه البحر إلى الأراضي التونسية غرباً. يبلغ عرض السهل 150 كم تقريباً ويمكن تقسيمه إلى ثلاثة أجزاء هي: (1) الشريط الساحلي الذي يمتد من شاطئ البحر إلى مسافة تتراوح بين 10 و 20 كم إلى الجنوب وتُغطيه رواسب العصر الرابع التي يُمثلها كل من رواسب تكوين قرقارش ورواسب تكوين الجفارة بالإضافة إلى الكتبان الرملية الشاطئية و(2) الجزء الأوسط من السهل الذي يقع جنوب والذي تغطيه رواسب تكوين الجفارة والكتبان الرملية مع بروز بعض تلال تكوين العزيزية خاصة بالمناطق المحيطة بمدينة العزيزية ويتراوح عرضه بين 60 و 90 كم ويرتفع عن منسوب مستوى سطح البحر 100 متراً تقريباً و(3) هذا الجزء يتداخل إلى الجنوب من سهل الجفارة حيث يُمثل سفح جبل نفوسة وتُغطيه رواسب حصوية على درجات متفاوتة من التماسك وتتبع تكوين قصر الحاج وترتفع إلى 200 متر عن منسوب سطح البحر [16].

ب. واجهة الهضبة أو الجبل

يمتد الجبل في الإتجاهين الشرقي والغربي بين الخمس والحدود التونسية ويعرف بجبل نفوسة وهو من أبرز المعالم المورفولوجية التي تقع في شمال ليبيا. الجزء الواقع بين يفرن وحتى منطقة ترهونة يُعرف بجبل غريان الذي يليه إلى الشرق جبل مسلاته. يتألف جبل نفوسة من الصخور الجيرية والجبس والرملية والطينية التي تتبع العصر الميزوزي حيث يرتفع عن منسوب مستوى سطح البحر بمسافة تتراوح بين 400 إلى 700 متر [16].

ج. سطح الهضبة أو الظهر

تُغطي الهضبة صخور جيرية ودولوميتية تتبع العصر الطباشيري الأعلى كما توجد بالجزء الجنوبي الشرقي صخور من البازلت تكون سهول بركانية متسعة ويتميز سطح الهضبة بتباين ملحوظ في إرتفاعه الذي يتراوح بين 500 إلى 800 متر عن مستوى منسوب سطح البحر. تقع في الهضبة أودية

متسعة وعميقة تصب حمولتها في سهل الجفارة وبها رواسب من الطمي تتبع العصر الرابع وذلك بالمناطق المنخفضة نسبياً من سطح الهضبة حيث يقوم سكان المدن والقرى الواقعة فوق سطح الهضبة بزراعتها [16].

3-2-2: التتابع الطبقي (الاستراتيجرافي)

تُغطى المنطقة رواسب تتراوح أعمارها بين العصر الميزوزوي والعصر الرابع بالإضافة إلى تواجد صخور بركانية على شكل إنسيابيات وتداخلات من البازلت والفونوليت [16] ويمكن تمثيل تتابع الصخور الرسوبية بالوحدات الصخرية كما هو في الجداول 1-3 و 2-3.

الجدول 1-3: الوحدات الصخرية للعصر الرابع التي تقع فيها منطقة الدراسة [16].

التتابع الطبقي (الاستراتيجرافي) للعصر الجيولوجي الرابع	
رواسب الوديان الحديثة	العصر الرابع
كتبان وغطاءات رملية	
الرواسب المائية – الرياحية	
ترسيبات السبخة	
تكوين قرقارش	
تكوين الجفارة	
تكوين قصر الحاج	

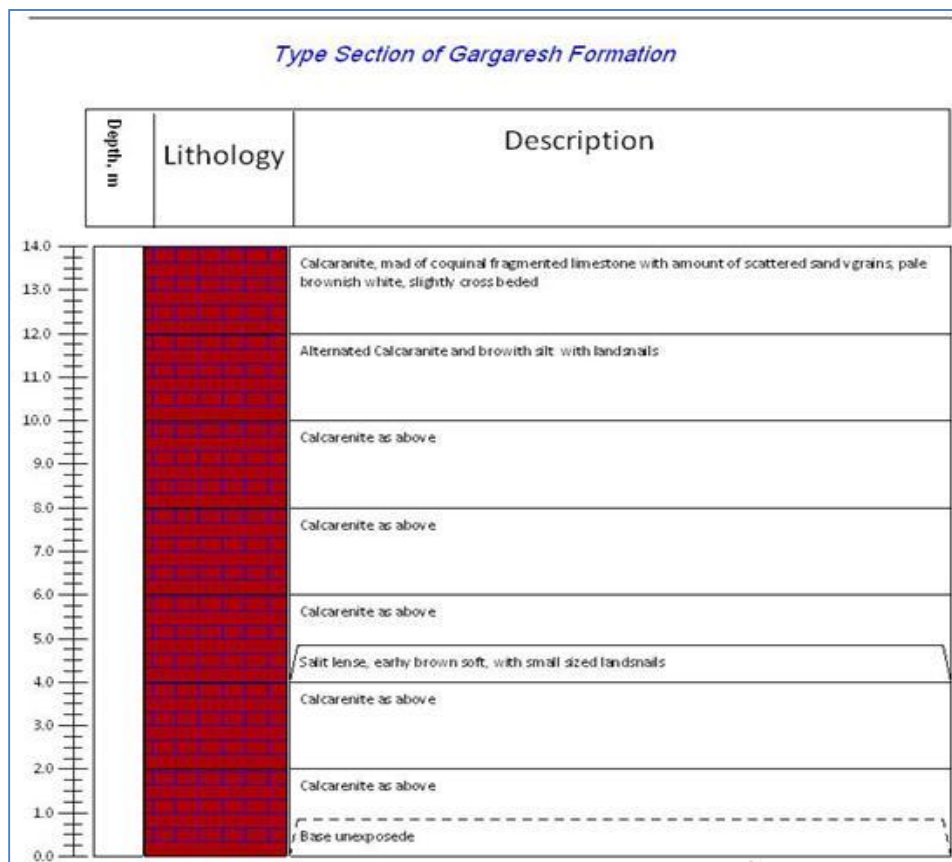
الجدول 2-3: الوحدات الصخرية للعصر الثالث التي تقع فيها منطقة الدراسة [16].

التتابع الطبقي (الاستراتيجرافي) للعصر الجيولوجي الثالث	
رواسب البليوسين	العصر الثالث
صخور الميوسين	
صخور الأليجون	
رواسب البليوسين	الطباشيري العلوى
صخور الميوسين	
صخور الأليجوسين	
تكوين العسة	
تكوين الخمس	
تحت السطح	

3-2-3: أهم التكوينات الجيولوجية

أ. تكوين قرقارش (Gargaresh Formation)

يتكون من السفوح الشاطئية التي تمثلها صخور الكالكارينيت ويشغل نطاق واسع يُستخدم في إستخراج أحجار البناء كالكارينيت مع عدسات من الغرين أحياناً [16]. الشكل 3-2 يصف العمود الطبقي لتكوين قرقارش الذي في أعلاه طبقة الصخور الجيرية القابلة للتكسير. يلي ذلك طبقة صخور الكالكارينيت الممزوجة بالغرين. أما الطبقات السفلى فهي من صخور الكالكارينيت لتشمل القاعدة الصخرية.

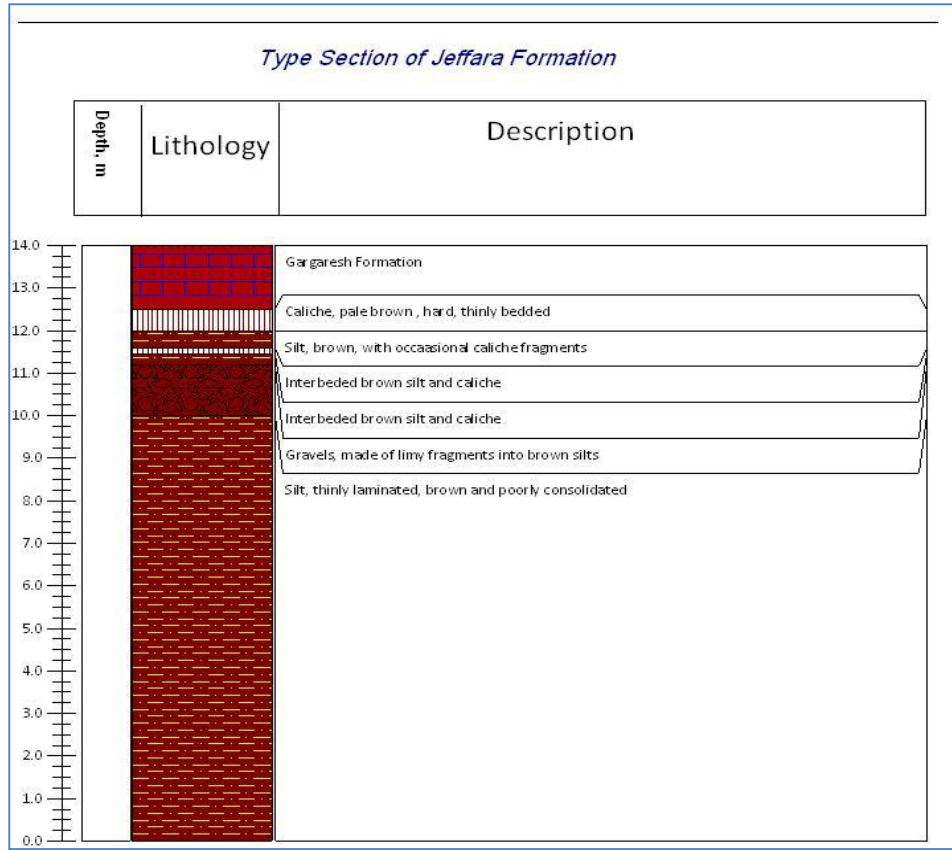


الشكل 3-2: العمود الطبقي لتكوين قرقارش [16].

ب. تكوين الجفارة (Jeffara Formation)

هذا التكوين يُغطى سهل الجفارة ويتكون من رواسب رملية وغرين مع مستويات مُختلفة من صخور الكاليش والغرين والرمل والكنجولمرات مع قشور من الجبس والقشرة الجيرية [16]. الشكل 3-3 يوضح التكوين الصخري في سهل الجفارة حيث يقع في الطبقة العلوية تكوين قرقارش ثم تليها طبقة

الكاليش التي تحتها الغرين. بعد ذلك توجد طبقات مُتداخلة تتكون من الكاليش والغرين إلى أن يصل التكوين إلى طبقات من الحصى التي تميل إلى الشكل الجيري مع بعض من الغرين وشظايا من الحجر الجيري.



الشكل 3-3 : العمود الطبقي لتكوين جفارة [16].

3-3: مصادر المياه الجوفية

هناك دراسات وأبحاث متعددة لمعرفة مصادر المياه الجوفية بمنطقة طرابلس التي معظمها تطرق إلى سهل الجفارة الذي يضخ الماء من خزانات موجودة في صخور العصر الرابع والميوسين حيث يوجد الماء في طبقات من الرمال والحجر الجيري المتماسك. بالنسبة للمناطق التي تقع جنوب السهل، فالماء يُضخ من تكوينات كرش والعزيرية وأبوشيبة حيث يصل عمق الآبار فيها إلى مسافة تتراوح بين 70 متر بمنطقة بئر الغنم و 325 متر في العزيرية. في المناطق الغربية يُضخ الماء من تكوين ككلة حيث يصل عمق الآبار في بعض المناطق إلى 200 متر. هنا تجدر الإشارة إلى أن هناك بعض الينابيع مثل ينبوع قصر الحاج الذي مصدر مياهه من تكوين قصر الحاج. كما أن هناك ينبوع عين طوبي الذي

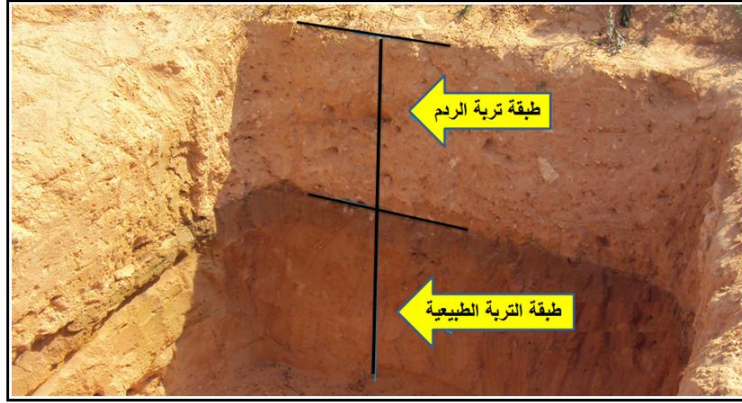
يوجد بمنطقة غريان حيث تأتي مياهه من الحد الفاصل بين فرعي عين طوبي ومارل يفرن. هذا بالإضافة إلى عين بن غشير المعدنية في منطقة قصر بن غشير [16].

3-4: دواعي إختيار موقع الدراسة

تم إختيار منطقة السوانى التي تقع بحوالى 20 كم جنوب مدينة طرابلس كموقع يُمثل المتغيرات القائمة حالياً في الوضع المائي في المدن الليبية من حيث تأثير إنتشار الآبار السوداء في الأراضي السكنية والعمامة والزراعية على التربة والمياه الجوفية. كذلك، فإن منطقة السوانى يبلغ عدد سكانها سبعة وخمسون ألف (57,000) نسمة وتُعتبر حلقة الوصل بين مدينة طرابلس والزهاء وجنزور والعزيرية وقصر بن غشير ومطار طرابلس العالمي [17]. هذه المنطقة كانت فى الأصل منطقة زراعية إلى أن عمت فيها المباني والمقار التجارية وأصبحت ذات طابع سكني تجاري حيث يقع فيها سوق الكريمة الذي هو أحد أكبر أسواق المواد الغذائية في ليبيا ويسمى "شارع السامبا". كذلك، يوجد فيها أحد أكبر أسواق الخضار والملابس وغيرها والعديد من المصارف والمصانع مثل مجمع الكريمة للصناعات البلاستيكية ومصنع أثاث السوانى ومصنع آجر السوانى ومصنع الأعمدة الخرسانية. كل ذلك جعل من منطقة السوانى من أكثر المناطق تلوثاً مقارنة بالمناطق المحيطة بالعاصمة طرابلس. هنا تجدر الإشارة إلى أن هذه المنطقة لا توجد فيها بنية تحتية تواجه بها تزايد النمو السكاني والإقتصادي وأن الأهالي القاطنين فيها يعتمدوا بالدرجة الأولى على الآبار السوداء في التخلص من مياه الصرف الصحي التي أصبحت مصدر تهديد حقيقي للصحة العامة.

3-5: الفحص العيني لتربة الموقع

التربة في موقع الدراسة تقع تحت تصنيف التربة الرملية مع الغرين في وجود بعض الحصى وكثافتها من مُخفضة إلى عالية ولونها من بُني إلى بُني فاتح وعديمة المرونة (Non-Plastic). الشكل 3-4 يُصور شكل تربة الردم (Back Filling) كطبقة سطحية في موقع نموذج البئر الأسود حيث يتضح أيضاً شكل التربة الطبيعية. وفقاً لنتائج الإختبارات المعملية، فإن تربة الردم والطبيعية تتشابه تقريباً في الخواص الفيزيائية والميكانيكية.



الشكل 3-4: تنوع طبقات التربة في موقع دراسة نموذج البئر الأسود (منطقة السواني).

3-6: خواص تربة الموقع

تنقسم الخصائص الأساسية للتربة إلى عدد من الخواص وتندرج في الأهمية أو الأولوية حسب حاجة التطبيق لها ويمكن سردها كالتالي:

1. الخواص الفيزيائية (**Physical Properties**) وأهمها محتوى الرطوبة الطبيعي وحدود السيولة واللدونة وكذلك الوزن النوعي والكثافة ونسبة الفراغات الهوائية ودرجة التشبع بالماء.
2. الخواص الميكانيكية (**Mechanical Properties**) وأهمها المقاومة لإجهاد القص وقوة التماسك بين حبيبات التربة وزاوية الاحتكاك الداخلي والمقاومة للانضغاط والدمك والتضاغط المحوري.
3. الخواص الكيميائية (**Chemical Properties**) مثل محتوى الكبريتات والكلوريدات والشوائب العضوية والأملاح الذائبة والأوساط الحامضية والقاعدية للأس الهيدروجيني (**pH Value**).

3-6-1: تجميع عينات التربة

العينات الإختبارية التي تمثل منطقة الدراسة تم أخذها بطريقة بسيطة أستخدمت فيها مغرفة كبيرة كأداة تجميع تقليدية لعينات ترابية مُخلخلة (**Disturbed Soil Samples**) وذلك من أجل الفحص المبدئي لطبيعة وتكوين تربة الموقع كتوصيف عيني (**Visual Characterization**) لها. كذلك، فإن هذا النوع من العينات يمكن أن يُستخدم في إجراء فحوصات معملية ولا يُشترط أن يكون تصنيف العينات تحت شرط العينات الترابية الغير مُخلخلة ديناميكياً [19]. لذلك، تم التجهيز لإجراء إختبارات معملية للتعرف على الخصائص الفيزيائية والكيميائية لعينات التربة التي لا تتأثر بطريقة التجميع والتي منها:

1. التدرج أو التوزيع الحبيبي (**Gradation or Particle Size Distribution – PSD**).
2. الوزن النوعي (**Specific Gravity**).

3. محتويات الكبريتات والكوريدات (Sulfate and Chloride Contents) والأس الهيدروجيني.

3-6-2: الإختبارات المعملية للتربة (Soil Laboratory Tests)

الإختبارات المعملية للتربة تسمح لمُصمم الإنشاء التعرف على قوام التربة وصنفها والخواص الهندسية والفيزيائية والميكانيكية وتحديد التوزيع الحجمي لحبيبات التربة من حيث التدرج والشكل (حصى ورمل وغرين وطين) وتوصيف مقاومة التربة لإجهادات القص والتشوه. إلى جانب ذلك، فإن دراسات التربة تحتل مرتبة خاصة لدى الخبراء المهتمين بهذا المجال وذلك بالنظر إلى أن التربة هي المادة التي تنتقل إليها أحمال المنشأ وهو ما يستدعي دراسة صلاحيتها لمثل هذه المهام حتى يتسنى تجنب العواقب الغير محمودة الناجمة عن إنهيار الطبقات الترابية.

3-6-3: الخصائص الفيزيائية للتربة

التكوين الأساسي للتربة يضم ثلاثة أصناف مادية تشمل الحبيبات الصلبة (Solid Particles) والماء والفراغات الهوائية (Air Voids). هذا النوع استحق تسميتها بعد العالم الروسي نيكولاي غيرسيفانوف (N. Gersevanov) بالتربة ثلاثية الطور (Three-Phase Soil). أما التربة التي تتكون من مكونين ماديين أساسيين يُطلق عليها التربة ثنائية الطور (Two-Phase Soil). مراحل توصيف تربة منطقة الدراسة بالطرق المعملية القياسية موزعة في ما يلي على ثلاثة محاور رئيسية.

المحور الأول: إختبارات التدرج الحبيبي

التدرج الحبيبي للتربة هو المدخل الأول والأساسي لتصنيف التربة للأغراض الإنشائية حيث تتجزء التربة إلى أشكال مختلفة طبقاً لمقاسات محتواها الحبيبي. التعبير العملي عن تصنيف التربة يتم عادةً بالنسب المئوية للجسيمات الحصوية والرملية (Gravelly and Sandy Particles) المارة عبر سلسلة من الغربايل القياسية (Standard Sieves) التي تختلف في مقاسات فتحاتها. الشكل 3-5 يصف بالصور أحجام فتحات الغربايل المستخدمة في تصنيف التربة وذلك بوضع بعضها فوق البعض بشرط أن يكون الغربال ذو أكبر فتحات في الموضع الأعلى لعمود الغربلة. تُوضع بعد ذلك العينة الترابية لتبدأ عملية الغربلة بواسطة هزاز ميكانيكي (Mechanical Shaker) في زمن يصل إلى 12 دقيقة كزمن قياسي كافٍ لفرز المكونات الحبيبية المختلفة في العينة. بعد ذلك، يتم وزن الأجزاء المتبقية في الغربايل وحساب نسبة المتبقي (Percentage Retained) ونسبة المار (Percentage Passing) في كل غربال بمعرفة الوزن الأصلي للعينة الترابية.

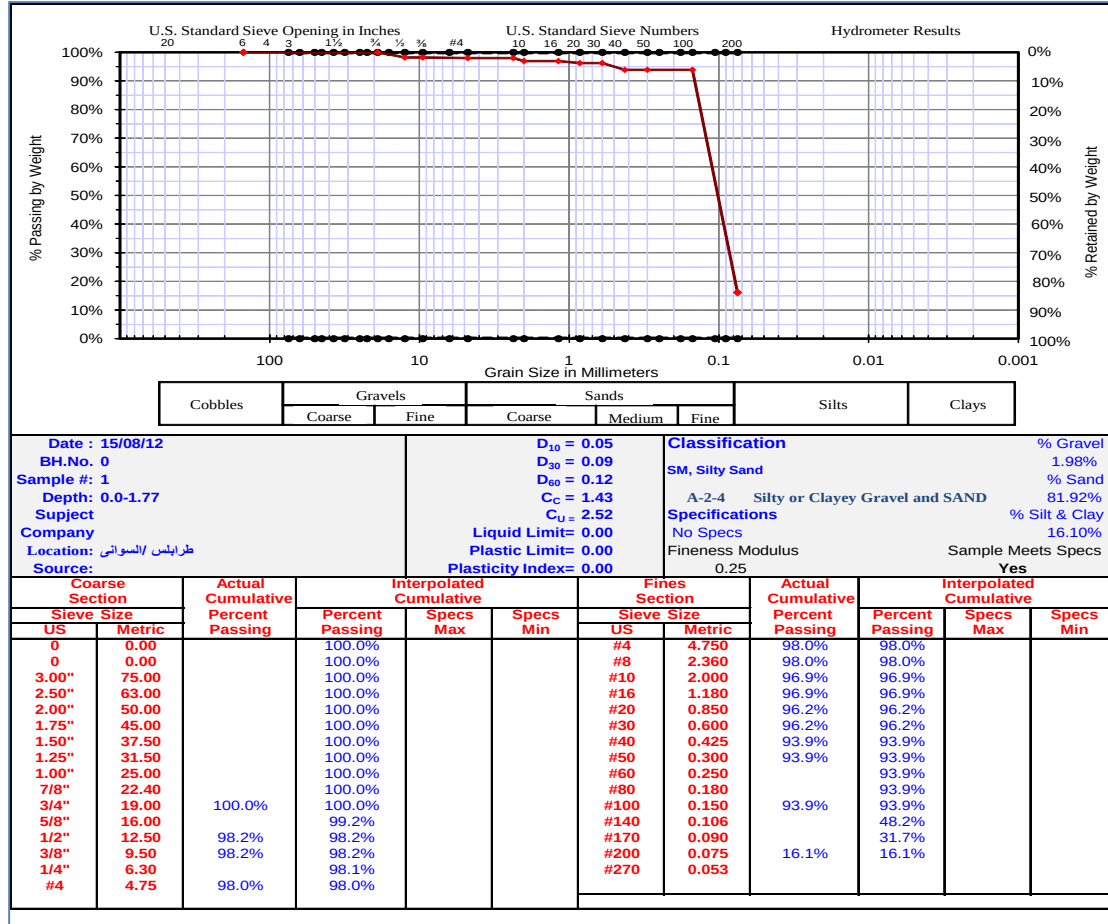
الشكل 3-6 يعطي نتائج عملية الغربلة القياسية لترربة قاعدة نموذج البئر الأسود في منطقة السواني التي يُمثلها منحنى التوزيع الحجمي للجسيمات (Particles Size Distribution Curve) وهو ما يُعرف أيضاً بمنحنى التدرج الحبيبي (Particles Gradation Curve). البيانات المدرجة مع المنحنى تعني تصنيف لترربة القاعدة الأرضية للإنشاء بناءً على التالي:

1. قيمة معامل التناسق (C_u - Uniformity Coefficient) في المنحنى تمثل تربة منتظمة التكوين حيث تم حسابها على أساس حجم المرور D_{10} أو $D_{10}\%$ الذي يؤخذ كأولوية عند توصيف نفاذية التربة وخواصها الميكانيكية نظراً لعلاقته بمتوسط الحجم المسامي (Average Pore Size) للتربة. المدى الذي يقع فيه هذا المعامل يُشير إلى أن التكوين الحبيبي لعينة التربة المُختبرة يتميز أيضاً بأقل حساسية للاهتزازات والخلخلة الميكانيكية والذي تم حسابه من:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.12}{0.05} = 2.4 \Rightarrow 2 < C_u < 5$$

حجم الحبيبات Particles Size	التصنيف Classification
$2.0 \text{ mm} < \text{Gravel}$	ركام Gravel
$0.074 \text{ mm} < \text{Sand} < 2.0 \text{ mm}$	رمل Sand
$0.002 \text{ mm} < \text{Silt} < 0.074 \text{ mm}$	طمي Silt
$\text{Clay} < 0.002 \text{ mm}$	طين Clay

الشكل 3-5: تصنيف التربة وفقاً للأحجام المختلفة للحبيبات المارة من خلال الغرايل القياسية.



الشكل 3-6: نتائج التدرج الحبيبي لعينة تربة قاعدة نموذج البئر الأسود قبل التثبيت بغلاف البلاستيك.

2. قيمة معامل التقوس (C_c - Coefficient of Curvature) في الشكل 3-6 استخدمت في تقييم إنسيابية منحنى التدرج الحبيبي لعينة التربة المختبرة وذلك من:

$$2.3 \dots \dots \dots C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}} = \frac{(0.09)^2}{(0.05)(0.12)} = 1.35 \Rightarrow 1 < C_c < 3$$

حيث يُشير مدى معامل التقوس إلى أن تربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود يضم مكونات ترابية جيدة التدرج (Well-Graded Soils) بتوزيع يشمل الأحجام الحبيبية الصغيرة والمتوسطة والكبرى.

عليه، تم تصنيف تربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود طبقاً لأهم الأنظمة والأكثر شيوعاً في العالم الذي يُعرف بإثنين منها الجدول 3-3 والالذان أستخدمتا في هذه الدراسة للتأكد من حدود تناسق المكونات الترابية ومن صلاحية التربة للإنشاء المقام عليها.

الجدول 3-3: التعريف بنظامي تصنيف تربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود.

	Classification System	Abbreviation
1	American Association of State Highway and Transportation Officials	AASHTO
2	Unified Soil Classification System	USCS

نظام **AASHTO** مؤسس على الأداء الذي يهتم بملائمة نوع معين من التربة للاستخدام كمادة إنشائية للقاعدة الأرضية. هذا النظام يتميز بمرجعية سبعة مجموعات تصنيفية تبدأ من مجموعة **A-1** التي تمثل أفضل نوع في أنواع التربة وتنتهي بالمجموعة **A-7** التي تمثل نوع التربة الغير مرغوب فيه إنشائياً. نتائج التدرج الحبيبي لعينة التربة المدروسة أستخدمت في تطبيق هذا النظام حيث تبين أن تصنيف تربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود هو **A-2-4** الذي يشترط مرور 35% نسبةً لوزن العينة من خلال الغربال رقم **#200** أو **75 µm** كحجم حبيبي. هذا يعني أن التكوين الترابي للعينة يقع في المجموعة التي تتميز بالخلطات الترابية المتنوعة في الخشونة مع وجود كمية كبيرة من الجسيمات الناعمة كالطين والطيني. الجدول 3-4 يُقارن تصنيف التربة في المجموعة **A-2** بإشتراطات نظام التصنيف **USCS**.

الجدول 3-4: العلاقة بين نظامي تصنيف التربة **AASHTO** و **USCS** للمجموعة **A-2**.

AASHTO	USCS		AASHTO	USCS
A-2-4	GM & SM		A-2-6	GC and SC
A-2-5	GM & SM		A-2-7	SM, SC, GM, and GC
G = Gravel, S = Sand, M = Silt, and C = Clay				

التقييم العام لتربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود يصفه الجدول 3-5 حيث يبدو واضحاً توافق العلاقة القائمة بين نظامي التصنيف.

الجدول 3-5: التقييم العام للتكوين الترابي للقاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود.

نظام التصنيف	المجموعة المُصنفة	التكوين الترابي
AASHTO	A-2-4	رمل طميي أو طيني مع قليل من الحصى
USCS	SM	رمل ناعم طميي مع قليل من الحصى
التقييم العام للتكوين	جيد جداً	

المحور الثاني: الوزن النوعي للتربة

تحديد الوزن النوعي للتربة بالطرق المعملية القياسية يُساعد على التعرف على العلاقة المادية بين التربة كطور صلب والطورين الآخرين السائل كالماء والغازي كالهواء. أي بمعنى أن الفائدة العملية لمعرفة الوزن النوعي لحبيبات التربة تكمن في توظيف قيمة الوزن النوعي (G_s) في حساب نسبة الفراغات الهوائية بين مكونات التربة (**Voids Ratio**) والمسامية (**Porosity**) ودرجة التشبع (**Saturation Degree**). الشكل 3-7 يصف التجهيزات المعملية التي تم إستخدامها في إختبارات تحديد الوزن النوعي لعينتين من تربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود.



الشكل 3-7: المُعدات اللازمة لإختبارات الوزن النوعي لعينات التربة بإستخدام البيكنوميتر.

أهم الخطوات التي تم إتباعها لإنجاز هذا الإختبار بطريقة صحيحة كانت في: (1) أخذ وزن 10 جرامات لكل عينة من التربة الجافة المارة من خلال الغربال القياسي رقم #10 أو 2 mm في التوزيع الحجمي للحبيبات و(2) تنقيع عينة التربة لزمن 10 دقائق في ماء مُقطر مُضاف لنصف البيكنوميتر ولا يتجاوز ثلاثة أرباع البيكنوميتر و(3) تفريغ الهواء من مُحتوى البيكنوميتر لزمن 10 دقائق. الجدول 3-6 يعطي القيمة المعملية لمُتوسط الوزن النوعي (G_s) لعينات التربة المُختبرة التي تتفق مع القيم القياسية المرجعية في مجال الإنشاءات.

الجدول 3-6: نتائج إختبارات الوزن النوعي لعينتين من تربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود.

رقم العينة	1	2
رقم الدورق (Pycnometer)	15	16
وزن عينة التربة المُختبرة بعد التجفيف (m_s) بالجرام (grams)	9.55	10.78
وزن الدورق مملوءاً بالماء (m_{pw}) بالجرام (grams)	77.3157	77.3157
وزن الدورق + الماء + التربة (m_{pws}) بالجرام (grams)	83.24	84.00
$G_s = \frac{\rho_{soil}}{\rho_{water}} = \frac{m_s}{m_s + (m_{pw} - m_{pws})}$	2.634	2.632
متوسط القيم الإختبارية للوزن النوعي (G_s)	2.633	

هنا تجدر الإشارة إلى أن قيمة الوزن النوعي للتربة المتماسكة (الغير عضوية) تقع في المدى الذي يبدأ من 2.68 إلى 2.72 وتبلغ حوالي 2.67 في حالة التربة الرملية الغير المتماسكة.

المحور الثالث: نفاذية التربة

الهدف من هذا المحور هو توصيف نفاذية التربة (Soil Permeability) بالطرق المعملية التي تُعرف أيضاً بإختبارات الموصلية الهيدروليكية (Hydraulic Conductivity) التي تنقسم إلى:

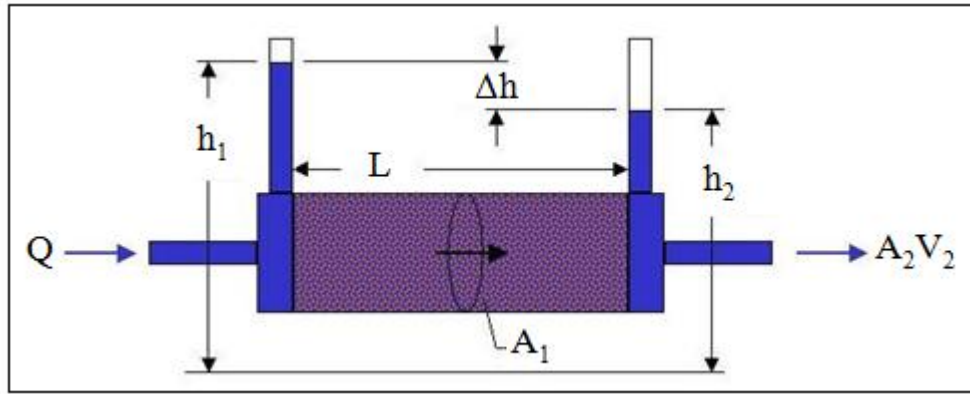
1. إختبار فرق الضغط الثابت (Constant Head Test) الخاص بالترب النافذة مثل الرمل الذي له معامل نفاذية (k - Coefficient of Permeability) يقع في المدى $k > 10^{-6} \text{ m/s}$.
2. إختبار فرق الضغط المتغير (Falling Head Test) المصمم للترب الشبه نافذة التي تتميز بأقل نفاذية مثل الغرين والطين والتي معامل نفاذيتها يقع في المدى $k < 10^{-6} \text{ m/s}$.

بالنسبة لهذه الدراسة، تم إختيار طريقة إختبار فرق الضغط المتغير لتحديد نفاذية تربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود وذلك إستناداً على: (1) تدرج تُرابي جيد (Well-Graded Soil) يتميز بتوزيع حجمي تنتشر فيه الحبيبات الصغيرة والمتوسطة والكبرى و (2) تصنيف مادي قياسي يقع في مستوى الجيد جداً (أنظر إلى الجدول 3-5) لتكوين ترابي يغلب على محتواه الرمل الناعم الطميي مع جزء صغير من الحصى. الشكل 3-8 يُصور الإعداد العملي لقياس نفاذية التربة بطريقة إختبار فرق الضغط المتغير.



الشكل 3-8: صورة للتجهيز المعملّي لقياس نفاذية التربة بطريقة إختبار فرق الضغط المتغير.

المُحددات المُقاسة (Measured Parameters) اللازمة لحساب نفاذية التربة بطريقة إختبار فرق الضغط المتغير يصفها الشكل 3-9 الذي يربط بين طاقة النفاذ المُمثلة بالتغير في الضغط وديناميكا نفاذ الماء التي تُمثلها مُعادلة الإستمرارية (Continuity Equation) لجريان مائع في نظام سريان إنسيابي بين مقطعين لمساحتين مُتغيرتين.



الشكل 3-9: وصف للمُحددات المُقاسة في عملية نفاذ الماء الخاصة بنظام فرق الضغط المتغير.

حيث أن:

Q : مُعدل التدفق الحجمي للماء في تجربة قياس النفاذية [cm^3/sec].

$\Delta h = h_2 - h_1$: فرق التغير في إرتفاع عمود ضغط الماء [cm].

L : طول العينة الترابية المُختبرة [cm].

A₁: مساحة المقطع الإسطوانى للعينة الترابية المُختبرة [cm²].

A₂: مساحة المقطع الإسطوانى لأنبوب خروج الماء النافذ من خلال العينة الترابية المُختبرة [cm²].

V₂: سرعة جريان الماء النافذ من أنبوب الخروج [cm/sec].

الجدول 3-7 يعطي قيم المُحددات المُقاسة التي أُستخدمت في تحديد مُعامل نفاذية تربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود بطريقة إختبار فرق الضغط المتغير.

الجدول 3-7: بيانات وقيم المُحددات المُقاسة في إختبار تحديد مُعامل نفاذية تربة موقع الدراسة.

بيانات المُحددات	قيم المُحددات
درجة حرارة مُحيط الإختبار (معمل ميكانيكا التربة)	T = 30°C
مساحة المقطع الإسطوانى للعينة الترابية المُختبرة	A₁ = 79.64 cm²
طول العينة الترابية المُختبرة	L = 12.7 cm
إرتفاع عمود ضغط الماء عند بداية الإختبار	h₁ = 90 cm
إرتفاع عمود ضغط الماء عند نهاية الإختبار	h₂ = 70 cm
مساحة المقطع الإسطوانى لأنبوب خروج الماء النافذ من خلال العينة الترابية المُختبرة	A₂ = 0.57 cm²
زمن تجميع حجم الماء النافذ	t = 150 seconds

سرعة جريان الماء النافذ من أنبوب الخروج (**V₂**) يُمكن حسابها بتطبيق مُعادلة الإستمرارية على عملية النفاذ وذلك كالتالي:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad \text{or} \quad Q = 6.743 \text{ [cm}^3/\text{sec]}$$

$$V_1 = 12.7/150 = 0.08467 \text{ [cm/sec]}$$

$$V_2 = A_1 V_1 / A_2 = (79.64)(0.08467) / 0.57 = 11.83 \text{ [cm/sec]}$$

عليه، فإن كل ما تقدم من نتائج يؤدي إلى قيمة إختبارية فقط لمُعامل نفاذية التربة وفقاً للمُعادلة التالية:

$$4.3 \dots \dots \dots k = \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \left(\frac{L}{t} \right) \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

$$k = \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \left(\frac{L}{t} \right) \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) = \left(\frac{0.08467}{11.83} \right) \left(\frac{12.7}{150} \right) \ln \left(\frac{90}{70} \right) = 1.52291 \times 10^{-4} \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

النتائج العملية التي أدت إلى القيمة الإختبارية لمعامل نفاذية التربة كانت عند درجة حرارة 30°C وهو ما تطلب تصحيحها لتؤخذ كقيمة قياسية ($R_T = 1 @ T = 20^{\circ}\text{C}$) كما هو في الجدول 3-8 بمُعامل تصحيح $R_T = 0.8$.

الجدول 3-8: قيم مُعامل تصحيح درجة حرارة الوسط الإختباري اللازمة لتقييس مُعامل نفاذية التربة.

مُعامل التصحيح R_T	درجة حرارة المعمل الإختباري $T [^{\circ}\text{C}]$
1.5	5
1.3	10
1.15	15
1	20
0.885	25
0.8	30

عليه، فإن القيمة القياسية لمعامل نفاذية تربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود الناتجة عن طريقة إختبار فرق الضغط المتغير هي:

$$k_{corrected\ to\ 20^{\circ}\text{C}} = R_T k = \frac{(0.8)(1.52291 \times 10^{-4})}{100} = 1.2183 \times 10^{-6} \frac{m}{sec}$$

المعنى العملي لهذه النتيجة هو أن الماء يتسرب في التربة بسرعة 1.22 ميكرون لكل ثانية. فعلى سبيل المثال، يُمكن للماء الأسود الشديد التلوث أن يتغلغل من خلال تربة جيدة التدرج الحبيبي في رحلة تلوّث يعبر فيها مسافة 38 متر لكل عام. هذه النتيجة تؤكد على الحاجة الملحة لإستخدام بطانة جيوبلاستيكية للتحكم في عملية تغلغل الملوّثات والحد من تأثيرها الضار على التربة والمياه الجوفية.

الجدول 3-9 يسلط الضوء على دور الخصائص النوعية للتربة في تحديد مدى قيم مُعامل النفاذية حيث يتضح أن المدى العام $10^{-4} \leq k [\text{m/s}] \leq 10^{-7}$ يشمل نوع التربة المُصنفة للقاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود المُصمم لهذه الدراسة. زد على ذلك، فإن هذا المدى يُمثل تربة تتميز بخصائص ديناميكية مرغوب فيها مثل التصريف الإنسيابي الذي يتم بعملية نفاذية قيمة مُعاملها تقع بين المُنخفضة والمتوسطة كما هو في الجدول 3-10.

الجدول 3-9: علاقة التغير في المدى العام لمعامل النفاذية بأنواع وخصائص التربة [20].

المدى العام لمعامل النفاذية (Range of Permeability Coefficient – k [m/s])			
$10^{-10} \leq k \leq 10^{-7}$	$10^{-7} \leq k \leq 10^{-4}$	$10^{-4} \leq k \leq 10^{-1}$	$10^{-1} \leq k \leq 1$
أطيان غير متشققة وطين مع طمي Unfissured clays and silts	تكوين ناعم جداً من رمال وغيرين وصفائح لطين وغيرين Very fine sands, silts, and clay-silt laminates	رمال نظيفة وخليط من الرمل والحصى Clean sands and sand- gravel mixtures	حصى نظيف Clean gravel
	أطيان متشققة Fissured clays		

الجدول 3-10: قيم معامل النفاذية لأهم أنواع التربة [25].

Permeability of main soil types													
	$k = 1$	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12} m/s
Drainage characteristics	Good						Poor		Practically impervious				
Permeability classification	High		Medium		Low		Very low		Practically impermeable				
Soil type	Gravels	Clean sands		Fissured & weathered clays				Intact clays					
				Very fine or silty sands									

نختتم هذا المحور بالطريقة العملية المستخدمة في التنبؤ بحالة الموصلية الهيدروليكية لتربة موقع الدراسة كوسيلة ميدانية تعطي معلومات تقريبية حول حركة المياه في التربة ومستوى عملية تغلغل الملوثات الذائبة فيها. الجدول 3-11 يصف هذه الطريقة من خلال العلاقة بين معامل نفاذية التربة (k) والحجم الحبيبي الفعال (Effective Particle Size – D_{10}) الذي يؤخذ على أساس أن النسبة الوزنية 10% من عينة التربة هي الأنعم وأن 90% كنسبة لباقي العينة هي الأخشن من الحجم D_{10} وذلك كالتالي:

$$5.3 \quad k = c_e D_{10}^2 \dots \dots \dots$$

حيث أن c_e نُسَمِيه هنا عامل فعالية الحجم (Size Effectiveness Factor) الذي يعتمد بدرجة كبيرة على التكوين الترابي في موقع الأرض المدروسة. فعلى الرغم من تباين المكونات الترابية في المناطق الجيولوجية المتعددة، نجد أن هذا العامل يقع في مدى ضيق ($0.01 < c_e < 0.15$) مما يعكس حساسية الحجم الفعال للتغير في سعة النفاذية المائية للتربة التي تشمل أيضاً الرذاذ. بالنسبة لموقع نموذج البئر الأسود، فإن الجدول 3-11 يدرج قيم مدى هذا العامل التي من بينها $c_e = 0.05$ والتي نتج عنها معامل نفاذية قيمته $k = 1.25 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$ كمؤشر يؤكد على صحة القيمة العملية لمعامل النفاذية بنسبة خطأ لا تزيد عن 2.54%.

الجدول 3-11: قيم معامل النفاذية الميداني الواقعة في مدى عامل فعالية الحجم الحبيبي.

$k = c_e (D_{10})^2$ $0.01 < c_e < 0.15$			
c_e	$D_{10} [\text{mm}]$	$k [\text{cm/sec}]$	$k [\text{m/sec}]$
0.015	0.05	3.75E-05	3.75E-07
0.02	0.05	5.00E-05	5.00E-07
0.025	0.05	6.25E-05	6.25E-07
0.03	0.05	7.50E-05	7.50E-07
0.035	0.05	8.75E-05	8.75E-07
0.04	0.05	1.00E-04	1.00E-06
0.045	0.05	1.13E-04	1.13E-06
0.05	0.05	1.25E-04	1.25E-06
0.055	0.05	1.38E-04	1.38E-06
0.06	0.05	1.50E-04	1.50E-06
0.065	0.05	1.63E-04	1.63E-06
0.07	0.05	1.75E-04	1.75E-06
0.075	0.05	1.88E-04	1.88E-06
0.08	0.05	2.00E-04	2.00E-06
0.085	0.05	2.13E-04	2.13E-06
0.09	0.05	2.25E-04	2.25E-06
0.095	0.05	2.38E-04	2.38E-06
0.1	0.05	2.50E-04	2.50E-06

3-6-4: الخصائص الميكانيكية للتربة

الخواص الميكانيكية للترب (Mechanical Properties of Soils) تُعتبر في مجملها مثال فريد من نوعه لسلوكيات الحالة المادية التي ترد بانفعال يتميز بشدة الحيود عن المسار الخطي مهما كان مستوى التأثير الواقع عليها. فالسلوك الغير خطي (Non-Linear Behavior) يعني إستحالة عودة

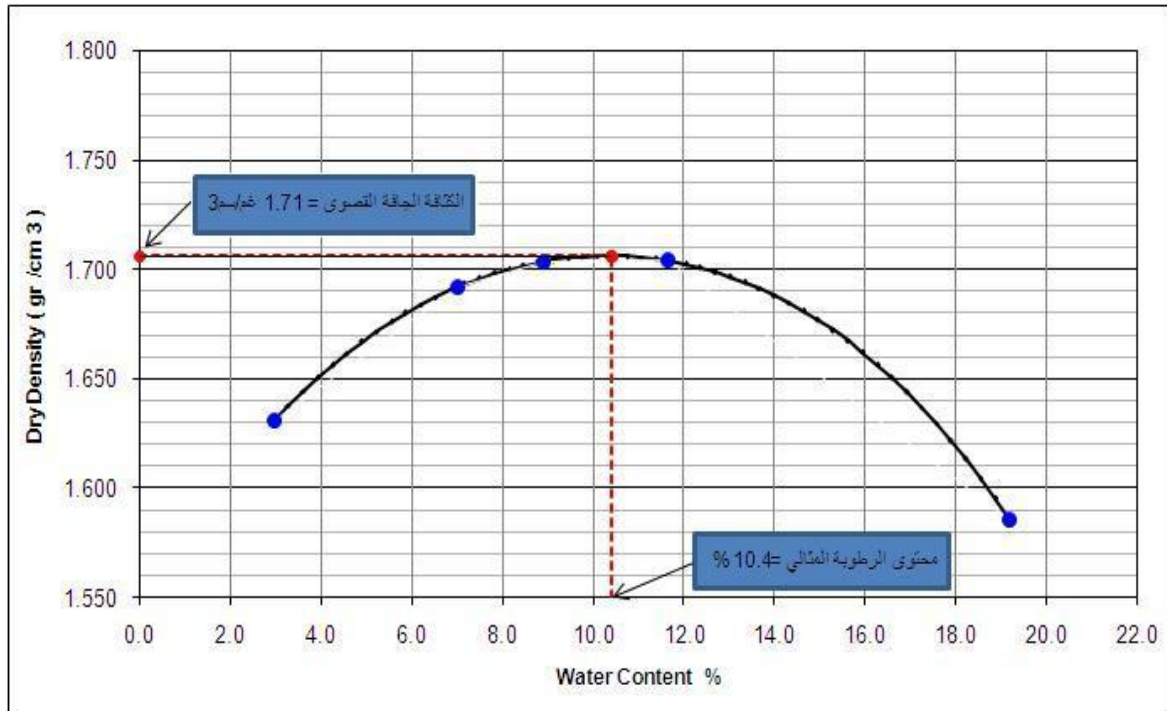
التربة إلى حالة التكوين الطبيعي وبقاؤها في الحالة اللاعكوسة (Irreversible State). هذه الحالة تُعيق التنبؤ بسلوك التربة لسببين هُما: (1) التاريخ الجيولوجي لتكوين التربة و(2) التجمعات المادية الغير مُتجانسة في التُرب. فعلى سبيل المثال، نجد أن النفاذية في الطين أقل بكثير من النفاذية في الرمل وأن التجمعات الحصوية لا تنتقل من خلالها إجهادات الشد (Tensile Stresses) التي يتطلب إنتقالها في التربة وسط شعري (Capillary Medium) مكون من جسيمات ترابية صغيرة جداً ومُشبع بالماء. زد على ذلك دور تباين الأشكال الهندسية لحبيبات التربة في التعامل مع المؤثرات الميكانيكية. أي بمعنى أن نتائج توصيف السلوك الميكانيكي للتُرب هي مُحددات حصرية لتطبيق يتطلب إنجازهُ مفاهيم مُعينة ومعلومات تتعلق بأبعاد التطبيق. بالنسبة للتصميم الإنشائي لنموذج البئر الأسود المُراد إنجازهُ، فإن هذا الجزء العملي من الأطروحة يتوزع في ما يلي على ثلاثة محاور رئيسية.

المحور الأول: إختبار دمك التربة

إختبار دمك التربة (Soil Compaction Test) يُستخدم في تحديد العلاقة بين الكثافة الجافة للتربة ومُحتوى الرطوبة فيها. فطريقة الوصول إلى الكثافة الجافة تعتمد على درجة الدمك المؤثرة وكمية الماء الموجودة في التربة حيث يهدف ذلك إلى إعادة ترتيب الجسيمات الصلبة المُكونة للتربة بعد التقليل من حجم الفراغات بين الحبيبات التي عادةً ما تكون مُمتلئة بالهواء. هذه العملية تتم بواسطة أدوات ميكانيكية مثل المطارق (Hammers) والدحرجات (Rollers). إختبار الدمك تم بعينة تراب القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود أو ما يُعرف بإختبار بروكتور القياسي (Standard Proctor Test). نتائج هذا الإختبار يعطيها الشكل 3-10 كعلاقة بين المُحددين ρ_d و W_{opt} حيث أن:

$\rho_d = \text{أقصى كثافة جافة (Maximum Dry Density - MDD)}$.

$W_{opt} = \text{أفضل مُحتوى رطوبي (Optimum Moisture Content - OMC)}$.



الشكل 3-10: نتائج العلاقة بين المحتوى الرطوبي والكثافة الجافة للتربة.

العلاقة بين المحتوى الرطوبي والكثافة الجافة للتربة الذي يمثلها الشكل 3-10 كانت طبقاً للمواصفة البريطانية **British Standard – BS 1377: Part 4: 1990** [23]. بالنسبة للكثافة الرطبة ρ_w ، تم حسابها من:

$$5.3 \dots \dots \dots \rho_w = \frac{m}{V}$$

حيث أن m هي كتلة التربة المجهزة للدمك و V هو حجم قالب الدمك. بعد ذلك، يمكن حساب الكثافة الجافة (ρ_d) من:

$$6.3 \dots \dots \dots \rho_d = \frac{100\rho_w}{100 + \rho_{opt}}$$

الجدول 3-12 يعطي النتائج النهائية المتحصل عليها من الشكل 3-10 وفقاً لإختبار بروكتور القياسي لعينة تراب القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود قبل وضع البطانة الجيوبلاستيكية.

الجدول 3-12: النتيجة النهائية لقيمة أقصى كثافة جافة عند أفضل محتوى رطوبي.

الخاصية	النتيجة النهائية
أقصى كثافة جافة (Maximum Dry Density – MDD)	$\rho_d = 1.706 \text{ g/cm}^3$
أفضل محتوى رطوبي (Optimum Moisture Content – OMC)	$W_{opt} = 10.4\%$

يتضح من نتائج إختبار الدمك في الشكل 3-10 أن الكثافة الجافة تزداد في بداية دمك التربة مع الزيادة في نسبة الرطوبة تحت جهد الدمك حتى تصل إلى أقصى حد لها عند رطوبة تؤخذ على أنها أفضل رطوبة للعينة. إستمرار الزيادة في الرطوبة يتسبب في إنخفاض قيمة الكثافة الجافة وتصبح حبيبات التربة المعرضة للدمك مغلقة بالماء وذلك للأسباب التالية:

1. تقليل الشد السطحي لطبقة الماء الغالقة للحبيبات مما يقلل من مقاومة الإحتكاك بين الحبيبات.
 2. زيادة عدد الجيوب الهوائية كلما دمكت الحبيبات الدقيقة في الفراغات بين الحبيبات الخشنة نتيجة ضعف مقاومة الإحتكاك بين الحبيبات.
 3. نقص الهواء المحبوس في الجيب الواحد (نقص الحجم).
- الجدول 3-13 يُراجع حدود القيم القصوى للكثافة الجافة وأفضل محتويات الرطوبة لعدد كبير من أنواع التُرب المُختبرة قياسياً [20].

الجدول 3-13: حدود القيم القصوى للكثافة الجافة وأفضل محتويات الرطوبة لأنواع التُرب [20].

Soil Description	MDD $\rho_d [\text{kg/m}^3]$	OMC $W_{opt} [\%]$
Well-Graded Gravel /Sand Mixtures	1850 – 2150	5 – 15
Silty or Clayey Gravel and Sand	1750 – 2150	9 – 18
Poorly-Graded Sands	1600 – 1900	5 – 12
Silty Sands and Gravels of Low Plasticity	1500 – 2000	10 – 20
Elastic Silts, Diatomaceous or Micaceous	1350 – 1600	20 – 35
Plastic Clay, Sandy Clay	1500 – 1900	10 – 30
Highly Plastic or Elastic Clay	1300 – 1850	15 – 35

المحور الثاني: إختبار نسبة تحمل كاليفورنيا

نتائج إختبار نسبة تحمل كاليفورنيا (California Bearing Ratio – CBR) تؤخذ عادةً كمؤشر إختباري (Index Test) لصلاحية تُرب الأساس (Base) والأساس المُساعد (Sub-Base) من

حيث المعلومات الأولية حول معامل الصلابة (Stiffness Modulus) أو مقاومة الإنشاء لإجهادات القص. تعريف هذا المؤشر يستند على النسبة بين الثقل الإختباري اللازم لإختراق طبقة ترابية عمقها y_n إلى الثقل القياسي المُحدد لإختراق نفس العمق الترابي (y_n) وذلك كالتالي:

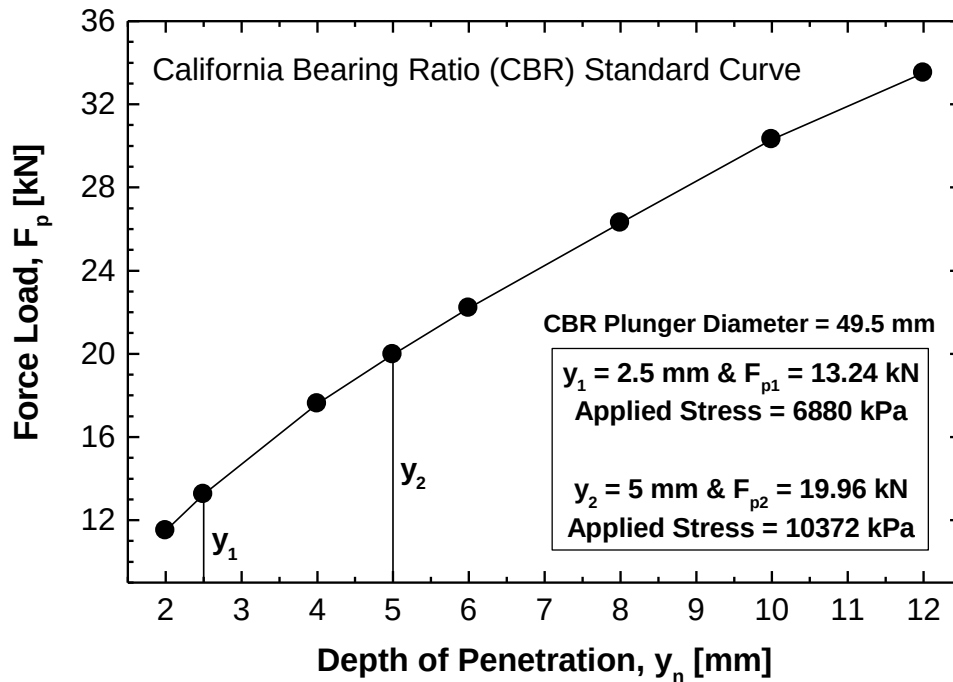
$$\text{CBR} [\%] = \frac{\text{الثقل الإختباري المُختَرَق للعمق الترابي } y_n}{\text{الثقل القياسي المُحدد لإختراق العمق الترابي } y_n} \times 100 \quad 7.3 \dots \dots \dots$$

الجدول 3-14 يعطي قيم الأتقال القياسية المُتعارف عليها في حساب نسب الـ CBR من نتائج إختبار الأتقال المُخرقة لعينات تربة عند العمقين $y_1 = 2.5 \text{ mm}$ و $y_2 = 5 \text{ mm}$ حيث تؤخذ أعلى نسبة كمؤشر إيجابي أو سلبي على صلابة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود.

الجدول 3-14: قيم الثقلين القياسيين في إختبار تحديد نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) للتربة.

عمق الإختراق القياسي لطبقة التربة y_n [mm]	ثقل الإختراق المُحدد بالعمق الترابي القياسي $F_{\text{penetration}}$ [kN]
2.5	13.24
5	19.96

الشكلين 3-11 و 3-12 يُعبران بوضوح عن الطرفين القياسي والمعملي اللذان تم توظيفهما في حساب نسبة تحمل كاليفورنيا.



الشكل 3-11: المنحنى القياسي لنسبة تحمل كاليفورنيا (CBR).



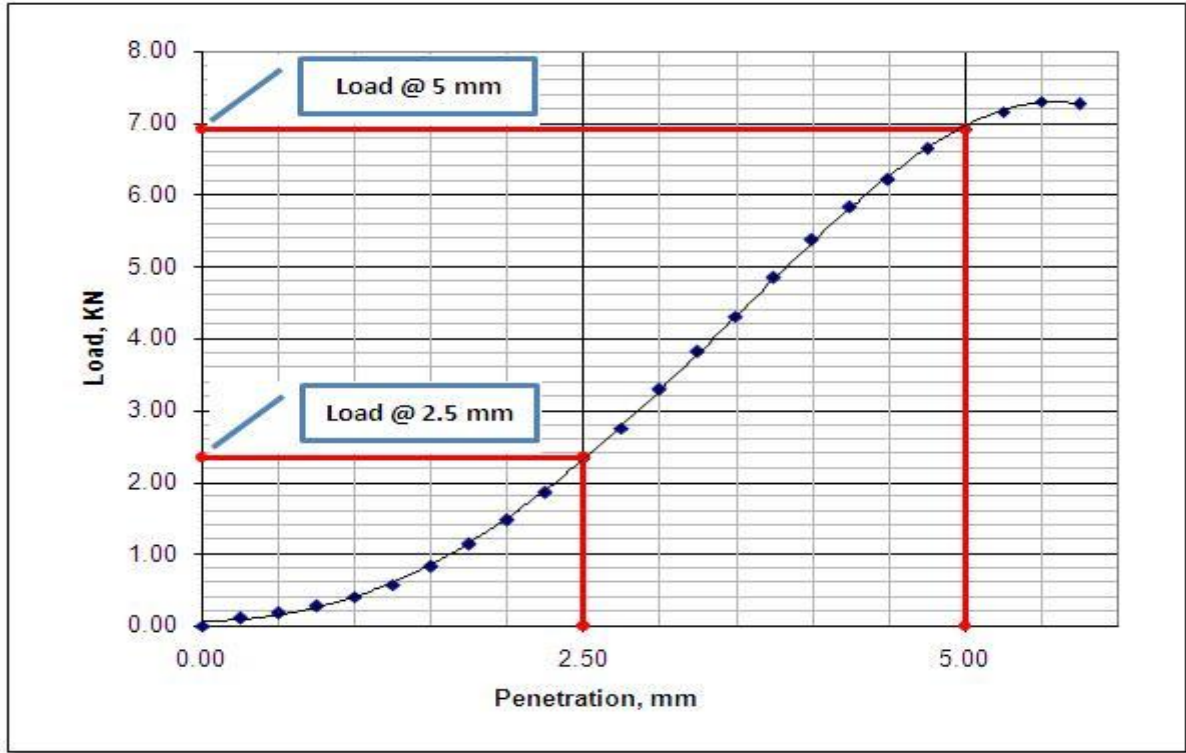
الشكل 3-12: صورة للتجهيزات المعملية المستخدمة في إختبار نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR).

إنجاز الجانب المعمل في نسبة تحمل كاليفورنيا تطلب ترتيبات إختبارية شملت معدات القياس والتجهيز القياسي للعينات المُختبرة وذلك كالتالي:

1. قياسات نسب الـ **CBR** تمت بعينة تُرابية مدموكة مُحتماها الرطوبي هو عند أفضل مُحتمى رطوبي (W_{opt}) وذلك تحقيقاً للشرط أن إختبار الدمك دائماً يسبق إختبار نسبة تحمل كاليفورنيا من حيث التعرف المُسبق على أقصى قيمة للكثافة الجافة ($\rho_d - \text{Maximum Dry Density}$).

2. طريقة تحضير عينات التربة لإختبار الـ **CBR** تمت داخل قوالب معدنية إسطوانية شبيهة بتلك التي أُستُخدمت في إختبار دمك التربة (**Soil Compaction Test**) طبقاً لنظام **AASHTO** الذي يُحدد مقاسات القالب بقطر $D_{mould} = 6 \text{ inch}$ وإرتفاع $H_{mould} = 7 \text{ inch}$. بالنسبة لعدد طبقات التربة وعدد الضربات بالمطارق، فإنه يُمكن إستخدام قوالب الدمك في تحضير عينة إختبار نسبة تحمل كاليفورنيا.

الشكل 3-13 يعطي النتائج المعملية لقوى الأتقال المُخرقة لطبقات عينة التربة المُختبرة في علاقة تُمثل صلابة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود قبل وضع البطانة الجيوبلاستيكية. هذه العلاقة تُسمى عادةً منحنى ثقل الإختراق (**Load-Penetration Curve**).



الشكل 3-13: منحنى ثقل الإختراق الإختباري لأعماق تربة قاعدة نموذج البئر الأسود.

الجدول 3-15 يعطي قيم مؤشرات الصلابة المُمثلة في نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) التي تم حسابها من المنحنيين القياسي والإختباري في الشكلين 3-11 و 3-13 والتي تتعلق بقاع نموذج البئر الأسود.

الجدول 3-15: قيم نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) لتربة قاع نموذج البئر الأسود.

نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) _{Bottom} [%]	قوة ثقل الإختراق $F_{Penetration}$ [kN]		العمق الترابي المُخترق y_n [mm]
	الثقل الإختباري	الثقل القياسي	
17.674	2.34	13.24	2.5
34.72	6.93	19.96	5

الجدول 3-16 يعطي المدى الذي تقع فيه نسب الـ CBR المحسوبة في الجدول 3-15 حيث يتضح أن القيمة العليا لنسبة تحمل كاليفورنيا ($CBR_{Bottom} = 34.72\%$) لتربة قاعدة نموذج البئر الأسود يشملها تقييم نظامي التصنيف AASHTO و USCS عند المستوى الجيد.

الجدول 3-16: المدى المحدد بنظامي التصنيف AASHTO و USCS لنسب الـ CBR.

محددات أنظمة التصنيف المرجعية		الإستخدام	التقييم	مدى الـ CBR [%]
طبقاً لـ AASHTO	طبقاً لـ USCS			
A5, A6, A7	OH, CH, MH, OL	طبقة التأسيس (Subgrade)	ضعيف جداً	3 – 0
A4, A5, A6, A7	OH, CH, MH, OL	طبقة التأسيس	ضعيف إلى معتدل	7 – 3
A2, A4, A6, A7	OH, CL, ML, SC, SM, SP	أساس مساعد (Sub-Base)	معتدل	20 – 7
A-1-b, A-2-5, A3, A-2-6	GM, GC, SW, SM, SP, GP	أساس معرض (Base Course)	جيد	50 – 20
A-1-a, A-2-4, A4	GW, GM	أساس	ممتاز	50 <
دليل رموز نظامي التصنيف				
AASHTO	A5: Loam Soil Difficult to Compact , A6: Clay A7: Clay (A-7-5 & A-7-6) , A4: Loam Soil A2: Granular Material , A1: Well Graded (Non-Plastic) A-1-b: More Sandy , A-2-5: Consists of Fine Particles A3: Uniformly Graded Sand (Non-Plastic) A-1-a: More Gravelly (Stoney) A-2-4: Relatively Coarse Graded Mixtures			
USCS	O: Organic , H: High Plasticity (Compressible) , C: Clay M: Silt , L: Low Plasticity (Incompressible) , S: Sand P: Poorly Graded , G: Gravel , W: Well Graded			

نختتم هذا المحور بإقتراح الشكل الرياضي للعلاقة التي تربط بين نسبة تحمل كاليفورنيا ومعامل منحنى التدرج الحبيبي (C_c) لتربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود والمحددات العملية لعملية الدمك المتمثلة في أقصى كثافة جافة (ρ_d) وأفضل محتوى رطوبي (W_{opt}). هذه العلاقة يمكن لها أن تُستخدم عملياً في التنبؤ بقيمة نسبة الـ CBR وذلك كما يلي:

$$8.3..... \text{CBR} [\%] = (\text{OMC}) (\text{MDD}) C_c^2 = W_{opt} \frac{\gamma_d}{\gamma_w} \left[\frac{D_{30}^2}{D_{10} D_{60}} \right]^2$$

حيث أن:

OMC = أفضل محتوى رطوبي (**Optimum Moisture Content – W_{opt}**).

MDD = أقصى كثافة جافة (**Maximum Dry Density**).

C_c = معامل تقوس منحنى التدرج الحبيبي (**Coefficient of Curvature**).

γ_d = الوزن النوعي للكثافة الجافة ($\gamma_d = \rho_d g \text{ N/m}^3$).

γ_w = الوزن النوعي للماء ($\gamma_w = \rho_w g \text{ N/m}^3$).

$$\text{CBR} = (10.4) (1.706) [1.35]^2 = 32.34\%$$

كل ذلك أدى إلى القيمة الأولية لنسبة تحمل كاليفورنيا (**CBR = 32.34%**) التي تمثل عدد كبير من العوامل المؤثرة على صلابة التربة بدلالة قربها من القيمة الإختبارية (**CBR = 34.72%**) بفارق لا يزيد عن **2.38%** والتي تؤكد على صلاحية العلاقة المقترحة.

المحور الثالث: إختبار إجهاد القص المباشر

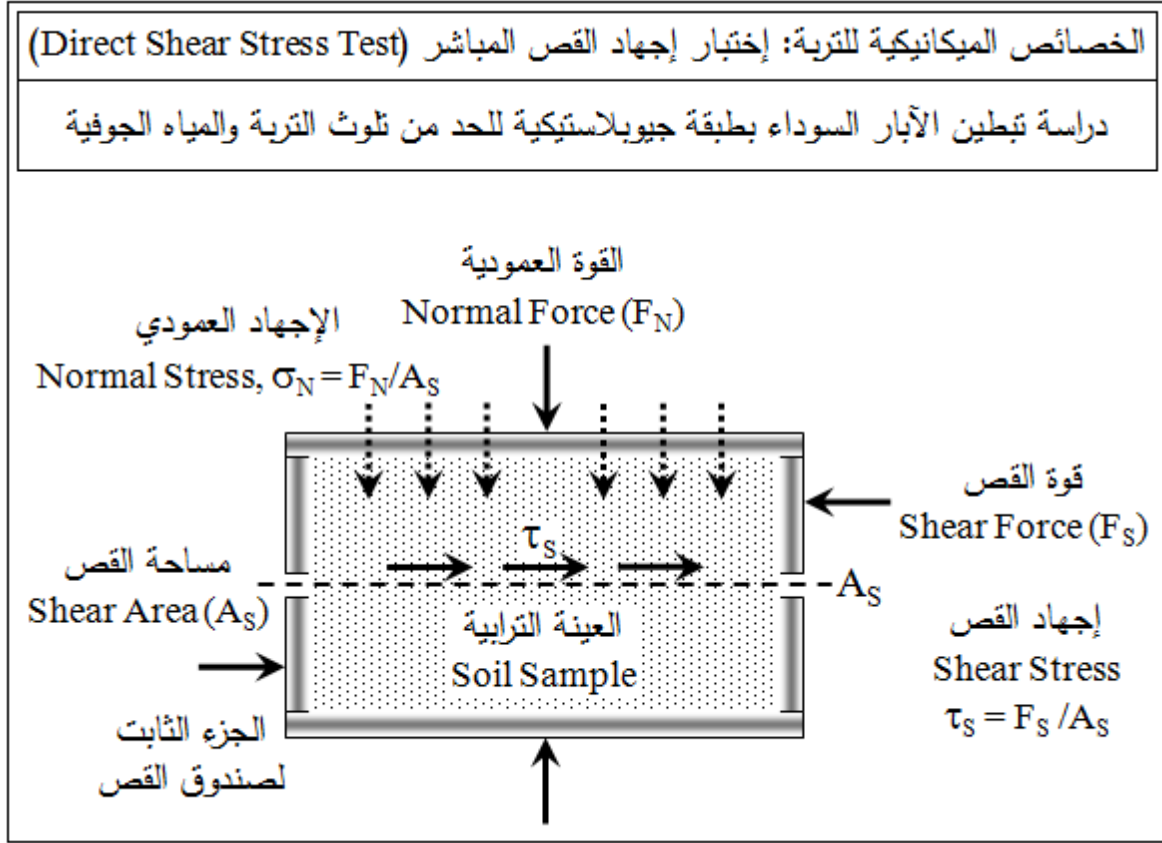
إختبار إجهاد القص المباشر (**Direct Shear Test**) يهتم بالدرجة الأولى بتقييم إجهاد القص (τ_s) الذي يحدث على إنهيار طبقات التربة بالقص في المستوى الأفقي كدالة في الإجهاد العمودي (σ_N) المؤثر على نفس المستوى. الإهتمام الآخر يكمن في قياس قوة التماسك (**Cohesion – C**) للتربة وزاوية الاحتكاك الداخلي (**Angle of Internal Friction – ϕ**) بين حبيباتها وذلك لغرض توصيف ثباتية القاعدة الأرضية والجدران الترابية الداخلية لنموذج البئر الأسود. فعلى الرغم من أن إختبار إجهاد القص المباشر يتميز بالبساطة وسرعة إنجاز القياسات إلا أنه يعاني من عيوب تتلخص في التالي:

1. الإجهادات داخل صندوق إختبار القص (**Shear Test Box**) غير متماثلة حيث تتركز التشوهات في منطقة مركز الصندوق.
2. إنهيار العينة يُنظر له على أساس أنه يحدث فقط في المستوى الأفقي الذي ربما لا يكون الأضعف.
3. الإجهادات العمودية والأفقية هي المحددات الرئيسية قبل عملية القص ولا تبقى كذلك عند الإنهيار.
4. ليس من الممكن التحكم في ضغط مسامات العينة الترابية وهو ما استدعى الفرض بأن نظام القص في هذه الحالة يُصنف كإختبار قص لكثافة مُفرغة (**Consolidated–Drained Test**).

الشكل 3-14 يوضح المفهوم العلمي الذي يُستخدم في إختبار إجهاد القص المباشر والذي يركز على قياس قوة القص المؤثرة على المساحة المقصوفة (**As**) للعينة الترابية في وجود قوة تأثير عمودية

وذلك لتحديد قوة التماسك (C) وزاوية مقاومة الحبيبات للإنزلاق بالإحتكاك (ϕ) من مُعادلة الإتزان التالية:

$$9.3. \dots\dots\dots \tau_s = C + \sigma_N \tan \phi$$



الشكل 3-14: مخطط الجسم الحر لإتزان القوى والإجهادات في إختبار إجهاد القص المباشر.

الشكل 3-15 يُصور التجهيزات المعملية لإختبار إجهاد القص المباشر في معمل التربة حيث تم وضع عينة تُرابية في صندوق القص وتعرضها لثلاثة إجهادات عمودية (σ_{N1} , σ_{N2} , σ_{N3}) مختلفة بإختلاف إجهادات القص (τ_{s1} , τ_{s2} , τ_{s3}) المحسوبة في الجدول 3-17 لكل قوة قص أفقية (F_s). الحسابات تمت على أساس أن ضبط التوازن الأفقي لذراع التحميل المحوري يتطلب الأخذ بالتناسب 10:1 كنسبة وزنية تعني أن التحميل بثقل 1 كجم يُعادل وزن 10 كجم على العينة الترابية (1 kg m_N). هذه النسبة تصل إلى 11:1 في المواصفة البريطانية BS 1377: Part 7: 1990.

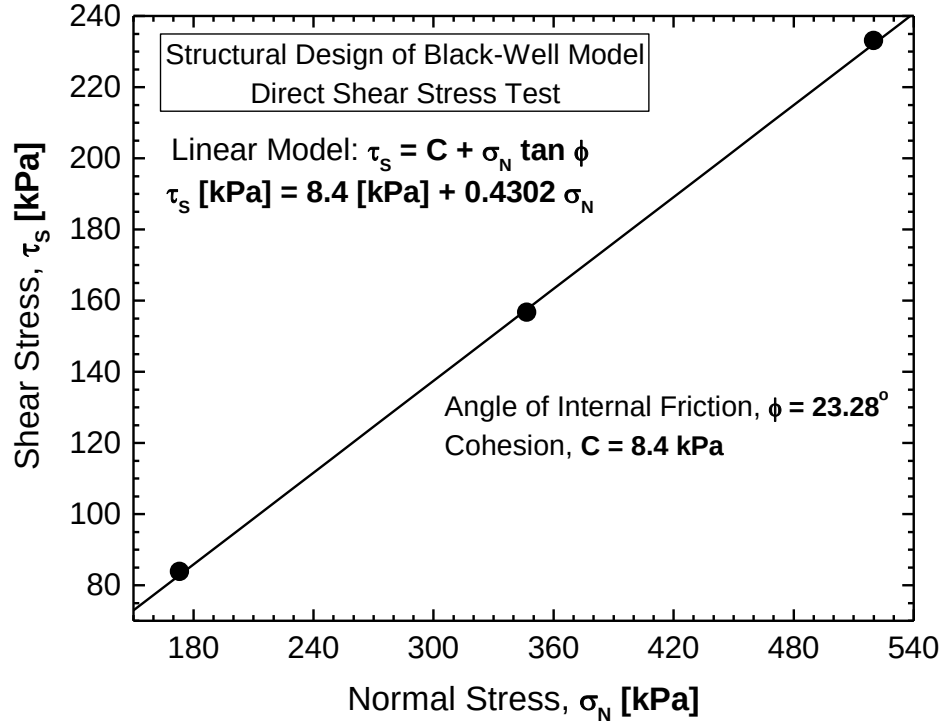


الشكل 3-15: صورة التجهيزات المعملية لإختبار إجهاد القص المباشر في معمل التربة.

الجدول 3-17: حساب قيم الإجهادات العمودية وإجهادات القص في إختبار إجهاد القص المباشر.

إجهادات القص (τ_s)		الإجهادات العمودية (σ_N)		بيانات الشكل الإسطواني لصندوق القص	
τ_s [kPa]	$F_s \times 10$ [N]	σ_N [kPa]	$F_N \times 10$ [N]	A_s [cm ²]	D_s [cm]
83.62	236.43	173.48	490.5	28.2744	6
156.45	442.34	347	981	28.2744	6
232.87	658.43	520.44	1471.5	28.2744	6

النتائج النهائية لإختبار إجهاد القص المباشر يعطيها الشكل 3-16 من خلال العلاقة الخطية بين إجهاد القص الأقصى ($\tau_{s,max}$) الذي يحدث عنده إنهيان العينة الترابية والإجهاد العمودي (σ_N) المؤثر عليها. هذه العلاقة يُطلق عليها مخطوف الإنهيار (**Failure Envelope**) حيث يتضح أن قيم زاوية الإحتكاك الداخلي وقوة التماسك $\phi = 23.28^\circ$ و $C = 8.4$ kPa على التوالي تقع في المدى المعروف عالمياً.



الشكل 3-16: العلاقة الخطية بين أقصى إجهاد قص عند الإنهيار والإجهاد العمودي.

هذه النتائج تُستخدم في تقييم سعة تحمل التربة (**Bearing Capacity of Soil**) من حيث أقصى ضغط يمكن أن يؤثر به الإنشاء على التربة بدون حدوث إنهيار بالقص أو هبوط غير محسوب. عليه، تم تطبيق معادلة ترزاغي (**Terzaghi's Bearing Capacity Equation**) التالية لحساب سعة التحمل القصوى (**Ultimate Bearing Capacity – q_{ult}**) وذلك باستخدام قيم العوامل والثوابت المدرجة في الجداول 3-18 و 3-19 التي تُضيف معارف هندسية هامة إلى متطلبات تصميم القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود:

$$q_{ult.} = 1.3 C N_c + \gamma_d D_w N_q + 0.4 \gamma_d B_w N_\gamma \dots \text{Terzaghi's BC Equation}$$

الجدول 3-18: القيم اللابعدية المنشورة لعوامل سعة تحمل التربة المعينة لحدود التماسك (N_c) وضغط العبأ المضاف (N_q) وإجهادات القص (N_γ) في معادلة ترزاغي كدالة في زاوية الإحتكاك الداخلي.

Angle of Internal Friction ϕ [degrees]	Bearing Capacity Cohesion Factor N_c [---]	Bearing Capacity Surcharge Factor N_q [---]	Bearing Capacity Shear Factor N_γ [---]
20	14.8	6.4	3.0
21	15.8	7.1	3.5
22	16.9	7.8	4.1
23	18.1	8.7	4.9
24	19.3	9.6	5.7
25	20.7	10.7	6.8

الجدول 3-19: قيم المُحددات الإختبارية والبُعدية في مُعادلة ترزاغي.

Parameters in Terzaghi's Bearing Capacity Equation			
Cohesion C [kPa]	Specific Dry Weight $\gamma_d = \rho_d g$ [kN/m ³]	Depth of Black Well, D_w [m]	Breadth of Black Well, B_w [m]
8.4	16.74	1.77	2.6

كل ذلك أدى إلى تحديد سعة التحمل القُصوى ($q_{ult.}$) التي تُمثل دور حدود مُعادلة ترزاغي في مواجهة ثقل العمود مع ضغط العبأ المُضاف (Overburden Pressure) المحسوب من $\sigma_o = \gamma_d D_w$ والتي قيمتها:

$$q_{ult.} = 540.7 \text{ [kPa]} = 5.515 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$$

بالنسبة للآمان الإنشائي لنموذج البئر الأسود، فأن عملية الحفر وتفرغ العمق الترابي D_w تتسبب في تخفيف الإجهاد العمودي (σ_o) كعباً لضغط مُزاح يُمكن له أن يعود بأي شكل وبتأثير مُباشر على القاعدة الأرضية وأن ذلك يتطلب تضمين سعة التحمل الكُلية ($q_{net-ult.} = q_{ult.} - \sigma_o$) في حسابات الآمان التي تتم بمُعادلة سعة التحمل الآمنة (Safe Bearing Capacity – q_s) التالية والتي يُطلق عليها صافي سعة التحمل المسموح بها (Net Allowable Bearing Capacity – $q_{net-all.}$):

$$10.3 \dots q_s = q_{net-all.} = \frac{q_{ult.} - \sigma_o}{F_s} + \sigma_o = \frac{q_{ult.} - \gamma_d D_w}{F_s} + \gamma_d D_w = 200 \text{ [kPa]}$$

حيث أن $F_s = 3$ كمُعامل الآمان (Factor of Safety) الذي يقع في المدى $2 \leq F_s \leq 4$ والذي يُؤخذ به في حالة الإنشاءات المُتعارف عليها وذلك بناءً على الممارسة الأوروبية Eurocode-7.

نختتم هذا المحور بمُقارنة قيمة صافي سعة التحمل المسموح بها ($q_{net-all}$) بقيمة ضغط عمود الماء الأسود (Black-Water Head) التي هي $h_{bw} = 65 \text{ cm}$ عند تعبئة البئر المدروس وذلك كالتالي:

$$\text{Hydrostatic Pressure of Black-Water, } P_{bw} = \gamma_{bw} h_{bw} = 6.3765 \text{ [kPa]}$$

المُقارنة توضح أن $P_{bw} \gg q_{net-all}$ وأن هذا الفرق الكبير يكفل سلامة نموذج البئر الأسود من إنهيار التربة بإجهادات القص. زد على ذلك، فأن إختيار منسوب هذا البئر بالنسبة لسطح الأرض المنشأ عليها يجب أن تتوفر فيه إشتراطات نسردها التالى:

1. لا يكون منسوب التأسيس عند منسوب سطح الأرض حتى لا يتأثر الإنشاء بالظواهر الطبيعية من تعرية ومياه الأمطار وتحريك التربة السطحية.
2. أن يكون منسوب التأسيس داخل طبقة التربة ذات الإجهاد العالى والأمن.
3. فى حالة وجود طبقة طينية سطحية، فإنه يُوصى بتجنبها نظراً لما يحدث لها من إنكماش وإنفخا عند تعرضها للماء وأن منسوب التأسيس يكون عند $y = -1.0 \text{ m}$ فى حين أن التربة الطينية ذات الهبوط العالى تتطلب منسوب تأسيس يقع بين $y = -1.5 \text{ m}$ و $y = -2.0 \text{ m}$ من سطح الأرض.
4. فى حالة التربة الطينية المنفخة التي يبقى جزء منها والتي يتم تعويضها بتربة إحلال، فإنه يُمكن التغلب على تأثير الإنفخا بمنسوب تأسيس مُضافاً إليه مقدار سُمك طبقة الإحلال.
5. وجود طبقة لتربة ردم فى الموقع تفرض منسوب تأسيس يقع أسفلها ببعد $y = -0.5 \text{ m}$ وذلك لضمان الوصول إلى الطبقة الصالحة للتأسيس.
6. وجوب دعم جوانب نموذج البئر الأسود وخاصةً فى حالة وجود تُرب الردم بمكوناتها المُتنوعة مثل الرمل المُفكك (Loose or Very Loose Sand) والتربة الزراعية (Peat Soil) التي تحتوي على مواد عضوية لجذور مُتهشمة والتي عند تعرضها لكيمياء الماء الأسود يتحلل فيها جزء الألياف بسرعة تاركاً فراغ فى التربة قد يتسبب فى التعجيل بهبوط وإنهيار الجدران الداخلية للبئر.

3-6-5: خلاصة نتائج إختبارات التربة

تقدير حصيلة ما تقدم من إختبارات ونتائج عملية فى مجال الخواص الفيزيائية والميكانيكية للتربة يتم فى هذه الوقفة التي تُمثلها الجداول 3-20 و 3-21 والتي تتكامل فيها أُسس التعامل الصحيح مع عنصر التداخل العلمى بين مجالات العلوم التطبيقية المُختلفة. فعلى سبيل المثال نجد أن التنبؤ بقيمة نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) كخاصية ميكانيكية للتربة بدون إجراء إختبارات ميكانيكية يتطلب مسلك تطبيق بيانات الخصائص الفيزيائية المُتعلقة بالتدرج الحبيبي وتطبيق معارف لخلفيات مُسبقة فى مجال تحليل النتائج بأدوات الرياضيات الفيزيائية.

الجدول 3-20: خلاصة نتائج الخواص الفيزيائية لتربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود.

(Physical Properties of Soil) الخصائص الفيزيائية للتربة 3-6-3					
Sieve Analysis	Particles Size Distribution – PSD			Grading Coefficients	
	Sand [%]	Fine [%]	Gravel [%]	C _u [---]	C _c [---]
	81.92	16.1	1.98	2.4	1.35
Classification Systems	AASHTO		USCS	Evaluation of Composition	
	A-2-4		SM	Very Good	
Specific Gravity, G _s [---]			Permeability, k _{corrected} to 20°C [m/sec]		
2.633			1.2183 × 10 ⁻⁶		

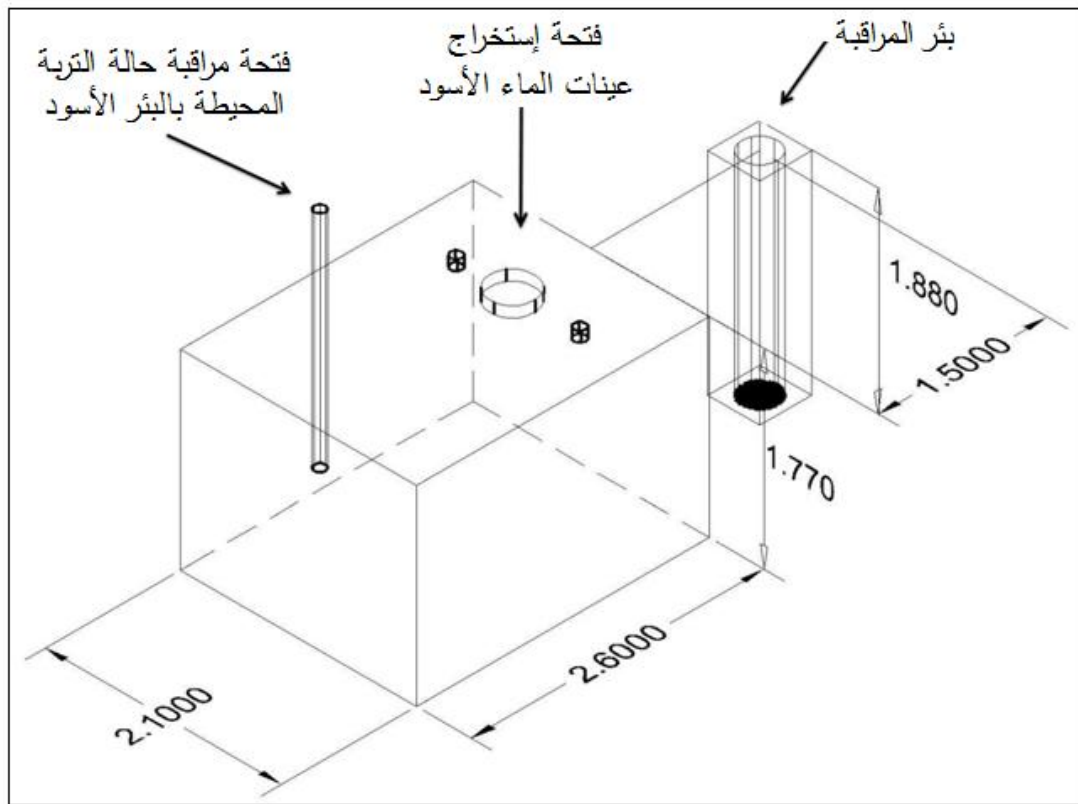
الجدول 3-21: خلاصة نتائج الخواص الميكانيكية لتربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود.

3-6-4: الخصائص الميكانيكية للتربة (Mechanical Properties of Soil)			
Maximum Dry Density (MDD) ρ_d [g/cm ³]		Optimum Moisture Content (OMC) $W_{opt.}$ [%]	
1.706		10.4	
California Bearing Ratio (CBR)	CBR @ 2.5 mm [%]		CBR @ 5 mm [%]
	17.674		34.72
Shear Stress	Internal Friction Angle, ϕ		Cohesion, C [kPa]
	23.28°		8.4
Bearing Capacity	Ultimate, $q_{ult.}$ [kPa]		Net Allowable, $q_{net-all.}$ [kPa]
	540.7		200

3-7: النموذج الإنشائي للبئر الأسود

الشكل 3-17 يوضح التصميم الإنشائي لنظام البئر الأسود المغلق كنموذج مثالي على شكل مُستطيل عمقه $D_w = 1.77$ m وحجمه $V_w = 9.6642$ m³. أضيف إلى ذلك بئر المراقبة الذي تم وضعه بالقرب من نموذج البئر الأسود بمسافة $\chi = 1.5$ m وبأكبر عمق $D_m = 1.88$ m حتى يتسنى قياس التغير الكيميائي في الخواص المعروفة لمياه المراقبة في حالة نفاذ ماء الصرف الصحي من البئر الأسود بعملية التغلغل الجيوكيميائي. كذلك، تم تجهيز البئر الأسود النموذجي بمواقع إستخراج العينات المائية وتسهيل قياس التغير في منسوب الماء الأسود كدالة في الزمن. هذه المجسات شملت موضع آخر بين الجدار الترابي لنموذج البئر الأسود والبطانة الجيوبلاستيكية لغرض المتابعة الدورية للتربة المحيطة بالنموذج. الشكل 3-18 يعطي صورة جوية لتفاصيل المخطط العمراني في منطقة

السواني التي تم إختيارها كموقع دراسي لنموذج البئر الأسود (أنظر إلى الجزء 3-4: دواعي إختيار موقع الدراسة).



الشكل 3-17: مخطط التصميم الإنشائي لنموذج البئر الأسود التجريبي.



الشكل 3-18: صورة جوية لموقع الدراسة في منطقة السواني (N: 13.109 & E: 32.774).

الشكل 3-19 يُصور مرحلة تطبيق التصميم الإنشائي لنموذج البئر الأسود في موقع الدراسة قبل تغليف الجدران الداخلية والقاعدة الأرضية بالبطانة الجيوبلاستيكية حيث يبدو واضحاً المجهود المبذول في حفر النموذج وتفرغ التربة طبقاً لمقاييس التصميم. هذه الصورة تلتقط بدقة الفرق بين طبقة التربة السطحية التي هي عبارة عن تربة ردم (Backfill Soil) وطبقة التربة الملامسة للقاعدة الأرضية التي يشملها التصنيف كتربة رمل ناعم غريني غير لدنة (Silty Fine Sand & Non-Plastic).



الشكل 3-19: صورة حفرة نموذج البئر الأسود التجريبي قبل التغليف بالبطانة الجيوبلاستيكية.

بعد الإنتهاء من عملية حفر نموذج البئر الأسود والتأكد من صحة الأبعاد الهندسية، تم أخذ عينات من تربة القاعدة الأرضية وهي في حالتها الطبيعية وذلك لتوصيف خواصها الفيزيائية والميكانيكية كما هو في الأجزاء التي سبقت هذا الجزء من الأطروحة. تلى هذه المرحلة الهامة مرحلة تطبيق مفهوم تبطين الآبار السوداء ببطانة جيوبلاستيكية حيث تم ذلك بإختيار غلاف بلاستيكي مُكون من مادة بوليمر عديد الإثيلين المُخفض الكثافة (Low Density Polyethylene – LDPE) بسُمك $\delta = 1.8 \text{ mm}$. خطوات التبطين يوضحها الشكل 3-20 بصور تلتقط أيضاً عبوة البئر بماء أسود حجمه $V_{bw} = 3.549 \text{ m}^3$.



الشكل 3-20: صور خطوات تغليف نموذج البئر الأسود ببطانة الجيوبلاستيك وعبوة الماء الأسود.

3-8: التجهيزات الدراسية والعمل الميداني

نختتم هذا الفصل بالجزء الذي يُحدد مسار هذه الدراسة من حيث توظيف كل ما تقدم في إنجاح مشروع التبطين الفعال للآبار السوداء بتكلفة أقل بكثير من تكلفة النتائج الصحية والبيئية لتغلغل مياه الصرف الصحي نحو جداول المياه الجوفية مروراً بطبقات التربة. هذه المبادرة التي نطرحها هنا تُعتبر أول عمل علمي عملي في هذا المجال الهام والتي نراجع مُتطلبات تحقيقها على أرض الواقع في مايلي:

1. نموذج مثالي لبئر أسود يتميز بالحجم والموقع اللذان يُمثّلان واقع الحال في المُدن الليبية التي لا توجد في أغلبها شبكات تصريف المياه السوداء ومحطات معالجة مياه الصرف الصحي.

2. بطانة جيوبلاستيكية من بوليمر عديد الإثيلين المنخفض الكثافة (LDPE) الذي يتميز بالتصلد عند تعرضه للماء الأسود والذي سُمكه يقع في المدى $1.5 \leq \delta \leq 2 \text{ mm}$ كمدى للأغشية البوليمرية التي يتم إستخدامها في مثل هذه التطبيقات [28].

3. مجسم خشبي يقع في أعلى البئر النموذجي ليعمل كغطاء بفتحتان يخرج منهما أنبوبين من البلاستيك وذلك من أجل قياس التغير في منسوب الماء الأسود مع الزمن وتسهيل عملية أخذ العينات بشكل دوري ومراقبة انبعاث الغازات الحيوية.

4. أنبوب معدني من الفولاذ مُحاذي للبئر الأسود في موضع يقع بين البطانة الجيوبلاستيكية وطبقة التربة الطبيعية وذلك للمتابعة الدورية لعملية التغلغل (Infiltration Process) إن حدثت.

الشكل 3-21 يُصور بعض من التجهيزات الدراسية التي تم إستخدامها في توصيف علاقة البطانة بعملية التغلغل من حيث الأداء الجيوكيميائي للمادة البوليمرية المكونة للغلاف البلاستيكي.



الشكل 3-21: صورة لبعض التجهيزات الدراسية المستخدمة في العمل الميداني.

البرنامج التجريبي لهذه التجهيزات شمل عنصرين أساسيين هما إختيار نوع المعدات وتوقيت أخذ العينات وذلك كالتالي:

1. جهاز Geo-Tool لقياس التغير في مستوى المنسوب المائي في نموذج البئر الأسود.
2. جهاز النظام المكاني العالمي (Global Positioning System – GPS) لتحديد موقع نموذج البئر الأسود على Google Earth ورسم الخريطة الكنتورية لمنطقة الدراسة.
3. آلة تصوير Camera لتوثيق مراحل العمل الدراسي فوتوغرافياً.
4. شريط قياس متري للتأكد من ثبات الأبعاد الهندسية المحددة في تصميم البئر قبل البدء في التجربة.
5. مجرفة (Shovel) لمأولة عينات التربة ووضعها في أكياس نقل إلى معمل التربة.

6. عينات ترابية مأخوذة من الطبقة الطبيعية أثناء مرحلة حفر نموذج البئر الأسود.
7. عينات من عبوة النموذج لغرض التعرف على مكونات الماء الأسود الكيموحيوية قبل تحليلها.
8. عينات لمياه جوفية مأخوذة من محيط موقع الدراسة وعينة من بئر المراقبة المُلصق للنموذج.

الشكل 3-22 يُصور طريقة مُتابعة التغير في مُستوى الماء الأسود داخل نموذج البئر المدروس والعينات المائية المأخوذة من أحد الآبار الجوفية المُجاورة لمنطقة الدراسة وبئر المراقبة والبئر النموذجي. كذلك، يوضح الشكل 3-22 حالة البطانة الجيوبلاستيكية بعد تفريغ نموذج البئر الأسود حيث يتضح من الكشف العيني أن غلاف التبتين لم يتأثر بوجود الماء الأسود وعلى وجه الخصوص القاع أو القاعدة الأرضية التي تعرضت طيلة مدة الإختبار لمؤثرات ثقل وكيمياء مياه الصرف الصحي.



الشكل 3-22: صور للعينات المائية وطريقة أخذها قبل وبعد تفريغ عبوة نموذج البئر الأسود.

العمل الميداني الذي سبق تفريغ نموذج البئر الأسود من محتواه المائي تم في فترة زمنية وصلت بالأيام إلى 224 يوم أو ما يُعادل 7.47 شهر من تاريخ التجهيز لدراسة نظام بيئي يُمثل أنظمة الآبار السوداء الحقيقية. الجدول 3-22 يلخص الخطوات المُتبعة والمُلاحظات العينية والمُلاحظات الفنية والنتائج العلمية التي تم توثيقها طيلة الفترات التجريبية الستة والتي توزعت بين العامين 2012 م و 2013 م.

الجدول 3-22: مدونة الخطوات والمُلاحظات والنتائج لفترات إختبار نظام البئر الأسود النموذجي.

الفترة التجريبية الأولى إلى: مايو 2012 م (May 2012)	
الخطوات	تبطين جدار نموذج البئر الأسود وتعبئته بحجم من مياه الصرف الصحي وقياس مستوى الماء الأسود وتحديد حجمه.
المُلاحظات	إنبعاث رائحة كريهة من نموذج البئر الأسود أثناء عملية التعبئة بمياه الصرف الصحي ذو اللون القاتم.
النتائج	إستقرار في التربة الجانبية لجدارن النموذج كنتيجة للضغط الهيدروستاتيكي.
الفترة التجريبية الثانية إلى: سبتمبر 2012 م (September 2012)	
الخطوات	أخذ عينات مائية من بئر المراقبة والبئر الجوفي ونموذج البئر الأسود وتحليل مكوناتها في مركز البحوث الصناعية بتاجوراء.
المُلاحظات	نقصان ملحوظ في الرائحة المنبعثة من النموذج أثناء أخذ العينات وظهور رطوبة على جدار البطانة الجيوبلاستيكية.
النتائج	1. تراسف وإستقرار في التربة الجانبية لجدارن نموذج البئر الأسود. 2. إنعدام إنبعاث الروائح من الأنبوب الموجود بين البطانة الجيوبلاستيكية والتربة. 3. نقص طفيف نسبياً في مستوى سطح الماء السوداء.
الفترة التجريبية الثالثة إلى: أكتوبر 2012 م (October 2012)	
الخطوات	أخذ عينات مائية من بئر المراقبة وتحليل مكوناتها في مركز البحوث الصناعية بتاجوراء.
المُلاحظات	عدم إنبعاث روائح من نموذج البئر الأسود نتيجة التحلل الحيوي لمُحتواه المائي في الظروف اللاهوائية (Anaerobic System) وظهور رطوبة على جدار البطانة.
النتائج	البطانة الجيوبلاستيكية أصبحت فعالة في التصدي لعملية التغلغل بدلالة النقص

الطفيف نسبياً في منسوب سطح ماء البئر الأسود النموذجي وإستقرار طبقات التُّرب الجانبية لجدران البئر وتحلل مُكونات بئر المراقبة.	
الفترة التجريبية الرابعة إلى: نوفمبر 2012 م (November 2012)	
أخذ عينات من بئر المراقبة وتحليل مكوناتها في مركز البحوث الصناعية بتاجوراء.	الخطوات
عدم إنبعاث روائح من النموذج وظهور رطوبة على جدار البطانة الجيوبلاستيكية.	المُشاهدات
إستمرار فعالية البطانة الجيوبلاستيكية في إحتواء تأثير ماء البئر الأسود من حيث التغلغل والإستقرار الترابي والتحلل الكيموحيوي.	النتائج
الفترة التجريبية الخامسة إلى: ديسمبر 2012 م (December 2012)	
أخذ عينات من بئر المراقبة وتحليل مكوناتها في مركز البحوث الصناعية بتاجوراء.	الخطوات
عدم إنبعاث روائح من النموذج وظهور رطوبة على جدار البطانة الجيوبلاستيكية.	المُشاهدات
إستمرار فعالية البطانة الجيوبلاستيكية في إحتواء تأثير ماء البئر الأسود من حيث التغلغل والإستقرار الترابي والتحلل الكيموحيوي.	النتائج
الفترة التجريبية السادسة إلى: يناير 2013 م (January 2013)	
- أخذ عينات مائية من بئر المراقبة والبئر الجوفي ونموذج البئر الأسود وتحليل مكوناتها في مركز البحوث الصناعية بتاجوراء. - تفريغ عبوة نموذج البئر الأسود. - أخذ عينات من جزء الغلاف البلاستيكي المبطن لقاعدة نموذج البئر الأسود. - أخذ عينات من طبقة تربة القاعدة الأرضية بعد تبطينها بالغلاف البلاستيكي.	الخطوات
- تغير في لون المحتوى المائي لبئر النموذج من الأسود إلى اللون الشبه أصفر. - تراكم المترسبات اللزجة والعوالق (Sludge) المصاحبة لمياه الصرف الصحي على السطح السفلي لغلاف التبطين كنتيجة للتغير الكيموحيوي في الماء الأسود. - جفاف واضح في تربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود بعد إزالة جزء من البطانة الجيوبلاستيكية المغلفة لها للفحص العيني.	المُشاهدات
1. تبطين نموذج البئر الأسود بغشاء بلاستيكي مصنوع من بوليمر عديد الإثيلين	النتائج

المنخفض الكثافة (LDPE) منع تغلغل ماء الصرف الصحي نحو طبقات التربة على الرغم من الثقل العمودي والكيمياء التفاعلية في الماء الأسود. 2. إحتفاظ طبقات التربة الجانبية لجدران نموذج البئر الأسود بحالة الإستقرار بعد إزالة البطانة الجيوبلاستيكية. 3. تغير ملحوظ في لون وملمس البطانة الجيوبلاستيكية وخاصةً في الجهة التي تلامس الماء الأسود. 4. إنعدام الروائح في نموذج البئر الأسود.	
ملاحظة: يتم تزويد بئر المراقبة بالماء النقي مرتين على الأقل في الأسبوع طيلة فترة الدراسة.	

الفصل الرابع

مُراقبة تلوث مياه منطقة الدراسة On-Site Monitoring of Water Pollution

4-1: دواعي التقييم

مُراقبة الحالة المائية في منطقة الدراسة له أهمية خاصة من حيث إختلاط المياه الجوفية بمياه الآبار السوداء يُمكن لها أن تتسبب في إنتشار الأمراض وتهديد الحياة الإنسانية في هذه البُقعة من مدينة طرابلس. لذلك، فإن هذه الدراسة سوف تلفت الإنتباه إلى هذا القلق بعمل بحثي أصيل ونتائج تنبثق عنها حلول مُلائمة لطبيعة مُجتمعنا. فوجود الآبار السوداء المكشوفة في المناطق السكنية والمرافق العامة يعني تجمع المياه السوداء دون أية نوع من المُعالجة وتعريض كل ما هو حي لأمراض قد يصعب علاجها. زد على ذلك إنعدام خطط تهتم بالعوازل الأولية من أجل منع وصول الرواشح المُلوثة إلى طبقات التربة وجداول المياه الجوفية علماً بأن نوع وخواص وتوزيع ترب المدينة يُساعد على مثل هذا النوع من التلوث. المُشاهدات التي لها علاقة مباشرة بهذا الجزء من الدراسة تشمل: (1) كثرة إستخدام آبار المياه الجوفية في الأغراض الزراعية وعدم وجود شبكة إمداد مائي أدى إلى إنتشار خزانات المياه الأرضية التي يصعب تنظيفها بشكل دوري مما تسبب في تراكم المُلوثات الخطرة فيها و(2) إنتشار الآبار السوداء المُلحقة بالإنشاءات السكنية والخدمية بشكل ملحوظ في منطقة الدراسة وقربها من مصادر المياه الجوفية ساهم في زيادة إحتمالية التلوث في وجود مساحة كبيرة من برك مياه الصرف الصحي تحت هذه الإنشاءات.

عليه، فإن هذا الجزء من الأطروحة يُعتبر وقفة على حقيقة الوضع المائي في منطقة الدراسة والتعرف على ما أصاب الخزان الجوفي فيها من أضرار كنتيجة طبيعية لممارسات خاطئة نجمت عن قصور إستراتيجي في التخطيط لتفادي مخاطر إختلاط الماء الأسود بالماء الجوفي. فالتخطيط الإستراتيجي يجب أن يأخذ في عين الإعتبار التوزيع السكاني في المدينة والاعتماد المباشر على المياه الجوفية في الإستخدامات اليومية والزراعية والصناعية وهو ما يزيد من تعاضم مسألة تلوث المياه الجوفية.

2-4 تحاليل المياه Water Analysis

التحاليل المائية تمت في مركز البحوث الصناعية بمدينة تاجوراء حيث تطلب ذلك عينات من مياه البئر الجوفي وبئر المراقبة والبئر الأسود الخاص بالتجربة الدراسية. النتائج أُستُخدمت في تقييم التلوث في منطقة الدراسة ورسم خريطة كنتورية توضح مدى إنتشار وقرب الآبار السوداء من مصادر التلوث (الآبار السوداء) على مدى فترة الدراسة التي أستمريت على ما يقارب الثمانية أشهر. فالتعرف على تداخل التلوث المائي المحيط بمنطقة الدراسة يضمن صحة نتائج أداء البطانة الجيوبلاستيكية قبل وبعد التجربة البيئية.

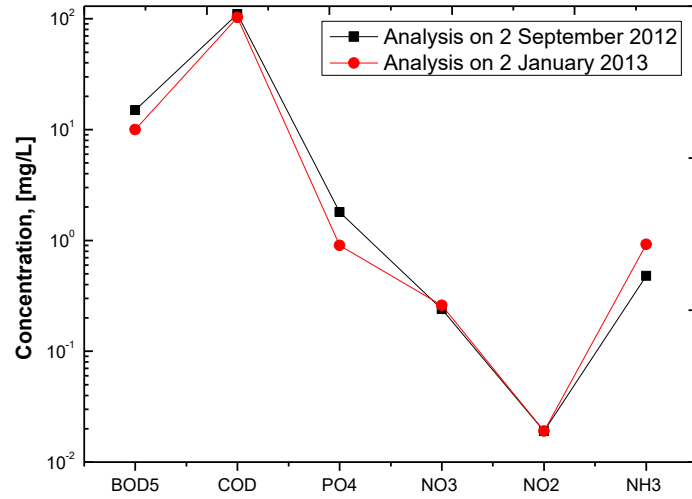
1-2-4 تحاليل مياه البئر الجوفي

الجدول 1-4 يعطي نتائج إختبارات عينات مياه البئر الجوفي التي تمثل حالة التلوث في منطقة الدراسة قبل وبعد التجربة البيئية.

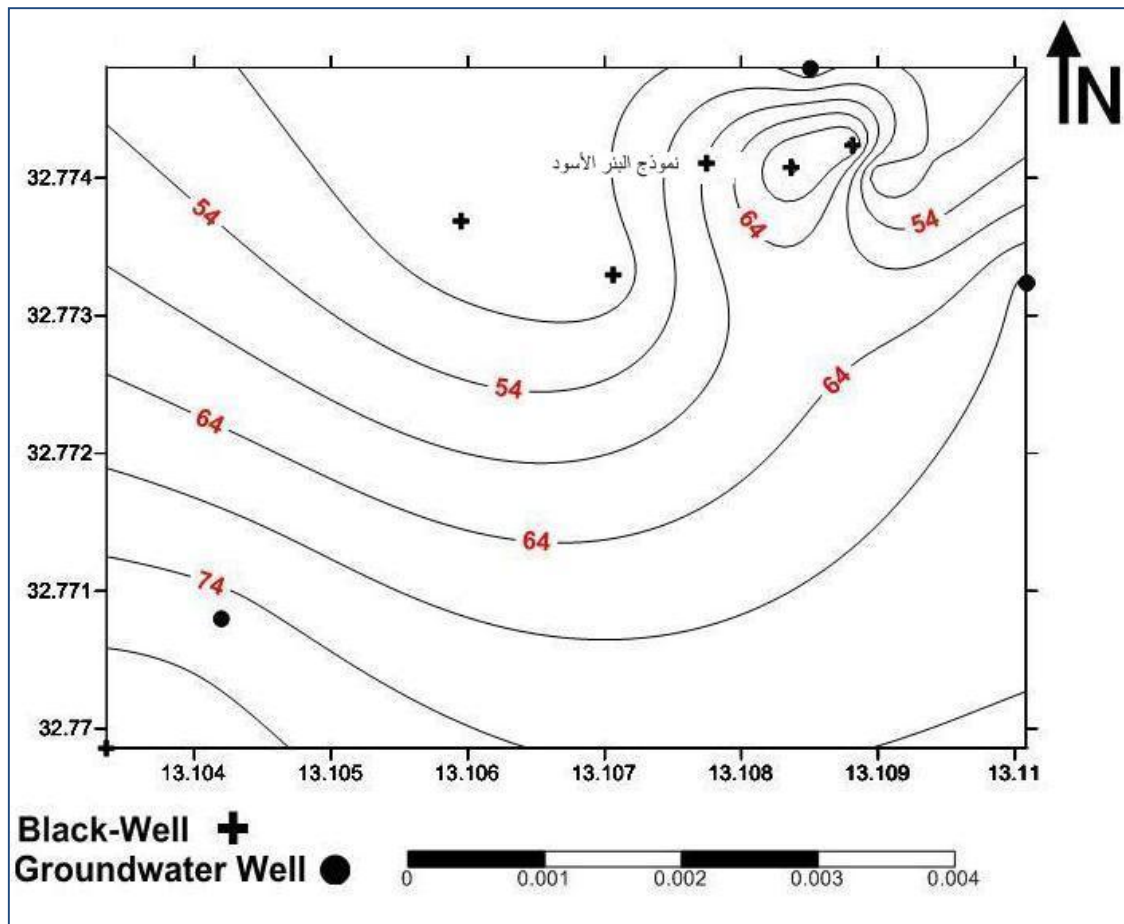
الجدول 1-4: نتائج إختبارات تحليل الماء الجوفي قبل وبعد التجربة البيئية.

الفترة	الأمونيا NH ₃ [mg/L]	النيترايت NO ₂ [mg/L]	النترات NO ₃ [mg/L]	الفوسفات PO ₄ [mg/L]	الأكسجين الممتص كيميائياً COD [mg/L]	الأكسجين الممتص حيوياً BOD ₅ [mg/L]
بداية التجربة	0.48	0.019	0.24	8.1	110.0	15.0
نهاية التجربة	0.92	0.019	0.26	0.9	103.0	10.0
مدى السماحية	0.1-0.2	0.05-0.1	10-30	0.03-0.01	10.0	6.0

الشكل 1-4 يوضح التباين في نتائج التحليل الكيميائي قبل وبعد الدراسة في فترة زمنية لا تزيد عن ثمانية أشهر حيث يتأكد من ذلك أن منطقة الدراسة ملوثة أصلاً قبل البدء في التجربة البيئية. نلاحظ أيضاً في الشكل 1-4 وجود تقارب في النتائج بغض النظر عن الفترة الزمنية للتجربة. كما أن هذه النتائج تستبعد احتمالية رشح الملوثات من البئر الأسود الإختباري في وجود بطانة جيوبلاستيكية تمنع التغلغل نحو بئر المراقبة. الشكل 2-4 يصف بخريطة كنتورية شدة الإنتشار العشوائي للآبار السوداء في منطقة الدراسة حيث يتبين حجم الكارثة البيئية التي يواجهها الأهالي في هذه الرقعة من الأرض.



الشكل 4-1: نتائج التحليل الكيميائي للماء الجوفي قبل وبعد التجربة البيئية.



الشكل 4-2: الخريطة الكنتورية لمنطقة الدراسة ومواقع الآبار السوداء والآبار الجوفية.

النتائج الكنتورية لمنطقة الدراسة الموضحة في الشكل 4-2 تعتمد على إحداثيات حقيقية لعدد من الآبار الجوفية والآبار السوداء التي تنتشر بكثرة حول النموذج الإختباري للبئر الأسود. فعلى الرغم من أن آبار المياه الجوفية في هذه المنطقة (السواني) مُحاصرة بالآبار السوداء من المحاور الشمالية والجنوبية، فإن ذلك لم يمنع الأهالي من إعتبارها المصدر الرئيسي للمياه الصالحة للإستعمال البشري. المعلومات التي يُمكن إستخلاصها من الخريطة الكنتورية تعتمد على دقة جهاز تحديد المواقع الجغرافية (GPS) الذي تم إستخدامه في تحديد مواقع الآبار الجوفية والسوداء. هذه المواقع تُمثلها نقاط على المحاور (X, Y, Z) حيث يُمثل المحور X إتجاه الشرق بينما يُمثل المحور Y إتجاه الشمال والمنسوب (Elevation) على المحور Z يُمثل منسوب إرتفاع مستوى سطح الأرض عن مستوى سطح البحر. فرسم الخريطة الكنتورية تم على هذا الأساس حيث تتضح إمكانية تغلغل الملوثات في إتجاه الشمال الغربي بين البئر الجوفي والثلاثة الآبار السوداء المحيطة به.

4-3 تحاليل مياه نموذج البئر الأسود

الجدول 4-2 يدرج التكوين الكيميائي لمياه الصرف الصحي في النموذج الإختباري للبئر الأسود عند بداية ونهاية التجربة البيئية وذلك بناءً على نتائج تحليل العينات في مركز البحوث الصناعية بمدينة تاجوراء كل 30 يوم تقريباً.

الجدول 4-2: نتائج التحليل الكيميائي لمكونات نموذج البئر الأسود

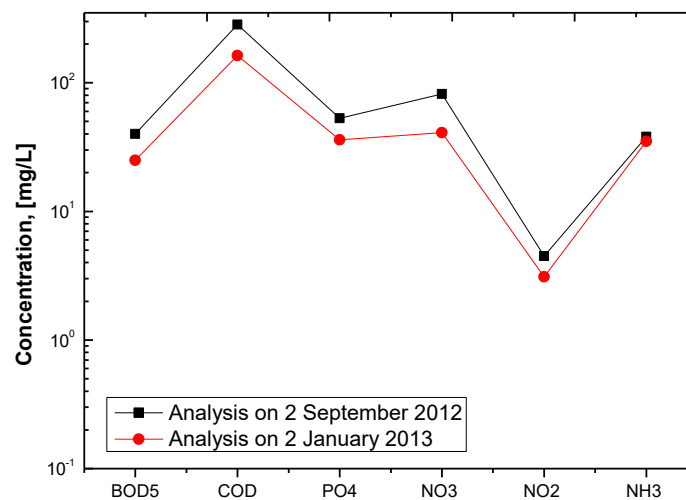
الخاصية	عند بداية التجربة [mg/L]	عند نهاية التجربة [mg/L]
النيترايت	4.5	3.1
الأمونيا	38	35
النترات	82	41.0
الفوسفات	53	36.0
الحاجة الكيميائية للأكسجين	284	163.0
الحاجة الحيوية للأكسجين	40	25.0

نتائج تحاليل مياه نموذج البئر الأسود في الجدول 4-2 التي تتعلق بمركبات النيتروجين تؤكد على الدور الذي تلعبه مثل هذه المكونات في البيئة وهو ما يُعرف بدورة النيتروجين حيث تُستهلك هذه المركبات

بواسطة الكائنات الحية الدقيقة على شكل الأمونيا NH_4 وتحولها إلى النترات NO_3 ويُطلق على هذه العملية بالنترجة (Nitrification). وجود هذه المركبات بنسب عالية كان بسبب أنشطة تُستخدم فيها الأسمدة الزراعية وتربية المواشي في منطقة الدراسة.

في الظروف اللاهوائية تتحول النترات إلى غاز النيتروجين (N_2) بواسطة الإختزال البيولوجي اللاهوائي وتعرف هذه العملية بنزع النيتروجين حيث تتميز بسرعة الذوبان في الماء مما يتسبب في سرعة وصولها إلى المياه الجوفية بفعل الأمطار والري. عليه، فإن وجود النترات في مياه الشرب يُمكن أن تنتج عنه إضطرابات في حالة الدم بسبب تحولها إلى نيترايت في الجسم مما يتسبب في حالة مرضية يطلق عليها (Methemoglobinemia) المعروفة أيضاً بظاهرة الطفل الأزرق (Blue Baby Syndrome).

بالنسبة للفوسفور، فهو أحد العناصر الغذائية للنبات الذي يساهم في زيادة النمو الطحلبي وتعفنه في السطح المائي. مياه الصرف الصحي الغير مُعالجة تحتوي على حوالي 12 mg/L من ومصدره المنظفات الصناعية المنزلية والإفرازات البشرية. الفوسفور في مياه الصرف يوجد أساساً على شكل الفوسفور العضوي مثل مركبات الفوسفات التي تشمل أيون الأرتثوفوسفات الذائب (PO_4^{3-}) الناتج عن فضلات الطعام ومُخلفات الخُراج. فوجود الفوسفور في المياه السوداء بتركيز عالية نسبياً في نموذج البئر الأسود ومياه البئر الجوفي يعني توفر غذاء بكميات هائلة لعوامل تكاثر البكتريا بمختلف أنواعها في المياه الجوفية. هذه النتيجة تُعززها نتائج تحاليل المياه في الأشكال 1-4 و 3-4 وهو ما يدعو للقلق على الوضع المائي في منطقة الدراسة.



الشكل 3-4: الخواص الكيميائية لمياه الصرف الصحي لنموذج البئر الأسود قبل و بعد التجربة البيئية.

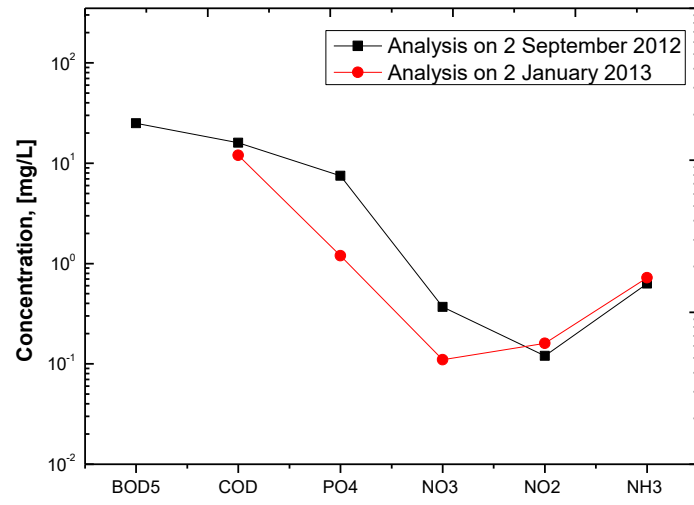
القلق السائد حالياً في منطقة الدراسة يُبرره وجود الآبار السوداء في أماكن قريبة جداً من جداول المياه الجوفية ومياه الشرب (الخزانات الأرضية أو الماجن). زد على ذلك وجود الفوسفور أصلاً في مياه البئر الجوفي وهو ما يُضيف عبأً آخر على تلوث المياه الجوفية. لذلك يجب إزالة الفوسفور عند معالجة مياه الصرف الصحي وذلك للقضاء على المستعمرات البكتيرية التي تتسبب في إستهلاك الأكسجين أثناء التغذية بمكونات الفوسفور كمصدر غذائي.

4-4 تحاليل مياه بئر المراقبة

مُراقبة تلوث مياه منطقة الدراسة تمت بإنشاء بئر يحتوي على ماء جوفي شرق البئر الإختباري الأسود بمسافة 1.5 m وذلك من أجل المحافظة على صلاحية نتائج أداء البطانة الجيوبلاستيكية في حيز ماء البئر الأسود الإختباري. نتائج التحاليل المُدرجة في الجدول 4-3 تُشير إلى أن البئر الأسود الإختباري لم يُساهم على الإطلاق في عملية تلوث المياه الجوفية في منطقة الدراسة ليبقى واقع التلوث المائي كما يصفه الجدول 4-1 بإستثناء التغير الملحوظ في قيم مجموع الفوسفور والطلب الحيوي للأكسجين (BOD_5). كل ذلك يؤكد على أن حجم الغلاف البلاستيكي في البئر الإختباري قد منع حجم الماء الأسود الذي يشغله من المشاركة في عملية تلوث مياه منطقة الدراسة. في هذا السياق، يبدو أن البطانة الجيوبلاستيكية لعبت دور ما في عرقلة عمليات التلوث الكيموحيوية كما تؤكد عليه نتائج أداء البطانة في الفصلين الخامس والسادس. الشكل 4-4 يعطي نمط سلوك نتائج التحاليل الكيموحيوية لبئر مراقبة التلوث المائي في منطقة الدراسة.

الجدول 4-3: نتائج التحاليل الكيميائية لمكونات بئر مراقبة تلوث مياه منطقة الدراسة.

الفترة	الأمونيا NH_3 [mg/L]	النيترايت NO_2 [mg/L]	النترات NO_3 [mg/L]	الفوسفات PO_4 [mg/L]	الأكسجين الممتص كيميائياً COD [mg/L]	الأكسجين الممتص حيوياً BOD_5 [mg/L]
عند بداية الدراسة	0.63	0.12	0.37	7.5	16.0	25.0
عند نهاية الدراسة	0.72	0.16	0.11	1.2	12.0	Nil



الشكل 4-4: سلوك الملوثات الكيموحيوية في بئر المراقبة المائية في منطقة الدراسة قبل و بعد التجربة.

الفصل الخامس

أداء البطانة الجيوبلاستيكية

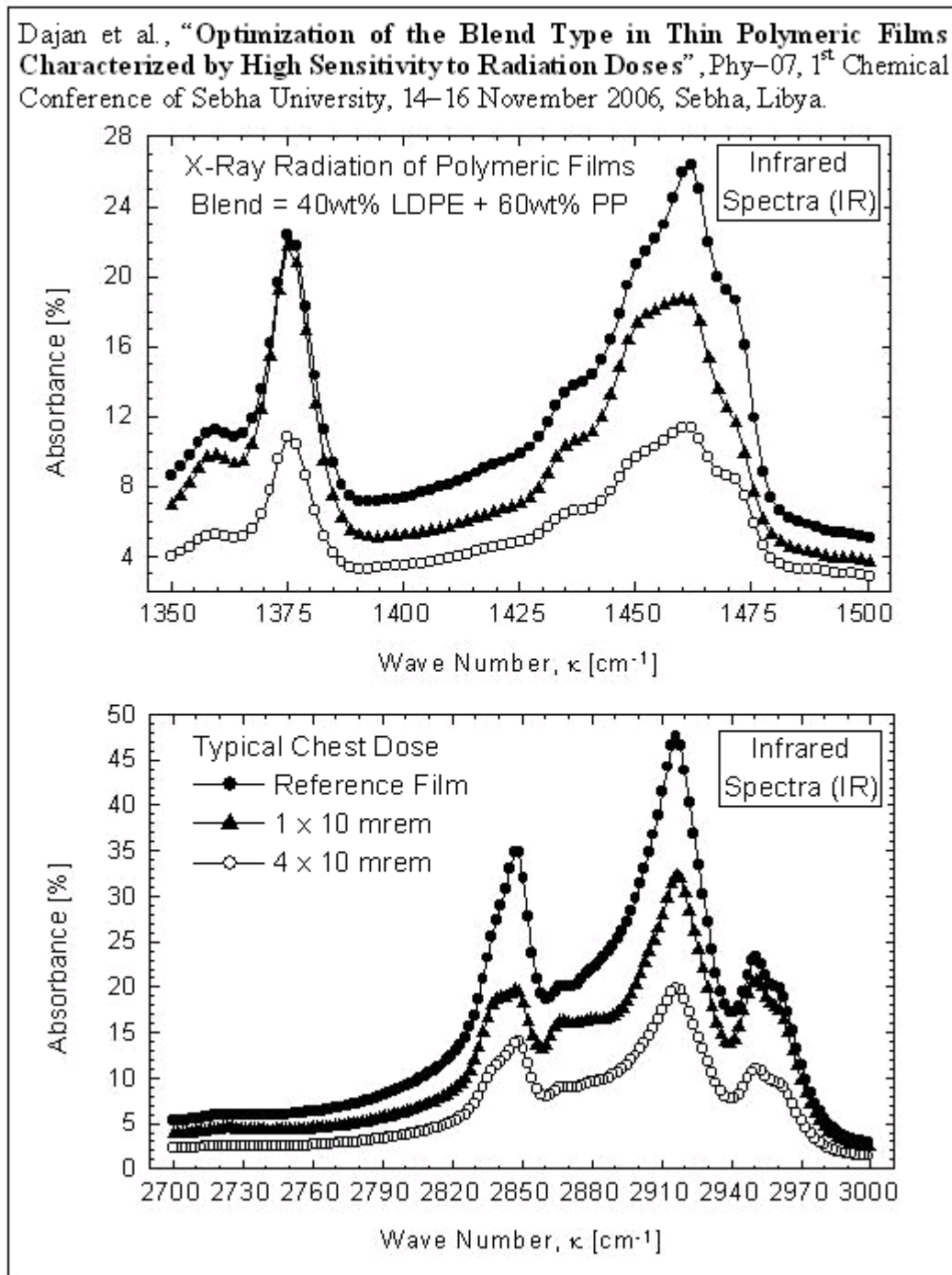
Performance of Plastic Geomembranes

1-5 دواعي إختيار مادة البطانة الجيوبلاستيكية (Reasons for Choice)

أهمية هذا الجزء من الدراسة تكمن في المفهوم الذي تأسست عليه أهداف العمل التجريبي والذي يتلخص في إختيار بطانة تمنع تغلغل الملوثات من البئر الأسود الى الترب المحيطة به. فالإختيار يجب أن يأخذ في عين الاعتبار المحافظة على سكينة هذه الترب وعدم التسبب في أية إضطرابات بين طبقاتها. أى بمعنى أن الإضطرابات التي قد تحدث بسبب تقنيات التصريف والتفريغ قد تتسبب في إنبعاثات إشعاعية طبيعية وتراكمها على مدى السنين وهو ما يقلق العلماء في هذا المجال. هذا النوع من الإشعاعات يطلق عليها الإشعاعات الطبيعية للمواد المشعة (NORM) التي تنبعث من الطبقات الصخرية والترب الملوثة بكيمائيات على مدى السنين والتي منها على سبيل المثال اليورانيوم البوتاسيوم والراديوم والثوريوم. الأنشطة الإشعاعية لمثل هذه المواد ربما نستثني منها في المدن اليورانيوم الخام وربما يكون من بينها نظائر لبعض المعادن الثقيلة مثل الكوبالت والنحاس والرصاص. فنظير الرصاص يمكن له أن يتحول الي بولونيوم المعروف بشدة سميته والذي يتسبب في مشاكل صحية تؤدي الى الموت البطيء.

كل ذلك تم الأخذ به في مرحلة إختيار مادة البطانة وإستبيان الشروط التي يجب أن تتوفر فيها من حيث الوقاية والحماية في كل الإتجاهات. ففي أغلب الحالات، فإن البطانة تلعب دور محوري في حماية طبقات التربة المحيطة بالبئر الأسود ومنع تغلغل الملوثات نحو جداول المياه الجوفية. من ذلك، يبرز نوع مادة البطانة الذي يستثني المكونات الترابية أو الصخرية مثل الخرسانة والأسمنت التي قد تساهم في إضطراب طبقات التربة والسماح بنفاذ الماء الأسود من خلال المسامات. زد على ذلك صعوبة تغيير الجدران الداخلية للبطانة الخرسانية. على هذا الأساس تم إختيار مادة البطانة لتكون من بوليمر عديد الإثيلين المنخفض الكثافة (LDPE) كغشاء جيوبلاستيكي يتميز بالصلادة عند تعرضه لكيمياء تهشم المخلفات بشتى أنواعها [28] وسهولة التركيب في البئر الأسود والتغيير الدوري. كذلك،

فإن الأغشية البلاستيكية تتميز بإمتصاص ما يصدر عن المواد المشعة طبيعياً وصناعياً التي قد تدخل في تكوين مياه الصرف الصحي. ففي دراسة قام بها فريق بحثي أشرف على عمله المشرف العلمي لهذه الدراسة تبين أنه يمكن لرقائق بلاستيكية معينة أن تمتص الإشعاعات وأن تعمل كواقى منها (Shield) [21]. الدراسة المشار إليها بحثت في تأثير الإشعاع على مركب أوليفيني يتكون من نسبتيين مختلفتين من بوليمرات عديد الإثيلين المنخفض الكثافة (LDPE) وعديد البروبيلين (PP) كما هو في الشكل 1-5 [21].

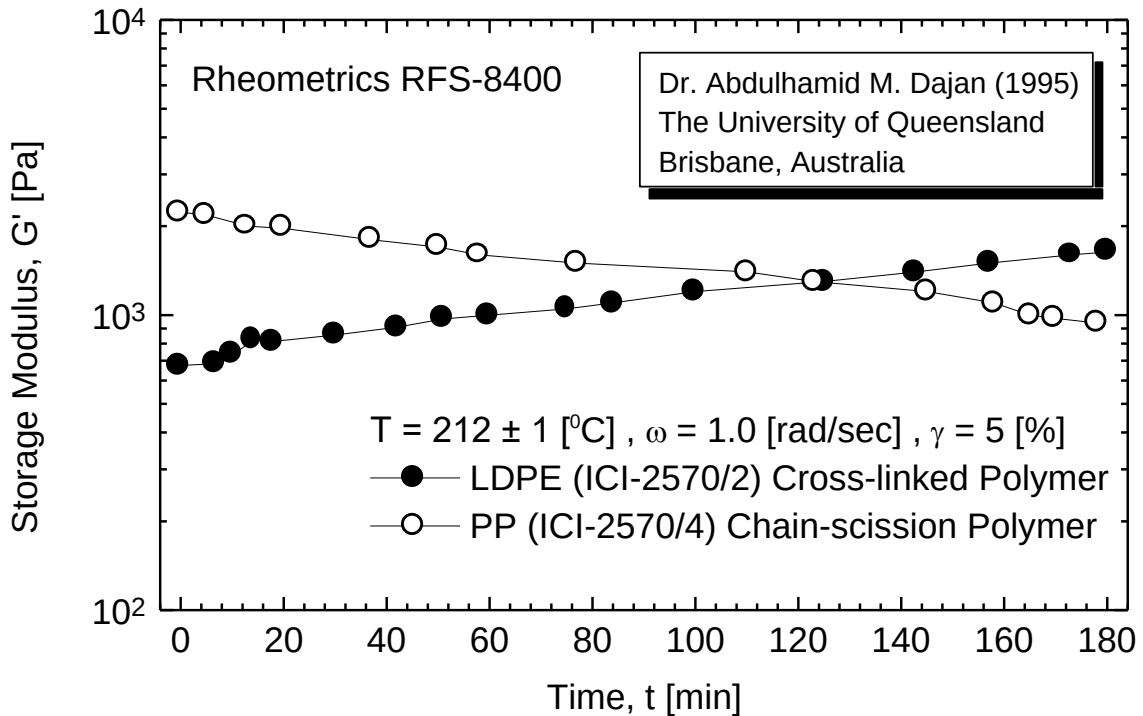


الشكل 5-1: أطياف إمتصاص الأشعة تحت الحمراء (IR – Infrared Spectras) لخلطة من البوليمرات الأوليفينية المتباعدة السلوك [21].

العامل الأخير في إختيار نوع مادة البطانة كان في سُمك الغشاء الجيوبلاستيكي حيث تم تحديده بسُمك يضمن عرقلة عملية تغلغل المُلوثات الكيميائية نحو طبقات التربة والتصدي لأية إشعاعات قد تُصاحب مياه الصرف الصحي. فقيمة السُمك الذي ربما له أن يُحقق كل هذه الشروط هو $\delta = 1.8 \text{ mm}$.

5-2 إختبار الأداء الكيموديناميكي لبطانة الجيوبلاستيك

الشكل 5-2 يعطي نتائج لإختبار الأداء الكيموديناميكي لمواد بلاستيكية مُستخدمة عند درجة حرارة تُمثل المُستوى الحراري لعمليات الإنتاج الصناعي الذي يصل إلى 212°C . المواد هي: (1) عديد الإيثيلين المنخفض الكثافة و(2) عديد البروبيلين. هذا النوع من الإختبارات يُساهم أولاً في معرفة إستجابة المادة البوليمرية للإجهادات الحرارية وذلك بمعرفة سلوك مُعامل المرونة (G') أو مُعامل التخزين كدالة في زمن الحركة المؤثرة على المادة البلاستيكية. ثانياً، هذا الإختبار يُعتبر المصدر الأساسي للمعلومات المُتعلقة بتوصيف التهشم الكيموحراري للمواد البوليمرية.



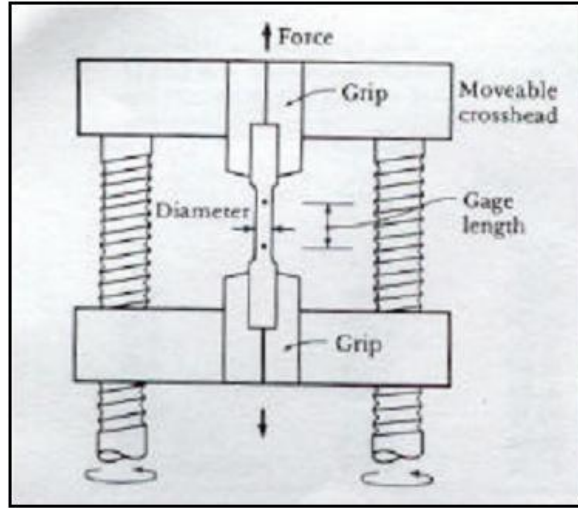
الشكل 5-2: سلوك الأداء الكيموديناميكي لبوليمرات عديد الإيثيلين المنخفض الكثافة وعديد البروبيلين.

ففي عدم وجود مُضافات لمُثبتات حرارية، يتضح من النتائج أن معامل المرونة لمادة LDPE بدأ في الزيادة بعد 8 دقائق من التعرض الحراري مما يُشير إلى حدوث تشابك (Cross-Linking) في السلسلة البوليميرية. استمرت هذه الزيادة إلى أن وصلت بعد 16 دقيقة إلى ميل بقيمة موجبة. هذا يعني أن زمن الحركة والتعرض لمادة LDPE يجب أن لا يزيد عن 8 دقائق وذلك حفاظاً على خواصها الكيموديناميكية والميكانيكية (اللزجة المرنة). على العكس من ذلك، نرى أن ميل العلاقة ($G'-t$) في حالة مادة PP يأخذ قيمة سالبة وهي خاصية إنشطار السلسلة البوليميرية (Chain-Scission) بفعل التعرض المُستمر لمستوى حراري عالي. الجانب الإيجابي لهذه الخاصية يكمن في تسهيل عمليات تحريك مادة عديد البروبيلين بأقل مقاومة للسريان وبالتالي أقل تكاليف. أما الجانب السلبي لخاصية الإنشطار، فإنه يتمحور في تفكك السلسلة البوليميرية وهجرة المكونات الكيميائية منها [15].

5-3 اختبارات إجهاد الشد للبطانة الجيوبلاستيكية

المواد البوليميرية أصبحت منافساً قوياً للمواد الإنشائية (Structural Materials) وذلك لإعتمادها على الخواص الميكانيكية (Mechanical Properties) المرغوبة من حيث قوتها ومرونتها إضافة إلى سهولة تصنيعها وقلة تكاليفها نسبياً. لذلك، تعتبر الخواص الميكانيكية للبوليميرات من أهم الخواص المادية من الجوانب التطبيقية. عليه، فإن التعامل مع مثل هذه المواد يتطلب خلفيات علمية أساسية تتعلق بالخواص الميكانيكية للبوليميرات من حيث التحوير الذي يُلائم المحددة لها. أي بمعنى أنه لكل صنف من تصنيفات المواد البوليميرية خواص معينة وأن هذه الخواص ليست مطلقة بل تتأثر وتعتمد على عدة عوامل متعلقة بالتكوين البنائي للسلاسل البوليميرية وعوامل أخرى من أهمها: (1) درجة حرارة المحيط و(2) زمن الإجهاد وسرعة الإجهاد (Rate of Stressing) و(3) سعة الإجهاد (Stress Amplitude).

إجهاد الشد يقصد به هنا مقاومة المادة للسحب أو للشد من طرف واحد أو أكثر ويعبر عنه عادةً بوحدة نيوتن لكل متر مربع (N/m^2) أو الرطل لكل بوصة مربعة (lbf/in^2). الشكل 5-3 يوضح الإعداد المعملّي لإختبار مقاومة إجهاد الشد.



الشكل 5-3: تطبيق قوة أحادية المحور (قوة الشد) على عينة من البلاستيك [28].

يمكن حساب إجهاد الشد الهندسي (σ_e Engineering Tensile Stress) بقياس القوة المؤثرة على وحدة المساحة للمقطع العرضي (Cross Sectional Area – A) وذلك من:

$$1.5 \dots \dots \dots \sigma_e = \frac{F}{A}$$

بالنسبة لمعامل الإستطالة الهندسي (ϵ_e) يمكن حسابه من قياسات التغير في الطول الأصلي (ΔL) نتيجة تعرض النموذج الإختباري لإجهاد الشد (σ_e) وذلك من:

$$2.5 \dots \dots \dots \epsilon_e = \frac{\Delta L}{L} \times 100 = \frac{L_f - L_i}{L_i} \times 100$$

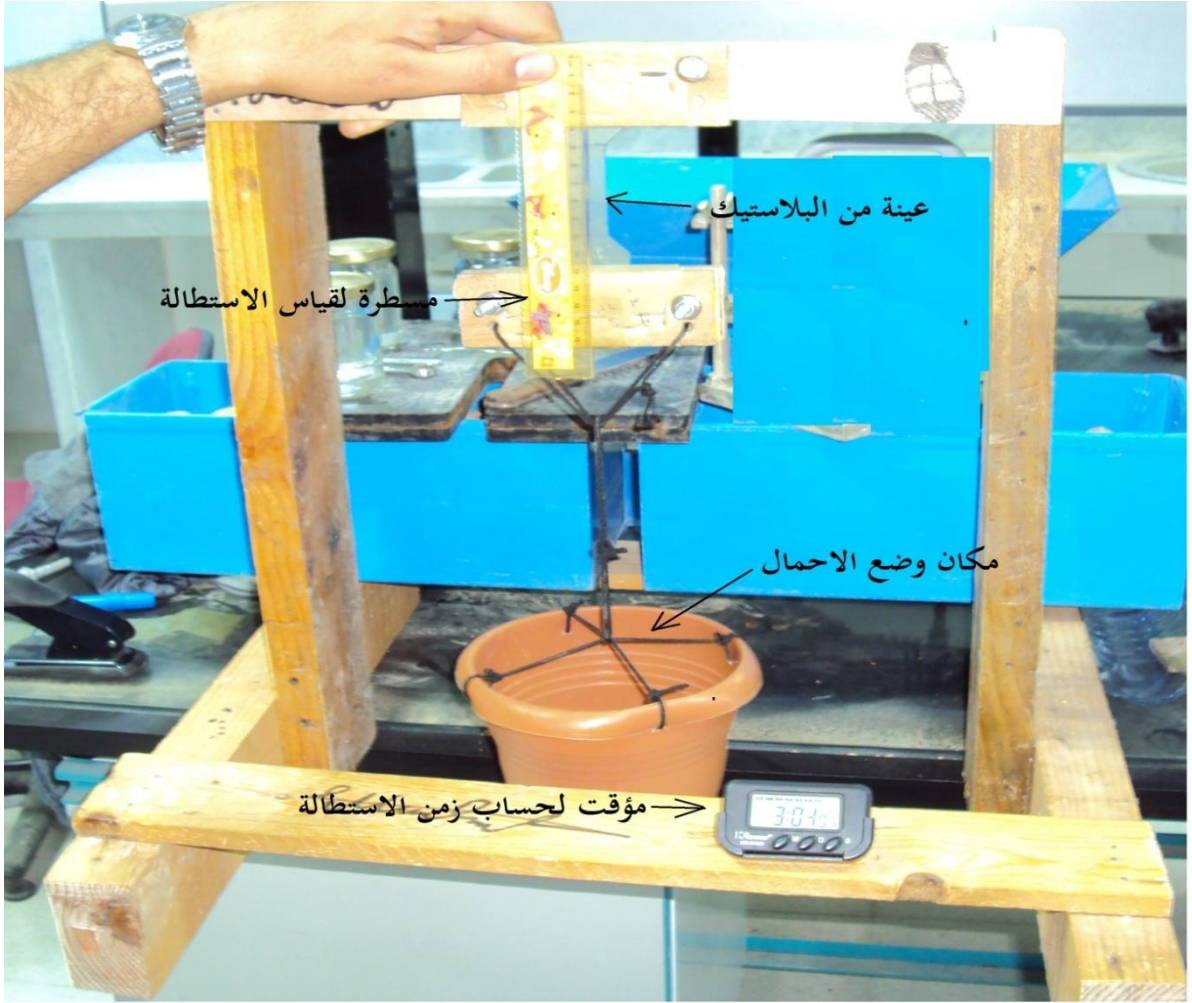
حيث أن L_i هو الطول الأصلي و L_f هو الطول النهائي.

أُجريت إختبارات مقاومة قوة الشد على عينات من أغشية عديد الإثيلين المنخفض الكثافة (LDPE) التي تُمثل البطانة الجيوبلاستيكية الأصلية (Virgin Samples) وكذلك على عينات من نفس بطانة التجربة البيئية (Exposed Samples) التي تعرضت فيها المادة البوليمرية لماء الصرف الصحي في البئر الأسود. تم تجهيز العينات لحالتي الأصل والتعرض طبقاً للمواصفات القياسية كما هو في الشكل 5-4.



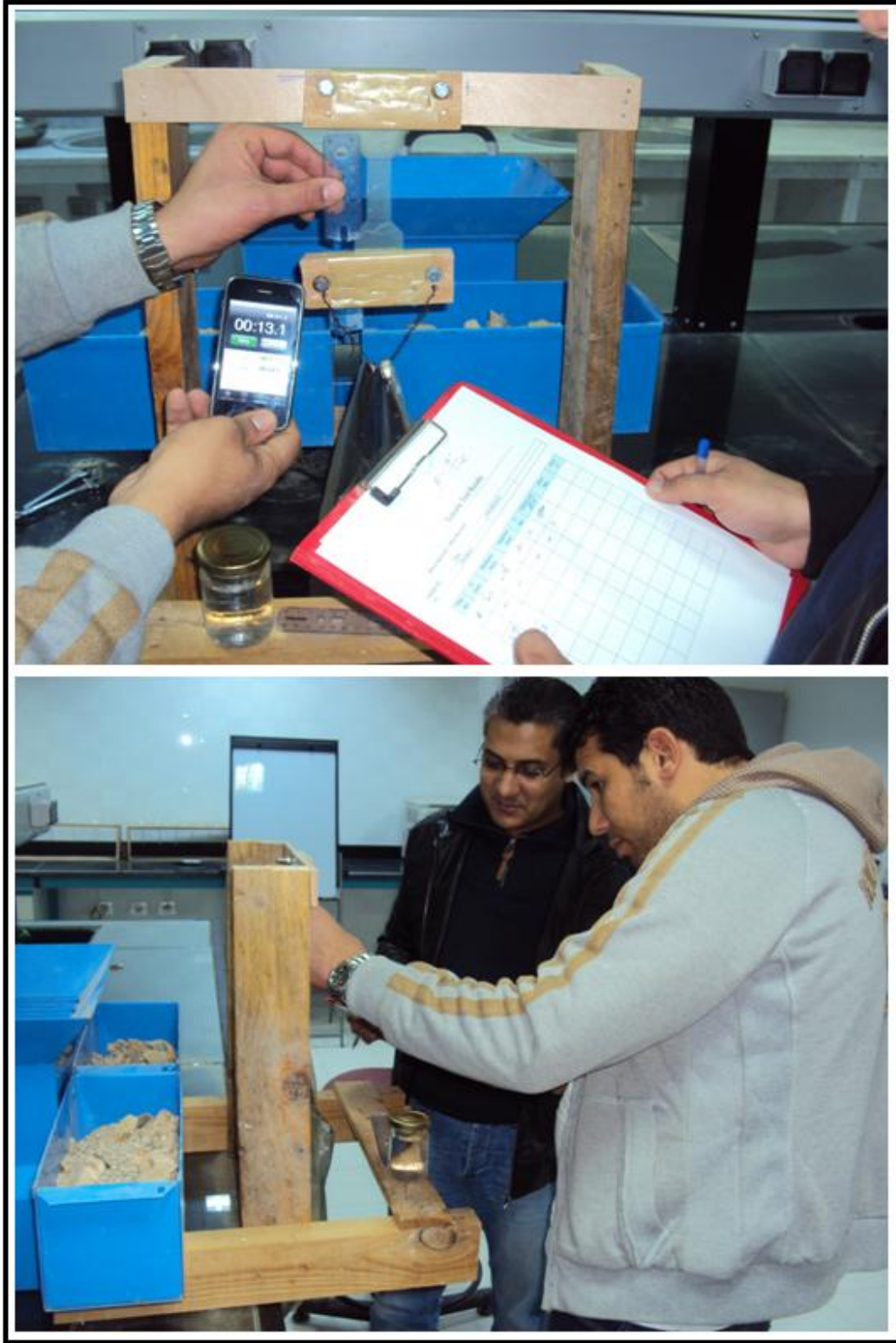
الشكل 5-4: الأشكال الهندسية القياسية للعينات المجهزة لإختبارات إجهاد الشد للبطانة الجيوبلاستيكية.

الإختبارات أُجريت وفقاً للمبادئ الأساسية لعلوم مقاومة المواد وذلك لعدم توفر أجهزة مُعايرة في المراكز المتخصصة بالإختبارات القياسية للمواد البلاستيكية. عليه، تم تصنيع نظام إختباري كامل من الخشب ليعمل كجهاز تجريبي مُثبتة في أعلاه العينة الإختبارية. الجزء الآخر من العينة مُعلق به وزن مُعين يقع تحت تأثير الجاذبية الأرضية حتى يعمل كقوة شد مؤثرة على العينة. الشكل 5-5 يوضح جهاز إختبارات مقاومة قوة الشد لعدد من عينات الأصل وعدد من العينات المعرضة للماء الأسود.



الشكل 5-5: جهاز وإعدادات إختبارات مقاومة قوة الشد لعينات البطانة البلاستيكية القياسية.

عدد العينات القياسية لكل من الأصلية (Virgin Samples) والمُعَرَّضة (Exposed Samples) التي تم إختبارها وصل إلى 10 عينات لأحمال عددها 20 وزن كمجموع للأنتقال في حالتي إختبار مقاومة قوة الشد للبطانة الجيوبلاستيكية. الأوزان بدأت من 750 جرام ($\text{Initial Load} \cong 7.36 \text{ N}$) ليستمر بعد ذلك وضع الأوزان إلى أن يحدث الإنهيار. النتائج المُتَحَصَّل عليها من هذه الإختبارات أُستُخدمت في حساب: (1) الإجهادات الهندسية والحقيقية و(2) الإنفعالات الهندسية والحقيقية و(3) معاملات المرونة و(4) نسب الإستطالة و(5) إجهادات الخضوع (Tensile Yield Strengths). الجهد المبذول في تجميع البيانات القياسية لهذه المُحددات تُسلط عليه الضوء الأشكال 5-6 و 5-7.



الشكل 5-6: صور تركيب عينات بلاستيك البطانة المُجهزة قياسياً في نظام إختبار إجهادات الشد.

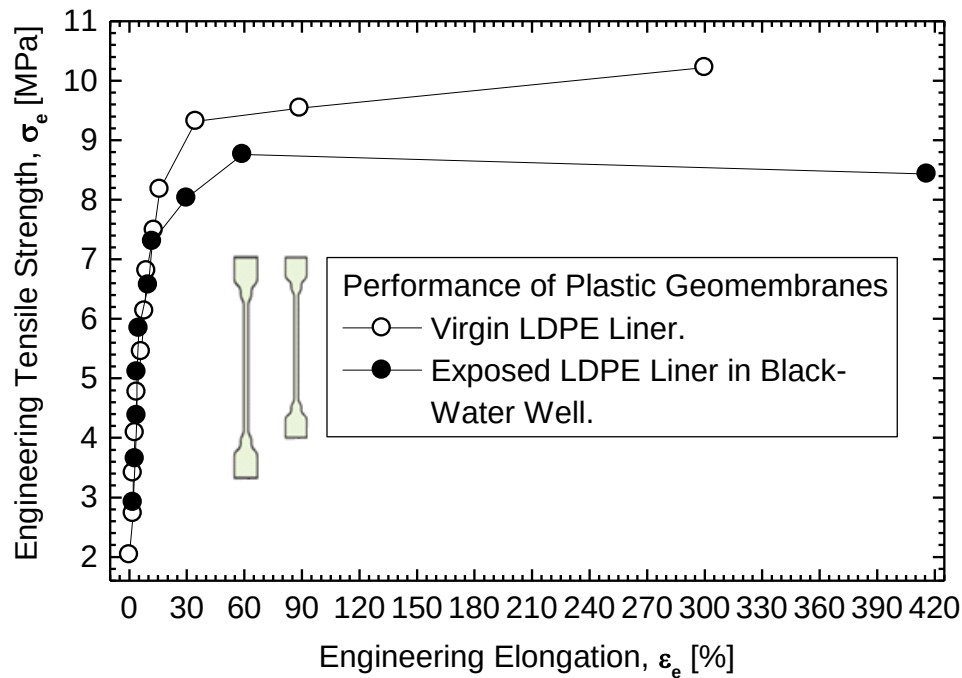


الشكل 5-7: صور أخذ بيانات إختبار إجهادات الشد الهندسية.

الجدول 5-1 يدرج النتائج الإختبارية للعلاقة الهندسية بين إجهاد الشد الهندسي والنسب المئوية لمعامل الإستطالة الهندسي الذي يُمثل نمط سلوكها الشكل 5-8 حيث يتضح أن مقاومة الشد لبلاستيك البطانة المُعرضة لماء الصرف الصحي في البئر الأسود أكبر من المقاومة التي أبدائها غلاف البطانة الأصلي.

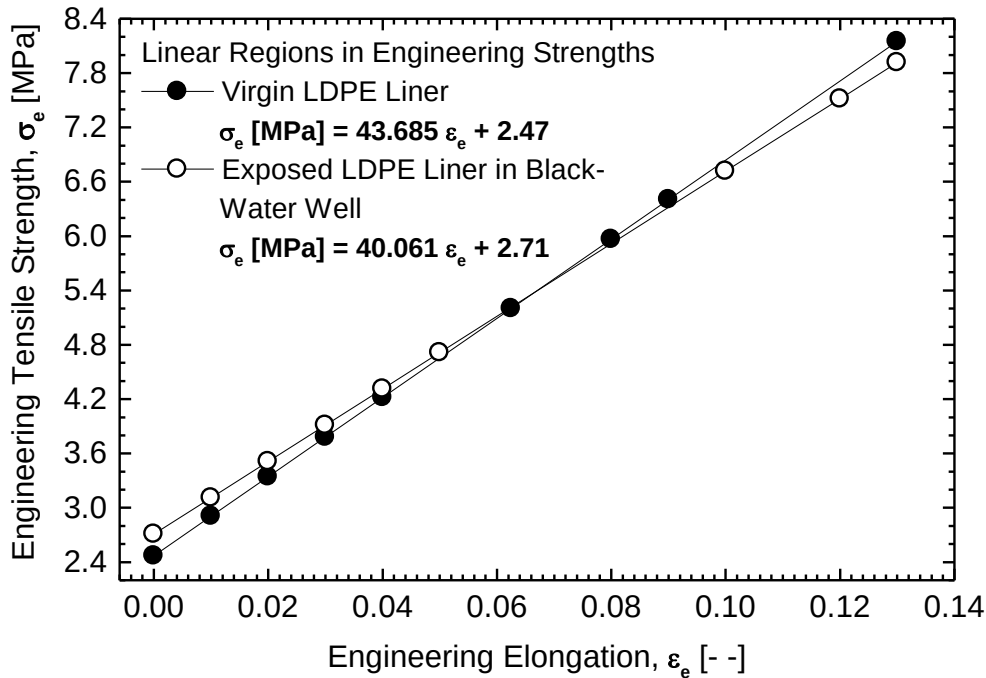
الجدول 5-1: نتائج إختبارات إجهاد الشد الهندسي للبطانة الجيوبلاستيكية لحالتي الأصل والمُعرض.

Virgin Liner			Used or Exposed Liner		
Sample No.	ϵ_e [%]	σ_e [MPa]	Sample No.	ϵ_e [%]	σ_e [MPa]
1	0	2.04	1	2	2.92
2	2	2.73	2	3.0	3.65
3	2	3.41	3	4.0	4.38
4	3	4.09	4	4	5.11
5	4	4.77	5	5	5.84
6	6.25	5.45	6	10	6.57
7	8	6.13	7	12	7.30
8	9	6.81	8	30	8.03
9	13	7.49	9	59	8.76
10	16	8.18	10	416	8.43
11	34.62	9.32			
12	89.00	9.54			
13	300.00	10.22			



الشكل 5-8: سلوك العلاقة بين الإجهاد والإستطالة الهندسيين لعينات البطانة الأصلية والمُعرضة.

النتائج المدرجة في الجدول 5-1 تُشير إلى أن الأفضلية كانت لبطانة البلاستيك المعرضة لكيماويات ماء الصرف الصحي في البئر الأسود. فعند مقارنة نقطة إنهيار العينة المعرضة بنظيرتها الأصلية، يتضح أن البلاستيك المعرض إنهار عند إستطالة $\epsilon_e = 416\%$ بمقاومة شد $\sigma_e = 8.43 \text{ MPa}$ بينما إنهارت عينة البلاستيك الأصلي عند إستطالة $\epsilon_e = 300\%$ بمقاومة شد $\sigma_e = 10.22 \text{ MPa}$ كقيمة قريبة جداً من قيمة مقاومة البطانة المعرضة. بالإضافة إلى ذلك، فإن البطانة المعرضة تظهر أكبر مقاومة لإجهادات الشد الواقعة في المنطقة الخطية (Linear Region) التي تؤخذ في توصيف معامل مرونة البلاستيك (أنظر إلى الشكل 5-2) والتي أقصى قيمة لمدى إستطالة فيها يصل إلى 6% كما هو في الشكل 5-9. مقاومة إجهادات الشد المناظرة في هذا المدى قد تصل إلى 5 MPa وهي أقصى قيمة مناسبة لظروف الأحمال المائية التي تتعرض لها بطانة جيوبلاستيكية طيلة ثمانية أشهر من وجودها في بئر الأسود.



الشكل 5-9: المنطقة الخطية في العلاقة بين الإجهاد والإستطالة الهندسيين للبطانة الأصلية والمعرضة.

إلى جانب ذلك، فإن تغير مقاومة البطانة المعرضة بعد 6% من الإستطالة في الشكل 5-9 يعني أن إستجابة عينات الأغلفة البلاستيكية للزيادة في الإستطالة تعكس تسابق مادي على الدخول لمدى المنطقة الغير خطية الذي يصل بإجهاد الشد إلى مرحلة الخضوع والذي يبدأ مداها من $\epsilon_e = 10\%$.

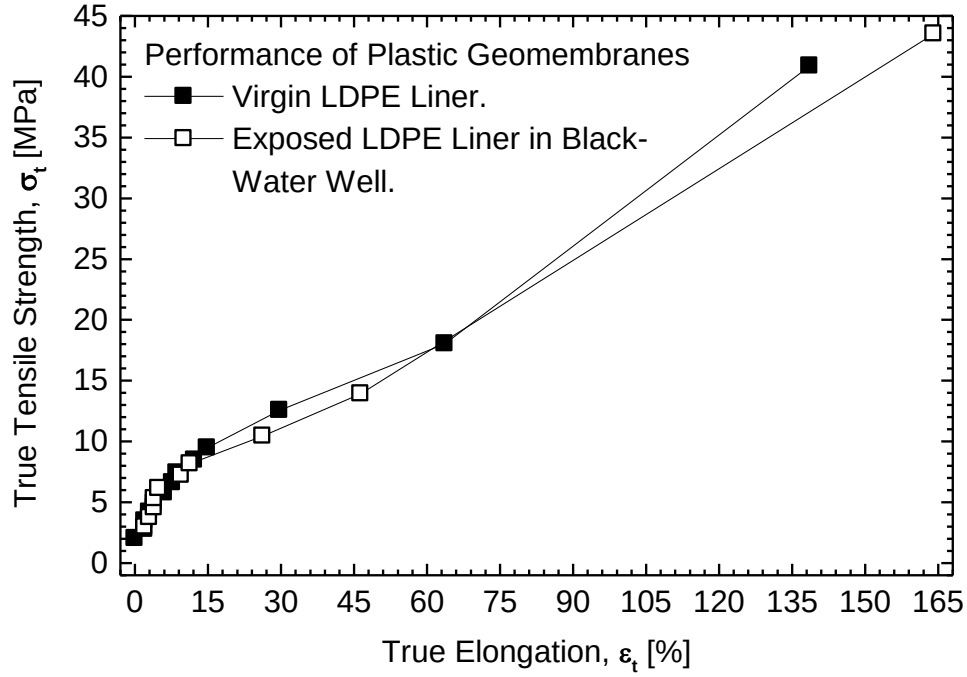
بالنسبة للحالة الحقيقية، فإن توصيفها يتطلب تصحيح الإستطالة الهندسية للحصول على إستطالة حقيقية (True Elongation – ϵ_t) ومن ثم حساب إجهاد الشد الحقيقي (True Tensile Stress – σ_t) وذلك بإستخدام العلاقتين التاليتين [27]:

$$3.5 \epsilon_t = \ln(1 + \epsilon_e) \quad \& \quad \sigma_t = (1 + \epsilon_e) \sigma_e \dots \dots \dots$$

الجدول 2-5 يعطي النتائج المُصححة لعلاقة الإستطالة الحقيقية (ϵ_t) بإجهاد الشد الحقيقي (σ_t) التي يُمثل نمط سلوكها الشكل 5-10 حيث تتأكد أفضلية البطانة الجيوبلاستيكية المُعرضة للماء الأسود في مُقاومة إجهاد الشد إلى الحد الذي عنده تبدأ المادة البوليمرية بالخضوع للأحمال المؤثرة عليها.

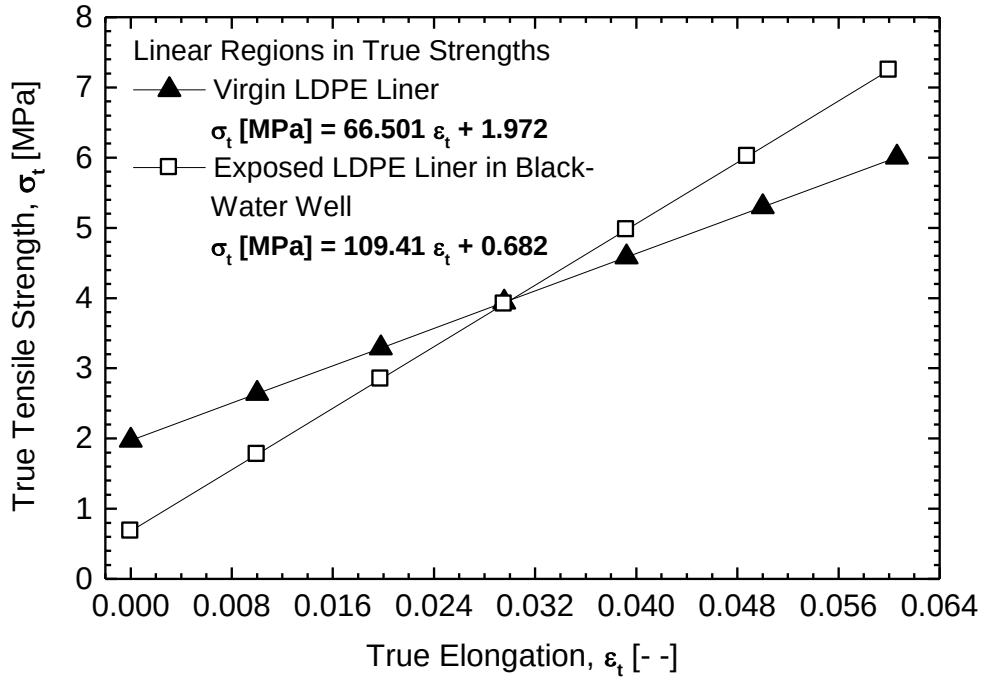
الجدول 2-5: نتائج حسابات التصحيح للإستطالة وإجهاد الشد الحقيقيين لبطانتى الأصل والمعرض.

Virgin Liner			Used or Exposed Liner		
Sample No.	ϵ_t [%]	σ_t [MPa]	Sample No.	ϵ_t [%]	σ_t [MPa]
1	0	2.04	1	1.980	2.98
2	1.980	2.78	2	2.956	3.76
3	1.980	3.47	3	3.922	4.55
4	2.956	4.21	4	3.922	5.31
5	3.922	4.96	5	4.879	6.13
6	6.062	5.79	6	9.531	7.23
7	7.696	6.62	7	11.333	8.18
8	8.618	7.43	8	26.236	10.44
9	12.222	8.47	9	46.373	13.93
10	14.842	9.48	10	164.094	43.52
11	29.725	12.55			
12	63.658	18.03			
13	138.629	40.88			



الشكل 5-10: سلوك العلاقة المصححة بين الإسطالة والإجهاد الحقيقيين لبطانتى الأصل والمعرض.

تعامل حالتي البطانة الجيوبلاستيكية مع الزيادة الكبيرة في الإسطالة يبدو مختلفاً في الشكل 5-10 حيث يحتاج إنهيار العينة المعرضة لماء الصرف الصحي في البئر الأسود إلى إسطالة $\epsilon_t \cong 164\%$ بمقاومة شد $\sigma_t \cong 44 \text{ MPa}$ بينما إنهارت عينة الأصل عند إسطالة $\epsilon_t \cong 139\%$ بمقاومة تقع في نفس مدى تأثير الشد $\sigma_t \cong 41 \text{ MPa}$. كل ذلك يعززه تحليل نتائج المنطقة الخطية (Linear Region) في الشكل 5-11 حيث تتضح بداية أفضلية العينة المعرضة عند إسطالة $\epsilon_t \cong 3\%$ لتستمر الأفضلية إلى مستوى مقاومة للشد قيمته $\sigma_t \cong 7.3 \text{ MPa}$ لإسطالة مقدارها $\epsilon_t = 6\%$.



الشكل 5-11: المنطقة الخطية في العلاقة بين الإجهاد والإستطالة الحقيقيين لبطانتني الأصل والمعرض.

الجدول 5-3 يراجع نتائج إختبارات إجهاد الشد للبطانة الجيوبلاستيكية وذلك من أجل المقارنة القياسية بما هو منشور عالمياً من بيانات فنية. قيم الإجهادات الهندسية عند نقاط الإنهيار لبوليمر عديد الإثيلين المنخفض الكثافة (LDPE) تقع في المدى القياسي الموثق في المراجع [30،31،32]. التوافق القياسي في حالة إجهادات الخضوع (Tensile Yield Strengths) يبدو قريباً جداً من المدى المتعارف عليه عالمياً حيث تتضح مطابقة النتائج لما هو منشور في السابق من أعمال دراسية وفنية. التوافق الآخر الذي لا يقل أهمية عن توافق البيانات الهندسية كان في سلوك كيمياء المادة البوليمرية بعد التعرض لماء الصرف الصحي في البئر الأسود. فتعامل البطانة الجيوبلاستيكية مع كيمياء الماء الأسود أكسبها خاصية الصلادة التي جعلتها تظهر أكبر مقاومة لإجهادات الشد في المنطقة الخطية والتي بها إزدادت الإستطالة اللازمة للإنهيار. هذا ما يتفق تماماً مع نتائج دراسة أسترالية أهتمت بموضوع أداء بوليمر عديد الإثيلين العالي الكثافة (HDPE) كغشاء جيوبلاستيكي يُستخدم في تغليف المكبات العامة لحماية التربة والمياه الجوفية من مخاطر السائل القمامي [28].

الجدول 5-3: مُراجعة نتائج إختبارات إجهاد الشد للبطانة الجيوبلاستيكية ومُقارنتها بالمدى القياسي [ASTM D 638 and ASTM D 882].

الخاصية (Property)	عينة الأصل (Virgin Sample)	العينة المتعرضة للماء الأسود (Exposed Sample)	المدى القياسي لبوليمر البطانة LDPE
الإجهاد الهندسي [MPa] (Engineering Stress)	10.22	8.43	16 – 4.1
الإجهاد الحقيقي [MPa] (True Stress)	40.88	43.52	---
إسقاطة الإنهيار [%] (Yield Elongation)	300	416	800 – 90
إجهاد الخضوع [MPa] (Yield Strength)	9.46	9.12	14.5 – 9

الفصل السادس

إستنباط العمر التصميمي للغشاء الجيوبلاستيكي Design Lifetime of Geomembrane (DL)

1-6 العمر التصميمي الآمن للبطانة البلاستيكية: الدواعي

التكوين الطبيعي لطبقات التربة تلعب دوراً هاماً في تحديد إتجاهات عملية الرشح (التغلغل) التي تتم بين محتويات البئر الأسود وتربة المحيط وذلك بسبب التباين المعروف بين أحجام حبيبات التربة ونمط الترابط الذي يأخذ شكل قنوات أو أنابيب إتصال تسمح بمرور الراشح (الماء الأسود) من خلالها. فمعدلات التدفق نحو طبقات التربة بطيئة وتتحكم فيها عوامل جيوديناميكية مثل الجاذبية الأرضية والخاصية الشعرية ومؤثرات التكوين الكيميائي للراشح من حيث الملوحة والعوالق الملوثة. الاختلاف بين العوامل الديناميكية والمؤثرات الكيميائية يرجع الى التصميم الإنشائي للبئر الأسود من حيث (1) السماحية بالرشح كما هو في معظم إنشاءات التصريف الحالية و(2) التبطين الداخلي الذي نادر ما يلجأ إليه الأهالي. الرشح في الحالة الأولى يعتمد على التكوين الكيميائي للراشح وهو ما يعني التلويث المباشر لطبقات التربة الذي يتم بالضغط الهيدروستاتيكي التي تسمح به فراغات التراصف الحبيبي كخاصية نفاذية التربة. هذه الخاصية تعرف بخاصية الموصلية الهيدروليكية وهي عامل التحكم في سرعة وصول الملوثات من البئر الأسود الى جداول المياه الجوفية. أهمية مثل هذه المعلومات تكمن في تحديد نوع البطانة الجيوبلاستيكية كخيار إنشائي يحمي التربة والمياه الجوفية من هذا النوع من الملوثات الخطرة وذلك للحد من إختراق مياه الصرف الصحي للجدران الداخلية للآبار السوداء. تحقيق هذه الغاية يتم أولاً بالتعرف على الخواص الميكانيكية والديناميكية لمادة التبطين حيث يساعد ذلك على تحقيق الهدف الثاني والأهم وهو عمر البطانة الجيوبلاستيكية.

هنا تجدر الإشارة الى دور خواص التربة من حيث التوزيع الحبيبي الذي يلعب دوراً هاماً في وضع العلاقة بين خواص المتغلغل وعملية التغلغل. فعلى سبيل المثال نجد النسبة العالية من الرمل تتميز بموصلية هيدروليكية مرتفعة بينما حبيبات ترب الغرين الناعم والطيني تتميز بمقاومة عالية لعملية تغلغل الملوثات وذلك بسبب شدة التماسك القائمة في هذا النوع من الترب (معامل تماسك عالي). هذا

ما يعرف بالشروط الجيوتقنية التي تلعب دور محوري في تحديد فعالية البطانة الجيوبلاستيكية من حيث التصدي لعملية الرشح والتقليل منها بأقصى ما يمكن من مزايا ميكانيكية وديناميكية. كل ذلك ينحصر في زمن مقاومة البطانة الجيوبلاستيكية لشدة كيمياء المياه السوداء أو ما يعرف هنا بالعمر الآمن للغلاف البلاستيكي الذي سوف يتضح دوره في ما بعد في الحماية والوقاية من مخاطر مكونات مياه الصرف الصحي. فالبطانة الجيوبلاستيكية تتميز عن نظيرتها البطانة الخرسانية بالتكوين المادي للمادة البوليمرية التي تنتمي الى العائلة الاوليفنية وهى من نوع عديد الإثيلين المنخفض الكثافة (LDPE) الذي يتميز بتوزيع وزن جزيئي يتسع لكيماويات مناظرة تزيد من مقاومته للجهودات الواقعة عليه (أنظر الى الفصل الخامس). هذا يوضح الفرق الجوهرى بين الخلطات البوليمرية والخرسانية وهو ما يؤكد سهولة تعامل كيمياء البلاستيك مع مكونات المياه السوداء. حصيلة هذا التعامل تكون لصالح الطبقة الجيوبلاستيكية وهذا ما سوف يتم التطرق إليه في هذا الفصل وذلك بتسليط الضوء على العلاقة بين المتغلغل والخواص الكيموديناميكية لمادة البطانة من أجل التعرف على العمر الآمن للغلاف البلاستيكي. إنجاز هذا الهدف يتم من خلال علاقة غير خطية بين زمن التغلغل وحجم المتغلغل. نجاح هذه العلاقة سوف يكون له أثر إيجابي على معايير إنشاءات مياه الصرف الصحي أو ما يعرف حالياً بالآبار السوداء من حيث تحديد الفترة الزمنية اللازمة لإستبدال بطانة جيوبلاستيكية بأخرى وذلك في غياب بنية تحتية تهتم بشبكات الصرف الصحي التي تحتاج إلى زمن طويل لإستكمالها.

الشكل 6-1 يؤكد على الحاجة الماسة لإستتباط العمر التصميمي للطبقة الجيوبلاستيكية وذلك بعد ثمانية أشهر من تعرض الغلاف البلاستيكي لحجم من المياه السوداء وصل إلى 3.549 m^3 حيث تتضح من الصور المقاومة العالية التى ابداءها الغلاف البلاستيكي للإجهادات الميكانيكية والمؤثرات الكيميائية عليه. المشاهدات العينية يمكن تلخيصها في التالي:

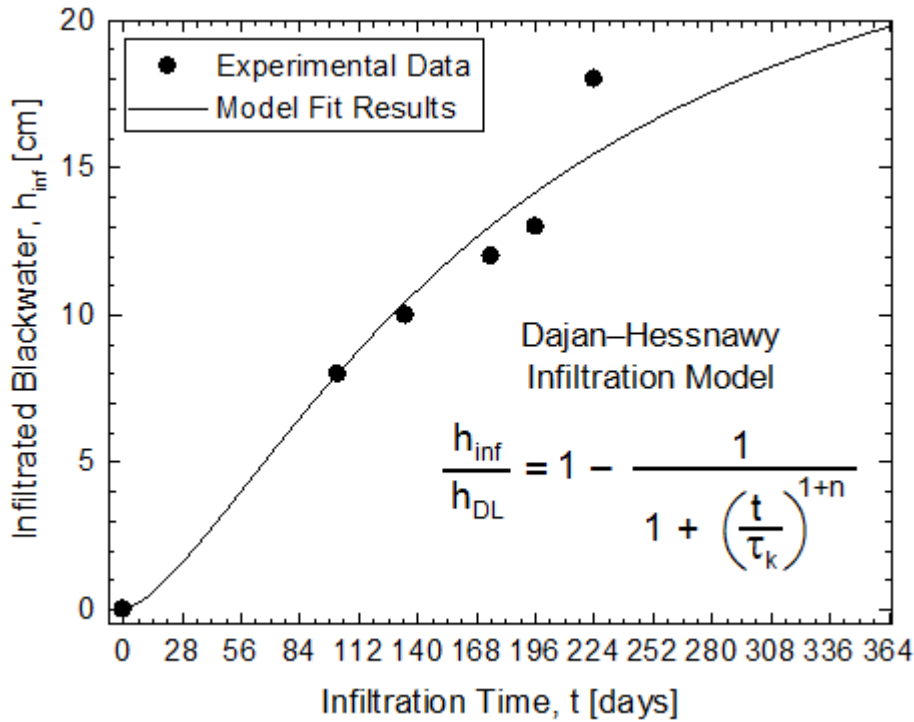
1. عدم وجود أية تبلل فى التربة الملاصقة لقاع البطانة مما يشير إلى توقف عملية تغلغل الماء الأسود أو عدم وجود آثارها في الفترة الزمنية التي وصلت إلى ثمانية أشهر.
2. لا يوجد تهشم في جدران البطانة البلاستيكية ناتج عن التعرض للماء الأسود والتمزق الواضح في الشكل 6-1 كان متعمد لغرض الكشف عن حالة الغلاف من حيث التغير في السمك بعد التغير في اللون من الأصفر الليموني إلى الأصفر الباهت.



الشكل 6-1: صور الكشف عن حالي التربة والبطانة الجيوبلاستيكية بعد تفريغ الماء الأسود.

2-6 العمر التصميمي للأمن للبطانة البلاستيكية: النمذجة

نمذجة العلاقة بين زمن التغلغل (t) والمتغلغل الذي يمثل المحور العمودي للماء الأسود (h_{inf}) تمت من خلال قياسات ميدانية للتغير في مستوى سطح الماء الأسود كدالة في الزمن. تطلب ذلك تجميع ستة بيانات يفصل بين القراءة الأولى والثانية 102 يوم وبين القراءة الثانية والثالثة 32 وبين القراءة الثالثة والرابعة 41 يوم و وبين الرابعة والخامسة 21 يوم وبين الخامسة والسادسة 28 يوم. مجموع أيام القراءات وصل إلى 224 يوم (7.47 شهر). الشكل 2-6 يوضح سلوك هذه البيانات في علاقة غير خطية بين زمن التغلغل والمتغلغل (ماء الصرف الصحي). الإستمرار في أخذ مثل هذه القياسات سنوياً قد يستغرق فترة زمنية تفوق الأربعة سنوات من أجل التوصيف الشامل للعلاقة بين زمن التغلغل والمتغلغل والوصول بالنتائج العملية إلى مرحلة تحديد العمر للأمن للبطانة.



الشكل 2-6: القياسات العملية اللازمة لتوصيف العلاقة بين زمن التغلغل والمتغلغل.

عليه، تم إستنباط نمط النموذج الرياضي الذي يُمثل سلوك النتائج العملية كما هو في المعادلة التالية حيث يتضح السلوك الغير خطي بدلالة الخواص الجيوكيميائية لعملية التصريف في البئر الأسود.

$$1.6.... \quad \frac{h_{inf}}{h_{DL}} = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{t}{\tau_k}\right)^{1+n}} \quad \dots\dots\dots \text{Dajan-Hessnawy Infiltration Model}$$

هذه المعادلة تمثل واقع تعامل البطانة البلاستيكية مع كيمياء الماء الأسود من خلال ثوابت وعوامل يمكن وصفها في ما يلي:

h_{inf} : مسافة تغلغل الماء الأسود في التربة.

h_{DL} : عمر التصميم (Design Life) الخاص بطبقة التغليف البلاستيكية.

t : الزمن اللازم لتغلغل حجم من ماء الصرف الصحي في التربة المحيطة بالبئر الأسود.

τ_k : زمن خصوصية تعامل التكوين المادي للغلاف البلاستيكي مع الحمل الواقع عليه وكيمياء البئر الأسود الملامسة له.

n : المؤشر الديناميكي الذي يُمثل حركة السلاسل البوليمرية في الحالة المادية التغليف.

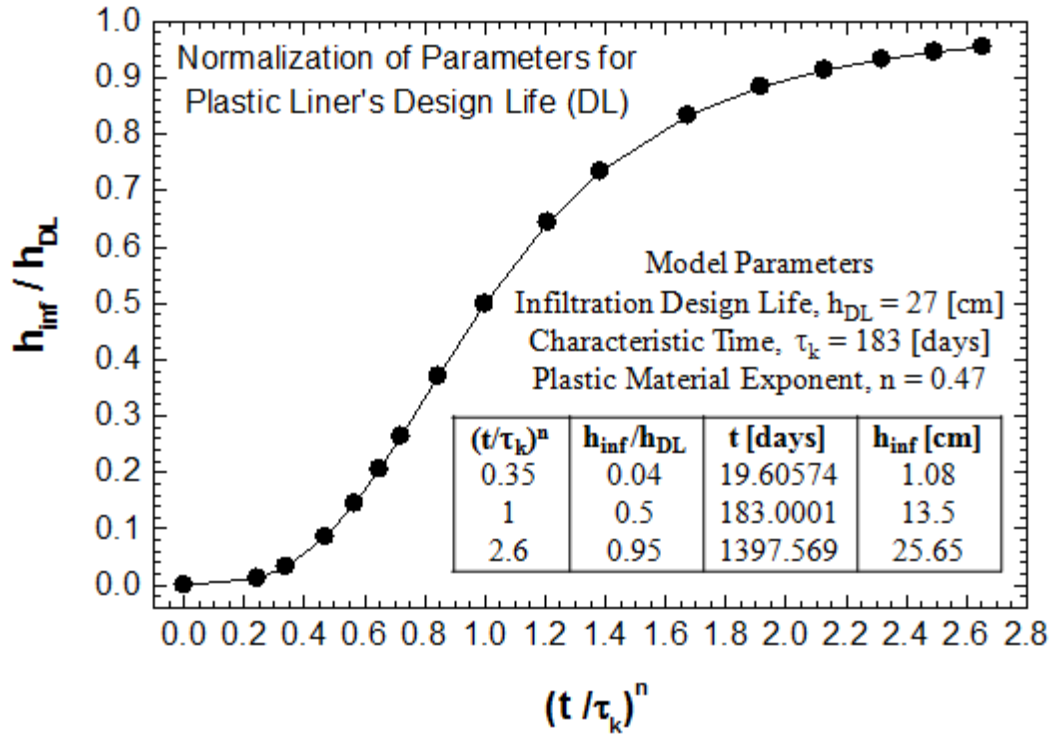
الجدول 1-6 يعطي قيم ثوابت تلبس نتائج التغلغل في الشكل 1-6.

عمر التصميم h_{DL} [cm]	زمن خصوصية التكوين المادي τ_k [days]	المؤشر الكيموديناميكي للبلاستيك n [- -]
27	183	0.47

3-6 العمر التصميمي الآمن للبطانة البلاستيكية: العمر الحقيقي

هذه الجزئية تختص بتطبيق النموذج الذي تم صياغته في الجزء 1-6 وذلك بالإستفادة من مفهوم تطبيع العلاقات بين العوامل (Normalization of Parameters) التي تلعب دور أساسي في توصيف عملية تغلغل مياه الصرف الصحي نحو طبقات التربة المحيطة بالبئر الأسود. عليه، فإن

خطوات تحديد العمر الفعلي لبطانة البلاستيك يجب أن تنتهي في علاقة تربط بين $\left(\frac{t}{\tau_k}\right)^n$ على المحور الأفقي و $\frac{h_{inf}}{h_{DL}}$ على المحور الرأسي كما يصفها الشكل 3-6. بهذا المفهوم يمكن التنبؤ بعمر البطانة (Liner's Age Prediction) وذلك من معلومات تدل على الزمن بالأعوام كنتيجة متوقعة من غلاف بلاستيكي يتميز بمقاومة عالية للماء الأسود لفترة طويلة المدى.



الشكل 3-6: دور معاملات نموذج التغلغل في تحديد العمر الحقيقي للبطانة الجيوبلاستيكية.

سلوك النتائج في الشكل 3-6 يشير إلى أن العوامل h_{DL} و τ_k و n فرضت على بطانة البلاستيك وجوب المرور بثلاثة مراحل حتى يتم التعرف على العمر الحقيقي وذلك كالتالي:

1. المرحلة الأولى

هذه المرحلة تبدأ عند المدى $\left(\frac{t}{\tau_k}\right)^n = 0.0 - 0.35$ حيث نطلق عليها هنا المنطقة التي تلي مباشرة عملية تعبئة البئر بالماء الأسود والتي تتميز بعدم إنباه البطانة الجيوبلاستيكية لوجود مادة أخرى ملازمة له. يستمر هذا الوضع إلى حوالي 20 يوم (19.61 Days). السبب في ذلك يرجع إلى أن التكوين الكيميائي لمياه الصرف الصحي يغلب عليه الماء كمحتوى أساسي. بعد 20 يوم يظهر نشاط المكونات الأخرى في عملية هضم بدون أكسجين (Anaerobic Digestion).

2. المرحلة الثانية

في هذه المرحلة تتضح معالم تعامل البطانة مع الماء الأسود في المدى $0.35 - 1.0$ حيث $\left(\frac{t}{\tau_k}\right)^n$ يظهر تأثير العاملين τ_k و n على عملية التغلغل من حيث التصدي لتغلغل الماء الأسود نحو طبقات التربة بمقاومة تبطل مفعول كيمياء الصرف الصحي. يستمر هذا النمط من التعامل حتى تصل العلاقة بين t و τ_k و n إلى ميل ثابت يُمثل سيطرة كيمياء البوليمر على كيمياء الماء الأسود وذلك بالنظر إلى ضخامة الجزء الوزني للماء في تكوين مياه الصرف الصحي. اجتياز هذه المرحلة يضمن نجاح البطانة في توقيف عمليات التغلغل.

3. المرحلة الثالثة

هذه المرحلة تأخذ المدى $1.0 - 2.6$ $\left(\frac{t}{\tau_k}\right)^n$ الذي فيه يتغير ميل العلاقة بين زمن التغلغل والمتغلغل إلى أن يصل بآلية التعامل إلى حالة الإستقرار التي تتلاشي عندها كل المؤثرات الكيميائية والتي عندها يمكن التعرف على عمر الغلاف البلاستيكي كنتيجة حتمية. بذلك، يمكن تحديد العمر الحقيقي للغلاف البلاستيكي من $2.6 = \left(\frac{t}{183}\right)^{0.47}$ الذي هو $t \cong 1398 \text{ days} \cong 3.8 \text{ years}$. أي بمعنى أنه من المُستحسن تغيير الغلاف البلاستيكي بعد حوالي أربعة سنوات وذلك لتفادي تهشم جدران البطانة بفعل الزيادة في تراكيز المُعلقات الكيميائية والبكتيرية.

الفصل السابع

الإستنتاجات والتوصيات

خلصت هذه الدراسة بعدد هام من الإستنتاجات والتوصيات التي تهدف إلى وضع أُسس علمية للحد من تغلغل مكونات مياه الصرف الصحي من الآبار السوداء إلى ترب المحيط والمياه الجوفية. استدعى ذلك تقديم حلول علمية لإستمرار لجوء الأهالي إلى التصريف الصحي في الآبار السوداء في غياب بنية تحتية تهتم بمثل هذه الظاهرة. هذه الحلول وما أنبثق عنها من توصيات يمكن تلخيصها في التالي:

7-1: الإستنتاجات

1. تصنيف التربة في موقع الدراسة عبارة عن تربة رملية مع الغرين في وجود بعض الحصى وتعتبر التربة السطحية فيها تربة ردم بينما الطبقة الثانية هي من التربة الطبيعية ولها تقريباً نفس الخواص.
2. تصنيف التربة في قاعدة البئر الأسود تم طبقاً للأنظمة الأكثر شيوعاً مثل AASHTO و USCS.
3. قياسات الوزن النوعي للتربة في منطقة الدراسة مطابقاً لما هو معروف في خواص التربة حيث وصلت قيمته إلى 2.633 كنسبة بين كثافة التربة الجافة وكثافة الماء.
4. توافق نتائج أختبارات قيم النفاذية لتربة قاعدة البئر الأسود في المدى 10^{-7} – 10^{-4} m/sec حيث كانت قيمة النفاذية $k_{corrected\ to\ 20^{\circ}C} = 1.22 \times 10^{-6}$ m/sec وهي القيمة التي تدل على التصنيف من المنخفض الى متوسط النفاذية.
5. إختبارات دمك التربة للحالات الدراسية أكدت على أن أقصى كثافة جافة لتربة القاعدة الأرضية للبئر الأسود هي 1.706 g/cm^3 لمحتوى الرطوبة المثالي 10.4%.
6. القيمة الإختبارية لنسبة تحميل كاليفورنيا (California Bearing Ratio – CBR) كمقياس لقابلية قاعدة البئر الأسود للإستعمالات الهندسية وقعت في المدى 20–50% وهو ما يعني أن التربة المدروسة جيدة المقاومة للإختراق قبل أن يحدث لها فشل أو إنهيار.
7. تحديد قوة التماسك بين الحبيبات (Cohesioness) وزاوية إحتكاكها (ϕ) ساعد في حساب سعة التحميل المسموح بها للتربة (Allowable Bearing Capacity – q_{all}) حيث كانت قيمتها أكبر من الضغط الهيدروستاتيكي للماء الأسود.

8. نتائج التوزيع الحبيبي للتربة قبل وبعد التجربة البيئية تُشير إلى أن تصنيف التربة يبقى ضمن نفس المجموعة التصنيفية التي هي **SM – Silty Sand**.
9. لا يوجد تغير في الخواص الفيزيائية للتربة قبل وبعد التجربة البيئية وذلك بناءً على نتائج الاختبارات المعملية التي أشارت إلى عدم وجود مؤثرات خارجية على طبقات التربة.
10. يوجد تطابق بين النتائج المعملية للمحتوى الرطوبي قبل وبعد التجربة البيئية والمحتوى الرطوبي المثالي بينما يوجد فرق بسيط بين قيم أقصى كثافة جافة.
11. نتائج التحليل الكيميائي لعينات ماء جوفي من بئر مراقبة التلوث في منطقة الدراسة تؤكد على الحاجة لتبطين الآبار السوداء بعوازل تمنع تغلغل هذا النوع الخطير من الملوثات.
12. التخريط الكنتوري لمنطقة الدراسة تُعزز نتائج التحليل الكيميائي للعينات المائي لبئر مراقبة تلوث المياه الجوفية حيث تتضح شدة التلوث في هذه الرقعة الجغرافية.
13. إختيار مادة بطانة العزل في البئر الأسود تم على أساس أن المواد الترابية أو الصخرية كالخرسانة والأسمنت تساهم في إضطراب طبقات التربة والسماح بنفاذ مياه الصرف الصحي من خلال المسامات.
14. الأغشية البلاستيكية تتميز بالتصلد عند تعرضها لكيمياء الماء الأسود وإمتصاص الأشعة الصادرة عن المواد المشعة طبيعياً وصناعياً التي قد تدخل في تكوين مياه الصرف الصحي.
15. سهولة تركيب الأغشية البلاستيكية وتغييرها دورياً ساعد أيضاً على إختيار بوليمر عديد الإثيلين المنخفض الكثافة (**LDPE**) ليعمل كبطانة جيوبلاستيكية في التجربة البيئية بسُمك $\delta = 1.8 \text{ mm}$.
16. مقاومة إجهادات الشد للبطانة الجيوبلاستيكية المعرضة لماء الصرف الصحي في البئر الأسود أكبر من مقاومة نفس الإجهادات التي أظهرتها البطانة الأصلية.
17. الأفضلية المادية في العلاقة بين الإستطالة ونقطة الإنهيار (**Failure Point**) كانت لصالح البطانة البلاستيك المعرضة لكيمياء الماء الأسود.
18. مقاومة إجهادات الشد في المنطقة الخطية (**Linear Region**) كانت أيضاً لصالح البطانة المعرضة وهو ما يتفق مع مدى الإستطالة الخطي للمواد البوليمرية.
19. تصحيح العلاقة الهندسية بين الإستطالة وإجهاد الشد بعلاقة حقيقية أكد على أفضلية البطانة الجيوبلاستيكية المعرضة للماء الأسود في مقاومة تأثير إجهادات الشد.
20. اتفقت القيم الإختبارية لإجهادات الشد الهندسية عند نقاط الإنهيار لبوليمر عديد الإثيلين المنخفض الكثافة (**LDPE**) مع المدى القياسي المعروف في صناعة الأغلفة البلاستيكية.
21. تطابقت نتائج إجهادات الخضوع (**Tensile Yield Strengths**) مع المدى المتعارف عليه عالمياً الموثق في الأعمال الدراسية والفنية.

22. البطانة الجيوبلاستيكية أكتسبت خاصية الصلادة بعد تعرضها لكيمياء الماء الأسود في فترة زمنية لا تزيد عن ثمانية أشهر وهو ما زاد من مقاومتها لإجهادات الشد وهو ما يتفق مع نتائج لدراسات تهتم بتصميم المكبات البلدية.
23. المشاهدات العينية حول أداء البطانة الجيوبلاستيكية أكدت على عدم تبلل التربة المُلصقة لقاع البطانة وعدم وجود تهشم أو تآكل في جدرانها الخمسة.
24. النتائج العملية للعلاقة بين زمن التغلغل والمُتغلغل المُقاس على المحور العمودي لماء الصرف الصحي في البئر الأسود لعبت دور محوري في تحديد العمر التصميمي للبطانة الجيوبلاستيكية بنموذج رياضي يصف عملية التغلغل بدلالة الخواص الجيوكيميائية.
25. نمذجة عملية التغلغل تمت بمسلك تطبيع المُحددات (Normalization of Parameters) المُتحكمة في المراحل التي تمر بها بطانة البلاستيك خلال تعرضها للماء الأسود.
26. البطانة الجيوبلاستيكية في البئر الأسود تمر بثلاثة مراحل تبدأ من مرحلة التعارف الكيميائي وتنتهي في مرحلة الإستقرار التي يتم فيها تحديد العمر الفعلي للبطانة.
27. تماسك التكوين المادي لبطانة البلاستيك من حيث النفاذية يُميزها عن نظيرتها الخرسانية في استخدامات الحماية والوقاية من تغلغل كيمياء الماء الأسود نحو طبقات التربة والمياه الجوفية.

7-2: التوصيات

1. النموذج الإنشائي لبئر التجربة البيئية يجب أن يكون في موقع خالي تماماً من آبار تصريف المياه السوداء والمُخرجات المائية للمصانع والمستشفيات حتى يتسنى للدارس إلحاق بئر مراقبة المياه الجوفية بتجربة أداء البطانة الجيوبلاستيكية في عملية تغلغل الملوثات.
2. الحرص على تراسف وسكون طبقات التربة قبل تعبئة بئر التجربة الأسود وذلك للتقليل من نسبة الفراغات الهوائية عند حدود أقصى كثافة جافة ومحتوى مائي مثالي.
3. الإهتمام بدور خاصية تماسك التربة وزاوية الإحتكاك بين الحبيبات في حساب معامل جوانب طبقات الترب في البئر الأسود وذلك لتفادي حدوث إنهيارات جانبية.
4. تدعيم جوانب البئر الأسود وعلى وجه الخصوص في الطبقات العليا لترب الردم لما تحتويه من رمال مُفككة قد تتسبب في تسريع إنهيار الجدران الداخلية وتحفيز عملية التغلغل.
5. تفادي إختيار الترب الطينية القابلة للإنتفاخ في حالة التشبع عند تعرضها للمياه السطحية والإنكماش في حالة الجفاف.

6. مجموع الفترات الزمنية لقياسات تغلغل الماء الأسود يجب أن لا يقل عن عام من بداية التجربة وذلك لتوصيف المدى الزمني لصلاحية البطانة الجيوبلاستيكية في نظام تلويث مُغلق من حيث العمر الفعلي وقوة مقاومة البطانة للمؤثرات الكيموديناميكية.
7. إضافة دور التغير في سُمك بطانة البلاستيك إلى أدوار المُحددات الأخرى في النموذج الرياضي باختبارات تشمل أكثر من سُمك في تجارب مُفاضلة يتم بواسطتها تحديد السُمك الذي يضمن توقيف عملية تغلغل الملوثات الكيموحيوية والذي يُمكن له أن يتصدي لأية إشعاعات قد تُصاحب الماء الأسود.
8. توظيف أغشية البلاستيك التي تتكون من خلطات لمركبات بوليمرية متباينة والتي تتميز بامتصاص الإشعاعات الطبيعية والصناعية في تبطين الآبار السوداء.
9. البحث في التغير الإيجابي لصلادة البطانة الجيوبلاستيكية بعد تعرضها لكيمياء الماء الأسود وذلك بقياسات تهتم بتوزيع الوزن الجزيئي (**Molecular Weight Distribution – MWD**) في المادة البوليمرية.
10. مقارنة نتائج أداء بطانة البلاستيك المُستخدمة في هذه الدراسة بنتائج لدراسات مُستقبلية تهتم بأداء خلطة الخرسانة اللدائنية في الآبار السوداء.

المُلحقات

المُلحق رقم 1

المفاهيم الأساسية

المُلحق 1-1: معاني المصطلحات العلمية والفنية

الجدول التالي يُسلط الضوء على أهمية فهم المعاني العلمية والفنية للمصطلحات اللغوية الفردية والمركبة التي تم الإشارة إليها في مواضع مختلفة أثناء كتابة هذه الأطروحة:

المصطلح	المعنى
الآبار السوداء	1. آبار مغلقة تبدأ بإنشاء لحفر تُرابية على شكل مُضلع بأبعاد هندسية يتراوح عمقها بين 2 – 4 متر وطولها بين 4 – 8 متر وعرضها بين 3 – 5 متر. 2. آبار مكشوفة مُهيئة لجريان المياه السوداء في جداول تُرابية مُعرضة للهواء الجوي.
المياه السوداء	مياه المجاري المنزلية والعامة المربوطة مع الآبار السوداء أو شبكات الصرف الصحي وتُعرف بالسوداء نظراً للتفاعلات الكيموحيوية التي تنتج عنها عوادم كربونية تكسبها لون أسود في الآبار المغلقة ولون رمادي في الآبار المكشوفة.
التلوث	عامل ضرر وتشويه مباشر أو غير مباشر للخواص والصفات التي تتميز بها المادة الطبيعية والمادة المُستخدمة صناعياً.
التغلغل	رشح لسوائل أحادية الطور أو متعددة الأطوار من خلال طبقات التربة المختلفة وتُقاس حدته بمعرفة زمن المرور وهو ما يُعرف بمعدل الرشح أو معدل التغلغل.
السائل القمامي	هو سائل ينتج مباشرة من الرطوبة وتحلل المخلفات العضوية التي تتخلل النفايات الصلبة (MSW) في مواقع دفن النفايات ولكن معظمها يأتي من مياه الأمطار أو من المياه السطحية والتي تترشح في المخلفات ثم تتسرب إلى أسفل خلالها.
النترجة	هي العملية التي فيها يتحول النتروجين في شكل أمونيا NH_4 إلى نيتروجين النترات، هذه ذات أهمية خاصة في الحد من تلوث المياه.
التغلغل	رشح لسوائل أحادية الطور أو متعددة الأطوار من خلال طبقات التربة المختلفة وتُقاس حدته بمعرفة زمن المرور وهو ما يُعرف بمعدل الرشح أو معدل التغلغل.

المُلحق 1-2: ميكانيكا التربة

التربة تعتبر من أقدم المواد الإنشائية التي عرفها الإنسان فلقد صنع منها الإنسان البدائي أدواته ومستلزماته سواء في العمل أو في الأكل أو في السكن. وحينما عرف الإنسان المباني سواء كانت سكناً أو مقابر أو معابداً تعامل مع التربة على أنها مادة تأسيس فكان يختار التربة المناسبة لتحمل المبنى الذي يريده. ومنذ خمسة آلاف عام بنى المصريون القدماء الأهرام واختاروا موقع البناء على أرض قوية هي هضبة الأهرام . ورغم قدم التعامل مع التربة سواء كانت مادة إنشائية أو مادة تأسيس إلا أن التربة كعلم لم يظهر إلا في بداية القرن العشرين. ويرجع الفضل في ظهور ميكانيكا التربة كعلم للعالم الألماني كارل ترزاجي بعد ظهور مؤلفه عام 1925 والذي تناول فيه موضوعات هامة في مجال التربة الجدول التالي يحصر العوامل الطبيعية والميكانيكية المؤثرة على سلوكيات الترب التي تتداخل فيها الخواص المختلفة [24]:

الخصائص الفيزيائية للتربة		
الخاصية	المعنى	الفائدة العملية
المحتوى المائي	يُعرف محتوى الرطوبة في التربة على أنه النسبة بين وزن الماء في فراغات التربة إلى وزن حبيباتها الصلبة.	تحديد الكثافة الجافة وحدود اللدونة وسيولة بغرض تصنيف التربة حسب تقسيم كساجراند مما يعطى فكرة تقريبية عن انضغاطها ونفاذيتها.
الوزن النوعي	تعريف الوزن النوعي للتربة (الحبيبات الصلبة) بأنه النسبة بين كتلة الحبيبات الصلبة إلى وزن كمية من الماء تشغل نفس الحجم.	الفائدة العملية لمعرفة الوزن النوعي لحبيبات التربة، فتكمن في استعمال قيمته في حساب نسبة الفراغات في التربة Voids ratio والمسامية Porosity ودرجة التشبع بالماء Degree of saturation وكذلك في حسابات تجربة التدرج الحبيبي للتربة بالهيدروميتر.
التدرج الحبيبي للتربة	هو فرز الحبيبات ذات المقاسات المتشابهة في العينة وإيجاد نسبة كل منها إلى الوزن الكلي للعينة.	التدرج الحبيبي للتربة هو المفتاح الأول والأساسي لتصنيف التربة للأغراض الإنشائية. ويساعد منحني التدرج الحبيبي للتربة في تصنيفها إلى تربة منتظمة التركيب Uniform أو جيدة التدرج Well-graded أو سيئة التدرج Poorly graded.

حدود أتيبرج Atterberg Limits	— حد سيولة (LL) وهو محتوى الرطوبة الذي تتحول عنده التربة من حالة اللدونة الى حالة السيولة. — حد لدونة (PL) وهو محتوى الرطوبة الذي تفقد عنده التربة خاصية اللدونة وتكون بحالة جافة نسبياً لا تسمح بتشكيلها الى خيوط.	تُساعد معرفة حدود أتربرج في إيجاد فعالية الطين Clay activity. وهي خاصية مرتبطة بنسبة الحبيبات الطينية (< 2 ميكرون) الموجودة في التربة و تصنيف التربة حسب تقسيم كساجراند.
كثافة التربة	هي النسبة بين الكتلة الكلية للتربة إلى حجمها الكلي وتقاس الكثافة بوحـدات (Kg/m^3) أو (g/cm^3).	— حساب ضغط التربة على الجدران الاستنادية. — دراسة اتزان المنحدرات الترابية. — حسابات هبوط التربة. — حساب أحجام أعمال الحفريات في التربة.
الموصلية الهيدروليكية	هي قدرة التربة على السماح للسوائل بالجريان خلال فراغاتها. ويعتبر معامل النفاذية (K) القيمة الكميّة التي يجري تحديدها للحكم على نفاذية التربة.	— تحديد سرعة ترشح وتصرف الماء (Seepage) عبر التربة. — تحديد ضغط الترشح (Seepage pressure). — تفادي حصول ظواهر خطيرة مثل ظاهرة غليان الرمل (Sand boiling). — حساب مخزون المياه الجوفية. — حساب كمية الماء المفقود من مستودعات تخزين المياه.
الخصائص الميكانيكية للتربة		
إجهاد القص المباشر	هو قيمة إجهاد القص المؤثر على طول مستوى الإنهيار وقت حدوث الإنهيار.	تساعد في دراسة قوة التربة ومقاومتها للقوى والأحمال الخارجية. وأشهر هذه الفحوصات، الأشكال المختلفة لفحوصات القص، وهي فحص القص المباشر (Direct shear test).
دمك التربة	عملية تتم خلالها إعادة	وتهدف اختبار الدمك التي تجري للتربة في

ترتيب الحبيبات الصلبة في تكوين التربة من خلال إنقاص حجم الفراغات التي تكون ممثلة بالهواء.	المختبر إلى معرفة درجة الدمك القصوى الممكنة لها. ويتم الفحص عادة لإيجاد محتوى الرطوبة المثالي للتربة OMC والذي تحصل عنده على أقصى كثافة MDD.
---	--

المُلحق 1-3: كيموفيزياء المياه

الماء والهواء هما من أكثر الموائع التي تتأثر سلباً أو إيجاباً بالمؤثرات الكيموفيزيائية في عمليات طبيعية وصناعية. فالكيموفيزياء تعني تداخل بين الخواص الفيزيائية والخصائص الكيميائية لتنتج عن ذلك مزايا مُدمجة تعطي صفات لسلوكيات مادية ربما أن تكون مرغوبة أو غير مرغوبة. عليه، فإنه يُمكن تصنيف الكيموفيزياء إلى نوعين من المؤثرات هما: (1) المؤثرات الطبيعية و(2) المؤثرات الصناعية. الجدول التالي يُناقش بعض المؤثرات الطبيعية وسلوكياتها الإيجابية والسلبية على المحيط:

المؤثرات الطبيعية	النتائج الإيجابية	النتائج السلبية
الدورة المائية	— عمليات كونية تربط بين الأطوار الثلاثة للمادة. — مسؤولية عن استمرار دورة الحياة بشكل مُنظم.	— تتأثر بسهولة عند تعرض أحد أطوار المادة للملوثات. — لا تسمح بالسيطرة الكلية على الآثار الصحية والبيئية للملوثات مثل ظاهرة الاحتباس الحراري.
مياه الآبار السوداء	— مادة تخصيب للأرض الزراعية في السابق. — إنتاج الغازات الحيوية مثل CH_4 و CO_2 .	— تلويث المياه الجوفية والتربة الزراعية. — الزيادة في نسبة الأملاح في الماء والتربة. — تهديد مُستمر لصحة الإنسان والحيوان والبيئة المحيطة بهما.
المياه الجوفية	— مُنقاة طبيعياً. — تتميز بموازين معدنية طبيعية.	— سرعة التلوث بأي نوع من الملوثات. — سرعة التنقل بين طبقات التربة المختلفة تُساهم في تغيير التكوين الطبيعي لحجم كبير من المياه.

بالنسبة للمؤثرات الصناعية، فإن الجدول التالي يدرج عدد من العمليات الشائعة لتحويل السلوك المائي بالطرق الكيموفيزيائية:

المؤثرات الصناعية	النتائج الإيجابية	النتائج السلبية
معالجة مياه الصرف الصحي	- إزالة قدر كبير من الملوثات الحيوية والكيميائية الضارة. - حماية المسطحات المائية من التدهور البيئي. - الحد من انبعاث الروائح.	- عمليات المعالجة غير مثالية وبالتالي فهي غير مضمونة في تطبيقات بشرية مباشرة. - تنوع مصادر مياه الصرف الصحي زاد من تنوع مخاطر نواتج المعالجة وذلك بالنظر إلى تجمع أغلب الملوثات في هذه العملية.
إعادة استخدام المياه المعالجة	- الإستفادة من التراكيز العالية لبعض المركبات في الزراعة. - التوظيف في أنظمة التبريد وأعمال النظافة العامة.	- فعاليتها ليست بفعالية الأسمدة الصناعية وذلك بالنظر إلى مخاطر الجزء الكيماوي المتبقي فيها بنسب غير معروفة. - إتلاف الأسطح المعدنية والخرسانية.

المُلحق رقم 2

المعلومات والبيانات القياسية

المُلحق 2-1: الوحدات القياسية المحلية والعالمية

الجدول التالي يُسلط الضوء على أهم الوحدات الشائعة الإستخدام في بعض التداولات الشعبية بمنطقة الدراسة:

العامل الثابت أو المتغير	علاقات تحويل الوحدات
الطول (Length – L)	الخطوة $\approx$ القامة $\approx$ 1 متر = 100 سم الذراع البشري $\approx$ 48 سم الشبر $\approx$ 20 سم
المساحة (Area – A)	الهكتار $\approx$ 8 جوابي = 9800 م ² الجابية = 100 أجدولة = 1225 م ² القياس بالجابية يعني ما يروي بماء الري مساحة 1225 م ² من الأرض.
الحجم (Volume – V)	المرطة $\approx$ 20 لتر المالقي $\approx$ 1 لتر
الكتلة (Mass – M)	القنطار = 100 كجم

بالنسبة لوحدات القياس المستخدمة عالمياً، فإن الجدول التالي يقتصر على سرد علاقات العوامل الأكثر تداولاً مثل الطول والحجم والكتلة والكثافة والقوة والضغط (أو الإجهاد) واللزوجة (ديناميكية وكميائية) ودرجة الحرارة [26]:

العامل الثابت أو المتغير	علاقات تحويل الوحدات
Length – L	1 m = 100 cm = 1000 mm = 3.2808 ft = 1.0936 yd 1 ft = 12 in = 0.3048 m = 0.3333 yd 1 in = 2.54 cm = 25.40 mm = 0.0833 ft
Volume – V	1 m ³ = 1000 L = 264.17 gal (US) = 219.97 gal (UK)

1 L = 1000 cm ³ 1 gal (US) = 3.7854 L						
1 kg = 1000 g = 2.2046 lb _m 1 lb _m = 0.4536 kg			Mass – M			
1 g/cm ³ = 1000 kg/m ³ = 62.428 lb _m /ft ³ 1 lb _m /ft ³ = 16.0185 kg/m ³			Density – ρ			
1 N = 1 kg.m/sec ² = 10 ⁵ dyne = 0.102 kg _f 1 lb _f = 4.448 N = 0.4536 kg _f			Force – F			
1 atm = 760 mm Hg = 101325 N/m ² = 101.325 kPa 1 atm = 760 torr = 14.696 lb _f /in ² (psi) 1 bar = 10 ⁵ Pa = 0.98692 atm 1 Pa = 10 dyne/cm ²			Pressure – P Stress – τ			
1 Pa.sec = 1 N.sec/m ² = kg/m.sec = 10 P (Poise) 1 P = 1 dyne.sec/cm ² = 100 cP = 0.0672 lb _m /ft.sec			Dynamic Viscosity – η			
1 m ² /sec = 10.7639 ft ² /sec = 10 ⁴ St (Stoke) = 10 ⁶ cSt ν = η / ρ			Kinematic Viscosity – ν			
T [Kelvin] = T [Celsius] + 273.15 T [Fahrenheit] = 1.8 T [Celsius] + 32			Temperature – T			
1 Hz = 1 cycle/sec = 1 rev/sec = 2 π rad/sec 1 rev/min [RPM] = 0.1047 rad/sec			Rotational Speed – N			
معاني وقيم رموز مبدئيات الوحدات						
Prefix	Meaning	Factor		Prefix	Meaning	Factor
d	deci	10 ⁻¹		p	pico	10 ⁻¹²
c	centi	10 ⁻²		f	femto	10 ⁻¹⁵
m	milli	10 ⁻³		k	kilo	10 ³
μ	micro	10 ⁻⁶		M	mega	10 ⁶
n	nano	10 ⁻⁹		G	giga	10 ⁹

المُلحق 2-2: مقاييس التعرض لمياه الصرف الصحي

مياه الشبكة العامة للصرف الصحي تشمل المياه المُتخلص منها في المنازل والأسواق الشعبية والمتاجر والمرافق التعليمية والإدارية حيث تجري (تتدفق) في منظومة أنابيب التصريف على مدار الساعة وهو ما أكسبها أسم **مياه المجاري**. هذا النوع من المياه الملوثة يُعرف أيضاً بمياه الصرف الصحي البلدية التي تستثني أنواع المياه الأشد تلوثاً في مجاري مرافق الخدمات الطبية والمنشآت الصناعية والتي تحتاج إلى معالجة موضعية خاصة. الجدول التالي يعطي قيم المقاييس الثلاثة لتركيز الملوثات في مياه الصرف الصحي البلدية من حيث مستويات التلوث الضعيف والمتوسط والشديد [10]:

مقاييس تركيز الملوث [mg/L]			المُكون
شديد	متوسط	ضعيف	

1200	720	350	المواد الصلبة الكلية (Total Solids – TS)
850	500	250	مجموع المواد الصلبة الذائبة (TDS)
525	300	145	المواد الصلبة الغير متطايرة (Non-Volatile Solids)
325	200	105	المواد الصلبة المتطايرة (Volatile Solids)
350	220	100	مجموع المواد الصلبة المعلقة (TSS)
75	55	20	المواد الصلبة الغير متطايرة (Non-Volatile Solids)
275	165	80	المواد الصلبة المتطايرة (Volatile Solids)
20	10	5	المواد الصلبة القابلة للترسيب (Settling Solids)
400	220	110	الطلب الحيوي للأكسجين (BOD_5)
290	160	80	الكربون العضوي الكلي (Total Organic Carbon)
1000	500	250	الطلب الأكسجيني الكيميائي (COD)
85	40	20	النيتروجين الكلي (Total Nitrogen – TN)
35	15	8	النيتروجين العضوي (Organic Nitrogen – ON)
50	25	12	الأمونيا الحرة أو غاز الأمونيا (NH_3)
0	0	0	النيترايت (NO_2)
0	0	0	النترات (NO_3)
15	8	4	الفوسفور الكلي (Total Phosphorus – TP)
5	3	1	الفوسفور العضوي – أيون الأرتوفوسفات (PO_4^{-3})
10	5	3	فوسفور غير عضوي – فوسفات الكالسيوم $Ca_3(PO_4)_2$
100	50	30	الكلوريدات (Cl)
50	30	20	الكبريتات (SO_4)
200	100	50	القلوية ($CaCO_3$)
150	100	50	الزيوت والشحوم (Oils and Greases – O&G)
0.4 <	0.4 – 0.1	0.1 >	المركبات العضوية المتطايرة (VOC)
إجمالي البكتيريا القولونية (Total Coliform – TC) بوحدة MPN/100 mL			
10^9 – 10^8	10^8 – 10^7	10^7 – 10^6	

وحدة قياسات مجموع البكتيريا (MPN/100 mL) في الجدول أعلاه تمثل العدد الأكثر احتمالاً في 100 ملتر من عينة المياه وهي إختصار لـ **Most Probable Number per 100 mL**.

المُلحق رقم 3

نتائج دراسات التربة والمسح الميداني والمياه

المُلحق 3-1: التقييم المبدئي للتربة

توصيف خواص التربة بالطرق التجريبية يُعتبر النهج الأكثر أهمية من حيث التطبيق العملي لعلاقات تعامل النظام الترابي مع المُدخلات المادية مثل الموائع المُختلفة وهو ما يوضحه الجدول التالي [10]:

العلاقة	الخاصية
$w = [(M_w - M_s)/M_s] \times 100$ M_w : كتلة التربة المُبللة أو الرطبة. M_s : كتلة التربة الجافة.	المُحتوى المائي أو الرطوبي w [%]
$\rho_t = M_t/V$ M_t : الكتلة الكلية للتربة. V : حجم التربة.	الكثافة الكلية ρ_t [kg/m^3]
$\rho_d = \rho_t / (1+w)$	الكثافة الجافة ρ_d [kg/m^3]
$G_s = M_s/V_s \rho_w$ M_s : كتلة التربة. V_s : حجم كتلة التربة. ρ_w : كثافة الماء.	الوزن النوعي G_s
$1 - e = [1 - (V_{s,\min}/V_{s,\max})]$ $V_{s,\max}$: الحجم الطبيعي لعينة التربة [m^3]. $V_{s,\min}$: الحجم المضغوط لعينة التربة [m^3].	نسبة الفراغات e [%]
$n = e / (1+e)$ e : نسبة الفراغات [%].	المسامية n [%]
$K_T = U / (\Delta h / \Delta L)$ K_T : النفاذية كدالة في درجة حرارة التربة [m/sec]. U : سرعة المُتغلغل [m/sec].	الموصلية الهيدروليكية (النفاذية) K_T

Δh : التغير في الضغط البُعدي بين نقطتين بالمتَر [m]. ΔL : الفرق البُعدي في إتجاه مقطع تأثير الضغط [m].	
$LI = (W-PL) / (PI)$ PL : حد اللدونة [%]. PI : دليل اللدونة [%].	دليل السيولة Liquidity Index-LI [%]
$S_r = (W \times G_s) / e$ w : المُحتوى المائي أو الرطوبي. e : نسبة الفراغات. G_s : الوزن النوعي.	درجة التشبع بالماء S_r [%]
$\gamma = \rho_t \times \gamma$ ρ_t : الكثافة الكلية $[g/cm^3]$. g : عجلة الجاذبية الأرضية $[9.81 = KN/S^2]$.	وزن وحدة الحجم γ $[KN/m^3]$ Unit Weight
$\tau = C + \sigma \tan \phi$ C : قوة التماسك بين الحبيبات $[KPa]$. σ : الاجهاد العمودي عند مستوى القص $[KPa]$. ϕ : زاوية الاحتكاك الداخلي $[deg.]$.	مقاومة التربة للقص τ $[KPa]$ Shear strength of soil

المُلحق 3-2: المواصفات القياسية لتحديد خواص التربة الفيزيائية والميكانيكية

الجدول التالي يعطى أهم التحاليل عينات الترب المأخوذة من منطقة الدراسة (السواني – طرابلس): وذلك طبقاً للمواصفات القياسية الأمريكية (ASTM & AASHTO) والبرطانية (BS) والتي تم اجراءها في معمل شركة ديوان الاعمار ومعمل قسم الهندسة المدنية بجامعة طرابلس وكذلك معمل شركة العالية للاستشارات الهندسية الجدول التالي يستعرض الاختبارات المعملية لتحديد الخواص الفيزيائية والميكانيكية مع الإشارة الى المراجع القياسية وكودات البناء التي يمكن إجراء الاختبارات بناء عليه :

أختبارات تصنيف التربة (Soil classification tests) وأهمها:	
BS 1377 Test No. 1 ASTM D-2216	محتوى الرطوبة
BS 1377 Test No. 2 ASTM D-423 AASHTO T-89	حد السيولة
BS 1377 Test No. 3	حد اللدونة

ASTM D-424 AASHTO T-90	
BS 1377 Test No. 6 ASTM D-854	الوزن النوعي
BS 1377 Test No. 7 ASTM D-422	التدرج الحبيبي
ASTM D-2325, D-2434	النفاذية
BS 1377 , ASTM D-421	التحضير الجاف للعينات
BS 1377, ASTM D-2217	التحضير الرطب للعينات
أختبارات تحديد مقاومة التربة (Soil strength tests) وأهمها:	
ASTM D-3080	القصر المباشر
BS 1377 Test No. 16 ASTM D-1883 AASHTO T-193	نسبة تحمل كاليفورنيا
أختبارات الدمك (Compaction tests) وأهمها:	
BS 1377 Test No. 12 ASTM D-698 AASHTO T-90	الدمك القياسي (بروكتور)
BS 1377 Test No.13 ASTM D-1557 AASHTO T-180	الدمك المعدل

المُلحق 3-3: نتائج دراسات التربة لقاعدة نموذج البئر الأسود (ملخص)

الجدول التالي يعطي نتائج تحليل عينات التربة المأخوذة من منطقة الدراسة (السواني) وذلك طبقاً للاختبارات التي أجريت في معمل شركة ديوان الاعمار وجامعة طرابلس (عين زارة كم 7 – طرابلس):

البيانات المعملية لإختبارات التربة لحفرة البئر الاسود والتربة المحيطة به						
المجموعة المصنفة (USCS)	نسبة مرور الحصى [%] أكبر من 4.75 mm	النسبة المتوسطة لمرور الرمل الخشن [%] 4.75 mm – 0.425 mm	نسبة مرور الرمل الناعم [%] 0.425 mm – 0.075 mm	نسبة مرور الرمل الناعم [%] أصغر من 0.075 mm	العمق الترابي [m]	الأحداثيات الجغرافية
						X Y

SM	1.98	4.15	77.78	16.10	0.0-1.77	32.77403	13.10898
----	------	------	-------	-------	----------	----------	----------

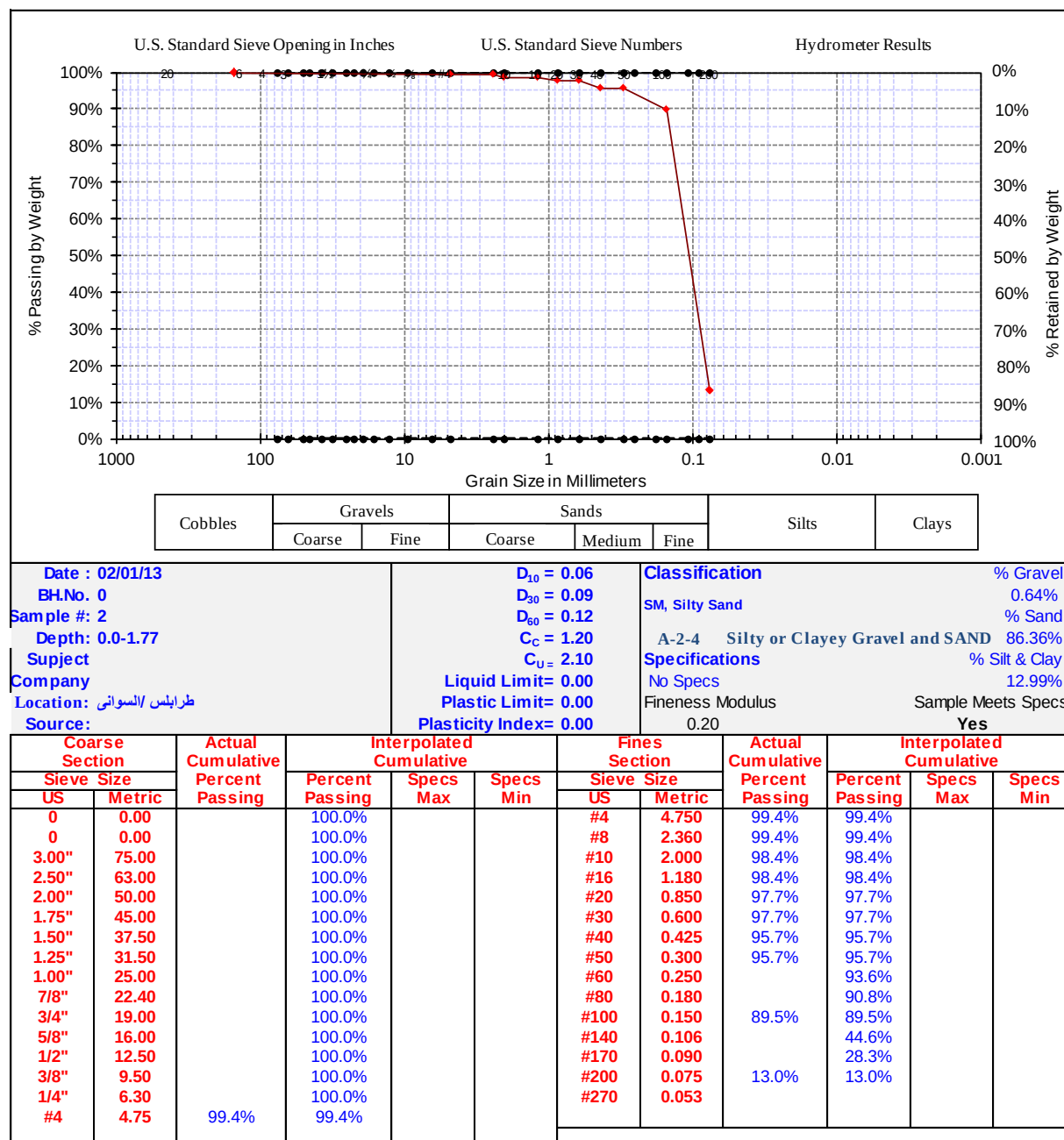
حد السيولة	مؤشر اللدونة	الوزن النوعي G _s	الموصلية الهيدروليكية k [m/s]	المجموعة المُصنفة (AASHTO)	
— — —	Non-Plastic	2.633	1.22 X 10 ⁻⁶	A-2-4	
أختبارات مقاومة التربة لإجهادات وقدرة التحميل (الخصائص الميكانيكية للتربة)					
(CBR) _{Bottom} [%]		Cohesion, C [kPa]	Friction Angle, ϕ [degrees]	أقصى كثافة جافة [m/s]	أفضل مُحتوى رطوبي %
CBR at 5.0 mm	CBR at 2.5 mm				
34.72	17.674	8.4	23.28°	1.706	10.4

المُلحق 3-4: تحليل نتائج بيانات التجارب المعملية التي أجريت في معامل التربة

تهدف أعمال المختبر لتقييم الخواص الهندسية للتربة والصخور الموجودة في الحفر الاختبارية، ومنها اختبارات الخصائص الفيزيائية والميكانيكية و الكيميائية للعينات الممتلئة و المختارة من التربة والصخور . وقد أجريت الفحوصات المخبرية وفقا لمعايير BS و ASTM وتشمل هذه الاختبارات ما يلي :

- (1) محتوى الرطوبة (ASTM D 2216) ، (2) التحليل الحجمي للحبيبات (ASTM D 422)،
- (3) حدود السيولة واللدونة (ASTM D 4318)، (4) الوزن النوعي (ASTM D 854) ،
- (5) اختبار الدمك القياسي (ASTM D 698)، (6) اختبار القص المباشر (ASTM D3080) ،
- (7) اختبار نسبة تحميل كاليفورنيا CBR (ASTM 1883). ويمكن تلخيص الأهداف الأساسية لفحص التربة كما يلي: (1) إمكانية التصنيف الدقيق للتربة. (2) التعرف على الخصائص المتعلقة بثبات التربة تحت تأثير الأحمال. (3) التنبؤ بمقدار الهبوط (Settlement) الذي سيحصل للمبنى

والتأكد من عدم حصول الهبوط غير المتكافئ (Differential settlement) بين نقاط مختلفة. (4) دراسة تأثير المياه الجوفية (Ground water) إن وجدت على سلوك التربة والتعرف على إمكانية تغيير منسوبها ارتفاعاً أو انخفاضاً مع ربط هذا بعامل الزمن. (5) التعرف على أشكال خاصة من التربة تستلزم التعامل معها بحذر كتربة الهابطة (Loess or collapsing soil) أو التربة المنتفخة. الاشكال 1، 2، 3، 4، تبين تفاصيل النتائج العملية للاختبارات العملية التي أجريت على تربة قاعدة البئر الأسود قبل التثبيت بغلاف البلاستيك.



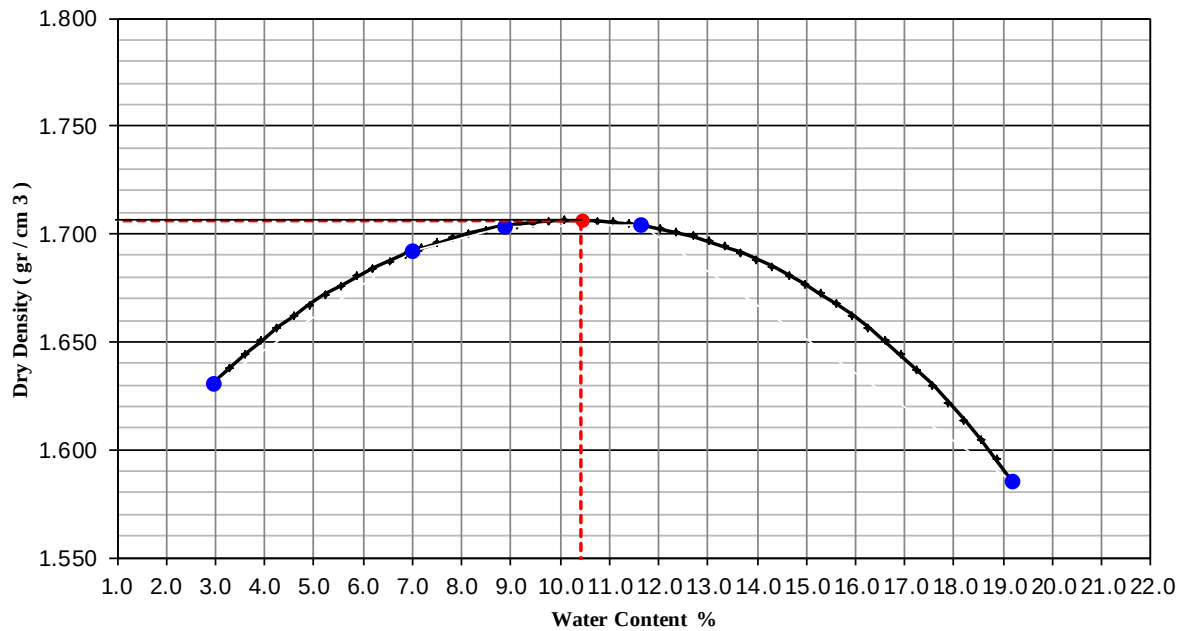
الشكل 3-1: نتائج التدرج الحبيبي لعينة تربة قاعدة نموذج البئر الأسود.

LABORATORY COMPACTION TESTS

DATA SHEET FOR DRY DENSITY - MOISTURE CONTENT RELATION

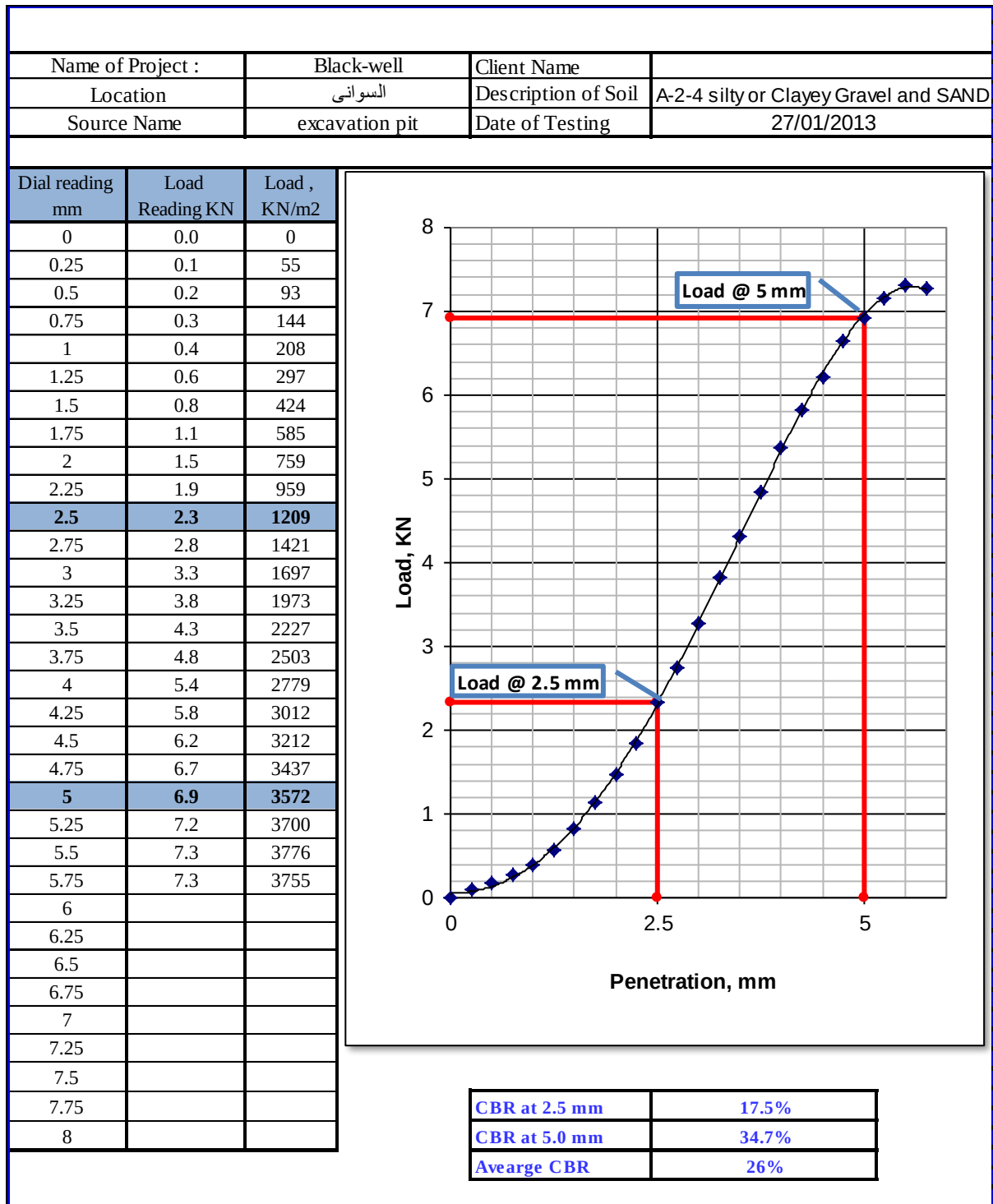
(ASTM 698) Method A

Name of Project :	Black-well	Client Name		
Km / Location	السواني	Description of Soil	A-2-4 silty or Clayey Gravel and SAND	
Source Name	السواني	Date of Testing	27,01,2013	
Blows	25	No of Layer	3	
Volum of Mold :	931			
Sample No		1	2	3
Moisture can no				
Mass of can	22.4	22.8	22.3	23.0
M. wet soil+can	149.7	152.3	179.7	182.5
M. dry soil+can	146.0	143.8	166.8	165.8
Mass of water	3.7	8.5	12.9	16.6
Mass of soil	123.6	121.0	144.5	142.9
Water c. w %	3.0	7.0	8.9	11.6
Ass. Water con	3	7	9	12
Water c. w %	3.0	7.0	8.9	11.6
Mass of soil+mold	4848	4970	5012	5056
Mass of mold	3284.3	3284.3	3284.3	3284.3
Mass of soil	1563.2	1685.7	1727.2	1771.2
Wet unit wgt	1.679	1.811	1.855	1.902
Dry unit wgt.	1.631	1.692	1.704	1.704



Optimum Moisture (w %) :	10.4	Tested	Checked	Approved
Dry density gr./cm3	1.706	Khaled	Osama El-Hisnawy	Osama El-Hisnawy

الشكل 3-2: نتائج اختبار الدمك القياسي لعينة تربة قاعدة نموذج البئر الأسود.

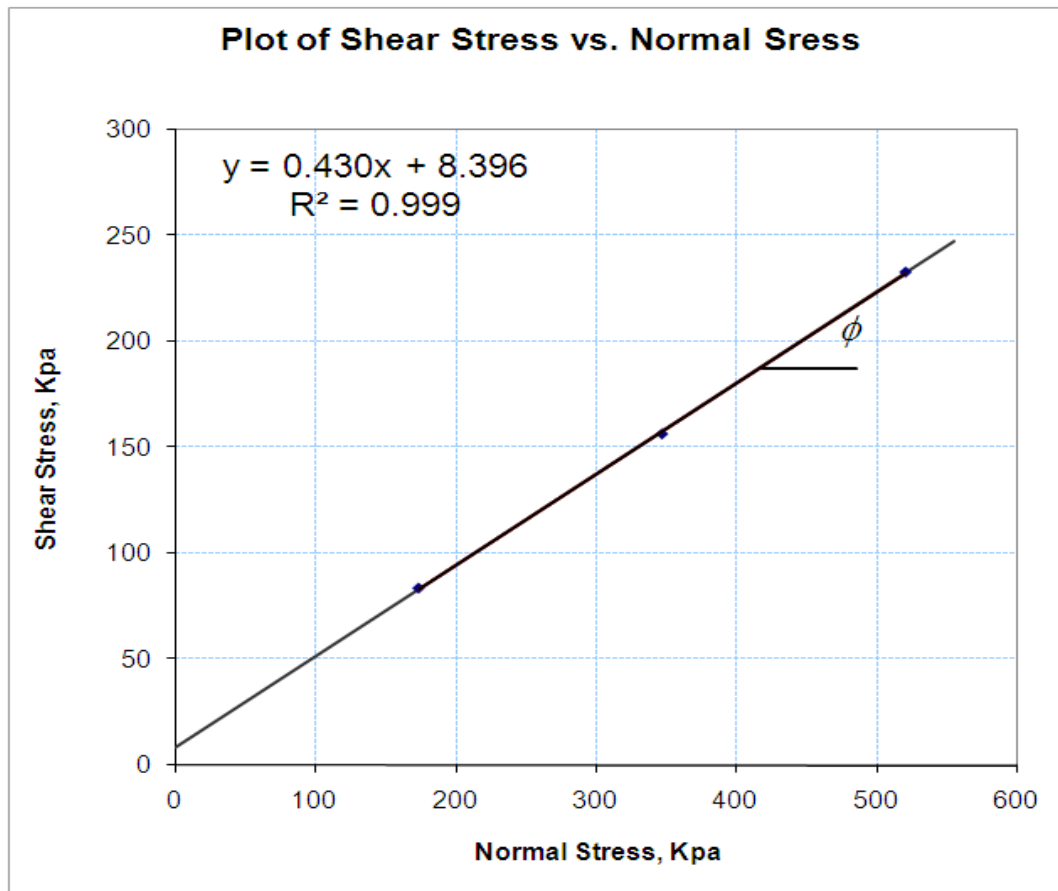


الشكل 3-3: نتائج اختبار نسبة تحمل كاليفورنيا لعينة تربة قاعدة نموذج البئر الأسود.

Direct-Shear Test

Project:	Black-well	Boring No.	0	Sample No.:	1
Classification	SM, Silty Sand with Gravel	Depth, m:	1.77	Date:	11/08/2012
Sample Type:	disturbed soil	Soil State:	Dry	Tested by:	Osama

Normal Stress, Kpa	173.57	347.13	520.70
Shear Stress, Kpa	83.66	156.53	232.99



الشكل 3-4: نتائج اختبار إجهاد القص المباشر لعينة تربة قاعدة نموذج البئر الأسود.

المُلحق 3-5: نتائج دراسات المياه والمسح الميداني

الجدول التالي يعطي نتائج تحليل عينات المياه المأخوذة من منطقة الدراسة وذلك طبقاً لما ورد من مركز البحوث الصناعية (تاجوراء – طرابلس):

البيانات المعملية لإختبارات المياه						
1. عينات البئر الجوفي						
الأكسجين الممتص حيوياً BOD5 [mg/L]	الأكسجين الممتص كيميائياً COD [mg/L]	الفوسفات PO4 [mg/L]	النترات NO3 [mg/L]	النيترايت NO2 [mg/L]	الأمونيا NH3 [mg/L]	الفترة
15.0	110.0	1.8	0.24	0.019	0.48	02/09/2012
10.0	103.0	0.9	0.26	0.019	0.92	02/01/2013
2. عينات بئر المراقبة						
25.0	16.0	7.5	0.37	0.12	0.63	02/09/2012
27.5	22.0	4.6	0.53	0.13	0.17	04/10/2012
5.0	22.0	5.2	0.24	0.17	0.34	05/12/2012
Nil	12.0	1.2	0.11	0.16	0.72	02/01/2013
3. عينات نموذج البئر الأسود						
40	284	53	82	4.5	38	02/09/2012
25.0	163.0	36.0	41.0	3.1	35.0	02/01/2013

المُلحق 3-6: نتائج التخریط الكنتوري لمنطقة الدراسة

الجدول التالي يعطي بيانات التخریط الكنتوري لشكل 4-2 والتي تُمثلها نقاط على المحاور (X, Y, Z).

	Z	Y	X
قياسات الابار السوداء Black Water Well Date	84.02	32.76986	13.10336
	45.00	32.77369	13.10595
	45.73	32.77330	13.10706
	75.00	32.77424	13.10881
	75.00	32.77408	13.10836
قياسات الابار الجوفية Groundwater r Well Date	77.74	32.77324	13.11008
	76.01	32.77080	13.10420
	69.82	32.77324	13.11008
	44.82	32.77480	13.10850
	67.99	32.78066	13.11272

المُلحق رقم 4

الخواص الميكانيكية للبطانة الجيوبلاستيكية

المُلحق 4-1: إختبارات إجهاد الشد للبطانة الجيوبلاستيكية

الجدول التالي يعطي نتائج عدد من العينات القياسية لكل من الأصلية (Virgin Samples) والمُعَرَّضة (Exposed Samples) التي تم إختبارها وصل إلى 10 عينات لأحمال عددها 20 وزن كمجموع للأثقال في حالتي إختبار مقاومة قوة الشد للبطانة الجيوبلاستيكية.

	Sample No.	L ₀ [cm]	ΔL [cm]	ε _e [%]	Force [N]	σ _e [MPa]	ε _t [- -]	σ _t [MPa]
نتائج إجهاد الشد الهندسي للبطانة الجيوبلاستيكية المعرضة Used or Exposed Liner	1	5	0.10	2	9.8	2.92	1.980	2.98
	2	5	0.15	3.0	12.3	3.65	2.956	3.76
	3	5	0.2	4.0	14.7	4.38	3.922	4.55
	4	5	0.2	4	17.2	5.11	3.922	5.31
	5	5	0.25	5	19.6	5.84	4.879	6.13
	6	5	0.50	10	22.1	6.57	9.531	7.23
	7	5	0.60	12	24.5	7.30	11.333	8.18
	8	5	1.50	30	27.0	8.03	26.236	10.44
	9	5	2.95	59	29.4	8.76	46.373	13.93
نتائج إجهاد الشد الهندسي للبطانة الجيوبلاستيكية الأصلية Virgin Liner	1	5	0	0	7.36	2.04	2.04	2.04
	2	5	0.1	2	9.81	2.73	2.73	2.73
	3	5	0.1	2	12.26	3.41	4.09	4.09
	4	5	0.15	3	14.72	4.09	4.77	4.77
	5	5	0.2	4	17.17	4.77	5.45	5.45
	6	4.8	0.3	6.25	19.62	5.45	6.13	6.13
	7	5	0.4	8	22.07	6.13	6.81	6.81
	8	5	0.45	9	24.53	6.81	7.49	7.49
	9	5	0.65	13	26.98	7.49		
	10	5	0.8	16	29.43	8.18		
	11	5.2	1.8	34.62	31.88	9.32		
	12	5	4.45	89.00	34.34	9.54		
	13	5	15	300.00	36.79	10.22		

الخلفيات المصورة للعوامل الدراسية

المُلحق 5-1: مرحلة تجهيز النموذج الإنشائي لنموذج البئر الأسود

يُصور مرحلة تطبيق التصميم الإنشائي لنموذج البئر الأسود في موقع الدراسة قبل وبعد تغليف الجدران الداخلية والقاعدة الأرضية بالبطانة الجيوبلاستيكية حيث يبدو واضحاً المجهود المبذول في حفر النموذج وتفريغ التربة طبقاً لمقاييس التصميم.



المشهد 5-1: صورة حفرة نموذج البئر الأسود التجريبي قبل التغليف بالبطانة الجيوبلاستيكية.



المشهد 5-2: تبطين جدران نموذج البئر الأسود ببطانة من بوليمر عديد الإيثيلين المنخفض الكثافة.



المشهد 5-3: بناء سقف نموذج البئر الأسود وتجهيز بئر المراقبة.

المُلحق 5-2: مرحلة تعبئة نموذج بالمياه السوداء

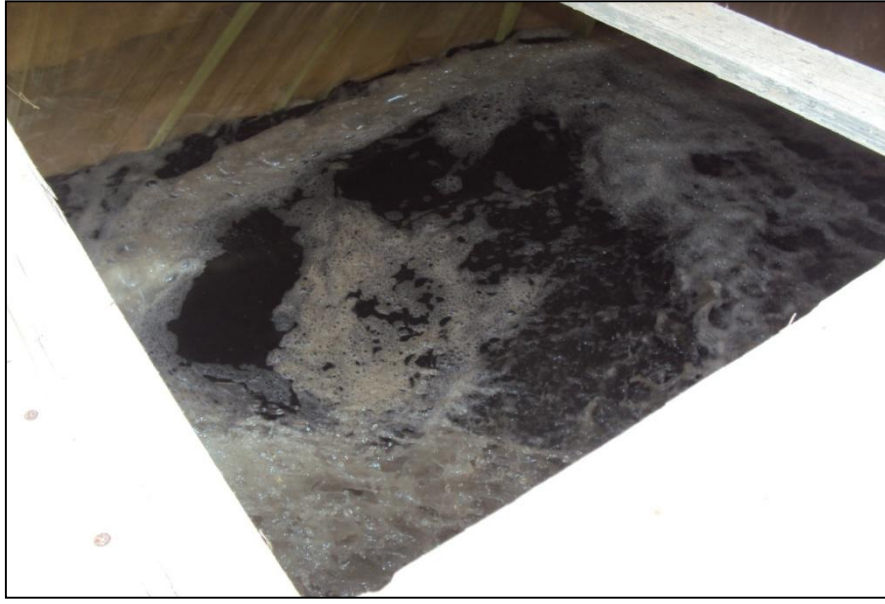
يُصور مرحلة تعبئة نموذج البئر الأسود مياه صرف صحي حيث تم احضار سيارة ممتلئة بمياه الصرف الصحي من منطقة قرية البوعيشي القريبة من منطقة الدراسة وتفرغها في نموذج البئر الأسود.



المشهد 5-4: تفريغ السائل الأسود داخل نموذج البئر الأسود.



المشهد 5-5: بداية عملية تفريغ مياه الصرف الصحي داخل النموذج.



المشهد 5-6: إمتلاء نموذج البئر السود بمياه الصرف الصحي.



المشهد 5-6: تغليف نموذج البئر الأسود بكامل ببلاستيك.

المُلحق 5-3: مرحلة التحاليل المخبرية لتربة منطقة الدراسة

يُصور بعض مراحل توصيف الخواص الفيزيائية والميكانيكية لتربة القاعدة الأرضية لنموذج البئر الأسود وإجراء الاختبارات المعملية عليها.



المشهد 5-7: قياس نفاذية التربة بطريقة إختبار فرق الضغط المتغير.



المشهد 5-8: قياسات نسب الـ CBR لتربة قاعدة نموذج البئر الأسود.

المُلحق 5-4: مرحلة التحاليل المخبرية للمياه ومسح الميداني

يُصور بعض مراحل تجميع عينات من مياه البئر الجوفي وبئر المراقبة والبئر الأسود الخاص بالتجربة الدراسية كما يوضح اعداد النتائج الكنتورية لمنطقة الدراسة.



المشهد 5-9: أخذ عينة من نموذج البئر الأسود.



المشهد 5-10: عينة من بئر المراقبة وكتابة البيانات عليه.



المشهد 5-11: يوضح قياس مستوى السائل الأسود داخل النموذج.



المشهد 5-10: عينات النموذج وبئر المراقبة والبئر الجوفي في معمل التحليل الكيميائي بمركز البحوث الصناعية بتاجوراء.

المُلحق 5-5: مرحلة إختبارات إجهاد الشد للبطانة الجيوبلاستيكية

يُصور مراحل توصيف الخواص الميكانيكية للبطانة الجيوبلاستيكية قبل وبعد التجربة البيئية وأهم هذه الخواص هو مقاومة أجهاد الشد.



المشهد 5-12: يوضح شكل نموذج البئر الأسود بعد تفريغه من السائل الأسود.



المشهد 5-13: الكشف عن حالي التربة والبطانة الجيوبلاستيكية بعد تفريغ الماء الأسود.



المشهد 5-14: يوضح شكل تجهيز العينات القياسية لأختبار أجهد الشد.



المشهد 5-15: يوضح نظام إختبار إجهادات الشد أثناء اجراء التجربة.

المُلحق رقم 6

البيانات النموذجية للمادة البلاستيكية المستخدمة في الدراسة

المُلحق 6-1: بيانات مادة LDPE بأسم تجاري سابك TN002100.



SABIC® LDPE 2100TN00

Low density polyethylene for Blown film

Description

SABIC® LDPE 2100TN00 is a grade with excellent toughness and outstanding biaxial shrink properties. The material contains no additives, has a very low energy consumption during processing and has excellent draw down ability.

Application

SABIC® LDPE 2100TN00 is a heavy duty film grade suitable for applications like shrink hoods, industrial sacks, carrier bags and liners.

Film properties

Film properties have been measured at 50 µm films with a BUR of 3. Films have been produced on Kiefel IBC film blown line at 200 kg/h. Die size 200 mm, die gap of 0.8 mm.

The product mentioned herein is in particular not tested and therefore not validated for use in pharmaceutical/ medical applications.

Typical data.

Revision 20100408

Properties	Units SI	Values	Test methods
Polymer properties			
Melt flow rate (MFR) at 190 °C and 2.16 kg	g/10 min	0.33	ISO 1133
Density	kg/m³	921	ISO 1183 (A)
Optical properties			
Haze	%	12	ASTM D 1003A
Clarity	mV	50	SABIC method
Film properties			
Impact strength	kJ/m	30	ASTM D 4272
Tear strength TD	kN/m	30	ISO 6383-2
Tear strength MD	kN/m	30	ISO 6383-2
Tensile test film			ISO 527-3
Yield stress TD	MPa	11	
Yield stress MD	MPa	11	
Stress at break TD	MPa	23	
Stress at break MD	MPa	28	
Strain at break TD	%	> 500	
Strain at break MD	%	> 200	
Modulus of elasticity TD	MPa	190	
Modulus of elasticity MD	MPa	190	
Coefficient of friction	-	1.0	ASTM D 1894
Blocking	g	20	SABIC method
Re-blocking	g	10	SABIC method
Thermal properties			
Vicat softening temperature at 10 N (VST/A)	°C	93	ISO 306

Refernces

1. الهيئة العامة للتوثيق والمعلومات، التعداد العام للسكان، طرابلس – ليبيا ، 1995 م.
2. تقرير جهاز حماية البيئة، التقرير السنوي لسنة 2000 م، طرابلس – ليبيا ، 1995 م.
3. تقرير جهاز حماية البيئة: تصور لتوزيع الاليات المطلوبة لرفع مستوى الخدمات وما تحتاجه مدينة طرابلس لتصبح نظيفة وجميلة، طرابلس – ليبيا ، 2002 م.
4. د. بشير فارس: إدارة النفايات الصلبة ، المؤتمر العربي الثالث للإدارة البيئية، الهيئة العامة للبيئة (EGA)، طرابلس – ليبيا ، 2004 م.
5. اللجنة الشعبية لشعبية طرابلس، مقترح لمتطلبات النظافة العامة، جهاز حماية البيئة، طرابلس – ليبيا، 1996 م.
6. الهيئة العامة للبيئة، استراتيجية إدارة النفايات الصلبة بدولة ليبيا، طرابلس – ليبيا، 2001 م.
7. منظمة المدن العربية ، دراسة إستراتيجية لاحتياجات المدن العربية للقيام بنظافة العامة، طرابلس – ليبيا، 1986 م.
8. رشا خلف العبد الله: تشغيل وأستثمار محطات معالجة مياه الصرف الصحي، وزارة الإدارة المحلية والبيئة، دمشق – سوريا، 2004 م.
9. د.م. عبدالرزاق محمد سعيد التركماني: الإدارة الهندسية لمياه الصرف الصحي في التجمعات السكنية الصغيرة، وزارة الإدارة المحلية والبيئة، حسياء – سوريا، 2009 م.
10. د.عبدالحميد المبروك الدجن و عبدالعزيز محمد عمران: تخريط جيوكيميائي لتغلغل مياه الآبار السوداء في الأراضي السكنية والعامة بمدينة تاجوراء ، المؤتمر الوطني الأول لتقنيات معالجة مياه الصرف الصحي والصناعي ، الهيئة العامة للبيئة (EGA) ومنظمة الصحة العالمية (WHO) ، بنغازي – ليبيا ، 6-8 / 6 / 2005 م.
11. رياض القابلي: إدارة وتشغيل مطمر النفايات في محافظة دمشق ، جامعة دمشق، دمشق – سوريا، 19-22 / 9 / 2005 م.
12. د. عابر يوسف محمد: تصميم وإنشاء المطمر الصحي، جامعة البعث، كلية الهندسة المدنية، قسم الهندسة البيئية ، دمشق – سورية ، 2011 م.

13. د.عبد الحميد المبروك الدجن، د.محمد محمد خليفة و م.فتحية مسعود: أداء بطانة بلاستيك عديد الإثيلين العالي الكثافة كمادة عازلة في مكبات المخلفات البروتينية الخالية من الأكسجين، المركز الدولي لبحوث اللدائن ، الهيئة القومية للبحث العلمي، بنغازي – ليبيا ، 7-9 / 12 / 2003 م.
14. أحمد خليل: الهندسة البيئية والصحية، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، عابدين / القاهرة – جمهورية مصر العربية ، 2010 م.
15. د.عبد الحميد المبروك الدجن: دراسة محيط دورة الإنتاج في تشاركية الوفاق لصناعة الأغذية البلاستيكية(تقيم الآثار البيئية)، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، عابدين / القاهرة – جمهورية مصر العربية ، 2010 م.
16. خريطة ليبيا الجيولوجية ، طرابلس (لوحة ش ذ 33 – 13) ، النسخة الأولى ، مركز البحوث الصناعية ، طرابلس – ليبيا ، 1975 م.
17. الأطلس الوطني لليبيا ، أمانة التخطيط – مصلحة المساحة ، طرابلس – ليبيا ، 1978 م.
18. زينوس ويلسون وكرايشتوف شتارويسكي، ترجمة يوسف المسنات: ميكانيكا التربة والاساسات، الجامعة التكنولوجية، الاردن – عمان، 1985 م.
19. سامي أحمد حجاوي: فحوصات التربة للأغراض الإنشائية ، نابلس – فلسطين، 2003 م.
20. السيد عبدالفتاح القصبي: ميكانيكا التربة ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، عابدين / القاهرة – جمهورية مصر العربية ، 1999 م.
21. د.عبد الحميد المبروك الدجن ومنال القاضي و فتحية الأحمر وعبد السلام فكرون ورجب أبوعجيلة وأحلام الغزوي: تحديد نوع الرقيقة البوليمرية الأكثر تأثراً بالجرعات الإشعاعية، مركز البحوث والدراسات التقنية- فرع بحوث اللدائن، المؤتمر الكيميائي الأول بجامعة سبها، سبها – ليبيا ، 14-16 / 11 / 2006 م.
22. محمد إسماعيل عمر: خواص البلاستيك والطباعة بالسلك سكرين، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، عابدين / القاهرة – جمهورية مصر العربية، 1997 م.
23. Marc Meyers and Krishan K. Chawla, “**Mechanical Behavior of Materials**”, Second Edition, Cambridge University, The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK, 2006.
24. Oakland County Drain Commissioner, “**Municipal Well and Well House – Design Standards**”, Operations and Maintenance Division, USA, March 2005.
25. M. Carter and S. P. Bentley , “**Correlations of Soil Properties**”, First Edition, Bookcraft (Bath)Ltd, Great Britain, pp. 50-54, 1991.

Bibliography

26. A. M. Dajan, A. K. Al-Najjar, A. Anaiba, M. Maatooq, K. Al-Azzabey, and W. A. Al-Fleet, **“Physicochemical Filtration of Sewage Water with a Fixed-Bed of Solid Libyan Olive Wastes”**, The Science Conference 2004, Yemeni Scientific Research Foundation, 11–13 October 2004, Sana’a, Yemen.
27. Uta Krogmann and Lisa S. Boyles, **“Land Application of Sewage Sludge (Biosolids) – #3: Different Types of Sewage Sludge”**, Rutgers Cooperative Extension, New Jersey Agricultural Experiment Station, Rutgers, The State University of New Jersey, N.J., USA, 2003.
28. **“The Effect of Waste Leachate on the Mechanical and Rheological Properties of Landfill Plastic Liners”**, Dr A. Dajan and Bethany Forde, 27 October 2000
29. P. Gostelow, S. A. Parsons, and R. M. Stuetz, **“Odour Measurements for Sewage Treatment Works”**, Water Research, **35**(3), pp. 579–597, 2001.
30. V. P. Aneja, B. Bunton, J. T. Walker, and B. P. Malik, **“Measurement and Analysis of Atmospheric Ammonia Emissions from Anaerobic Lagoons”**, Atmos. Environ., **35**, 1949–1958, 2001.
31. E. Davoli, M. L. Gangai, L. Morselli, and D. Tonelli, **“Characterisation of Odorants Emissions from Landfills by SPME and GC/MS”**, Chemosphere, **51**, pp. 357–368, 2003.
32. A. Muezzinoglu, **“A Study of Volatile Organic Sulfur Emissions Causing Urban Odors”**, Chemosphere, **51**, pp. 245–252, 2003.
33. Giancarlo Riva and Anthony Sacco, **“Sewage and Wastewater Odor Control”**, Spartan Environmental Technologies, Mentor, OH, USA, 2007.
34. Eui-Chan Jeon, Hyun-Keun Son, and Jae-Hwan Sa, **“Emission Characteristics and Factors of Selected Odorous Compounds at a Wastewater Treatment Plant”**, Sensors, **9**, pp. 311–326, 2009.
35. Krishna R. Reddy, **“Engineering Properties of Soils Based on Laboratory Testing”**, Department of Civil and Materials Engineering, University of Illinois at Chicago, USA, August 2002.
36. James F. Steffe, **“Rheological Methods in Food Process Engineering”**, 2nd Edition, Freeman Press, East Lansing, Michigan, USA, 1996.
37. أحمد فيصل أصفري: إرشادات في تصميم وتشغيل وصيانة محطات معالجة المياه العادمة ، منظمة الصحة العالمية ، المكتب الإقليمي لشرق المتوسط ، المركز الإقليمي لأنشطة صحة البيئة ، عمان – الأردن ، 2004 م.
38. عبدالرزاق سليمان التومي و محمد الطاهر علي سعد: بكتيريولوجيا مياه الشرب ، مركز بحوث التقنيات الحيوية ، طرابلس – ليبيا ، 2008 م.

39. يوسف إبراهيم المشني: **علم الأحياء الدقيقة** ، الطبعة الثانية ، دار المستقبل للنشر والتوزيع ، عمان – الأردن ، 1994 م.
40. حكمت عبدالكريم فريحات و جمال محمد عثمان: **أساسيات علم الأحياء الدقيقة – الجراثيم** ، مكتبة دار الثقافة للنشر والتوزيع ، عمان – الأردن ، 1990 م.
41. المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية: **المواصفة القياسية الليبية رقم 82 – مياه الشرب** ، م ق ل 82 – 1992 م ، طرابلس – ليبيا.
42. المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية: **المواصفات القياسية الليبية رقم 10 – مياه الشرب المعبأة** ، م ق ل: 1997 م ، طرابلس – ليبيا.
43. المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية: **المواصفة القياسية الليبية رقم 36 – المياه المعدنية الطبيعية** ، م ق ل: 1997 م ، طرابلس – ليبيا.
44. المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية: **مياه الشرب المعبأة** ، م ق ل 10:2007 ، طرابلس – ليبيا ، الإصدار الأول 2007 م.
45. هيئة المواصفات والمقاييس لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية: **مياه الشرب غير المعبأة** ، المواصفة القياسية السعودية ، رقم: 1993/701 م ، المملكة العربية السعودية.
46. World Health Organization, “**WHO’s Drinking Water Standards – 1993**”, Geneva, Switzerland, 1993.
47. US Environmental Protection Agency, “**EPA National Primary Drinking Water Standards**”, Office of Water (4606M), EPA 816–F–03–016, June 2003.
48. Karl Höll and Dietrich Lüdemann, “**Water: Examination, Assessment, Conditioning, Chemistry, Bacteriology, and Biology**”, Walter de Gruyter & Co, Berlin, Germany, 1972.
49. Hach Company, “**Water Analysis Handbook**”, 4th Edition (Revision 3), Loveland, Colorado, U.S.A., 2005.
50. World Health Organization, “**Desalination for Safe Water Supply**”, Guidance for the Health and Environmental Aspects Applicable to Desalination, Geneva, Switzerland, 2007.
51. Bureau of Indian Standards, “**Water Quality Standard – IS 10500:1991**”, Indian Standard Specifications for Drinking Water, BIS, India, 1991.
52. A. R. O’Donnell, J. A. Campbell, and A. M. Gunn, “**Proposed Environmental Quality Standards for Inorganic Tin in Water and Associated Materials**”, Water Research Centre, WRC Environment, Medmenham Laboratory, UK, October 1984.
53. Health Canada, “**Guidelines for Canadian Drinking Water Quality**”, Federal Provincial Territorial Committee on Drinking Water, Health and the Environment, Canada, December 2010.

54. New Jersey Department of Environmental Protection, “**Federal and NJ State Primary and Secondary Drinking Water Standards**”, Division of Water Supply, Bureau of Safe Drinking Water, NJ, USA, February 2005.
55. Calumet Environmental Resource Center (CERC), “**Leaking Underground Storage Tanks: A Threat to Public Health & Environment**”, Chicago State University (CSU), USA, 2005.
56. World Health Organization (WHO), “**Guidelines for Drinking–Water Quality**”, 3rd Edition Incorporating 1st and 2nd Addenda, Volume 1, Recommendations, Geneva, Switzerland, 2008.
57. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), “**Polychlorinated Biphenyls (PCBs)**”, CAS Number: 1336–36–3, Division of Toxicology, Atlanta, Georgia, USA, 27 September 2011.
58. Abdulhamid Dajan, Gary Asmussen, Marion Dunstan, Bill Clarke, and Victor Rudolph, “**Simulation of a Fast Food Chain Landfill in a Static Bed Bioreactor for the Natural Anaerobic Digestion of Solid Protein Waste (SPW)**”, 6th World Congress of Chemical Engineering, Melbourne, Australia, 23–27 September 2001.
59. International Agency for Research on Cancer (IARC), “**Some Drinking–Water Disinfectants and Contaminants Including Arsenic**”, Volume 84, World Health Organization, Lyon, France, 2004.
60. Ministry of Health, “**Drinking–Water Standards for New Zealand (DWSNZ): Micro–organisms and Chemical and Physical Determinands**”, Volume 3, The Datasheets, New Zealand, 2005.
61. Grodno City Municipal Executive Committee, “**Environmental Impact Assessment and Environmental Management Plan**”, Final Report, Integrated Solid Waste Management Project, Republic of Belarus, January, 2010.
62. Susan D. Richardson, “**Environmental Mass Spectrometry: Emerging Contaminants and Current Issues**”, Analytical Chemistry, Vol. 80, No. 12, pp. 4373–4402, 15 June 2008.
63. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), “**Toxicological Profile for Acetone**”, US Department of Health and Human Services, Public Health Service, USA, May 1994.
64. Theodore B. Shelton, Susan E. Scibilia, Christopher C. Obropta, and Sandra M. Goodrow, “**Interpreting Drinking Water Quality Analysis: What Do The Numbers Mean?**”, 6th Edition, Rutgers Cooperative Research & Extension, New Brunswick, New Jersey, USA, January 2006.
65. M. Carol McCartney and Thomas Stolzenburg, “**Risk Associated with Failure of a Proposed Landfill**”, Residual Management Technology (RMT) Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1988.
66. International Agency for Research on Cancer, “**IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Some Industrial Chemicals**”, Volume 77, World Health Organization, Lyon, France, 15–22 February 2000.

67. International Agency for Research on Cancer, **“IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Re-evaluation of Some Organic Chemicals, Hydrazine and Hydrogen Peroxide”**, Volume 71, World Health Organization, Lyon, France, 17–24 February 1998.
68. International Agency for Research on Cancer, **“IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol”**, Volume 88, World Health Organization, Lyon, France, 2006.
69. Annette Shipp, Tracy McDonald, and Cynthia Vanlandingham, **“Hazard Narrative for Tertiary-Butyl Alcohol (TBA)”**, American Petroleum Institute, API Publication 4743, Washington, D.C., USA, October 2005.
70. International Programme on Chemical Safety (IPCS), **“Methyl Ethyl Ketone”**, Environmental Health Criteria 143, United Nations Environment Programme and World Health Organization, 1993.
71. A. M. Dajan, K. Kher, and M. M. Khalifa, **“Detectable Isocyanates During the Weld-Heating of Polyurethane Based Plastic Products”**, Symposium on Modern Welding Technologies and their Role in Improving the Industrial Products, 8–9 October 2003, Tripoli, Libya.
72. New Jersey Department of Health and Senior Services, **“Pesticides in Drinking Water”**, Division of Environmental and Occupational Health, Trenton, NJ, USA, August 1998.
73. Dennis P. McKenna, Susan C. Schock, Edward Mehnert, Susan C. Mravik, and Donald A. Keefer, **“Agricultural Chemicals in Rural, Private Water Wells in Illinois: Recommendations for a Statewide Survey”**, Cooperative Groundwater Report 11, Illinois State Geological Survey and Water Survey, Champaign, Illinois, USA, 1989.
74. Denis Hamilton and Stephen Crossley (editors), **“Pesticide Residues in Food and Drinking Water: Human Exposure and Risks”**, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England, 2004.
75. Environment Canada, **“DINOSEB”**, Guidelines and Standards Division, Canadian Council of Ministers of the Environment, Hull, QC, Canada, 1999.
76. A. Di Bernardo Dantas, C. F. R. Paschoalato, M. S. Martinez, R. R. Ballejo, and L. Di Bernardo, **“Removal of Diuron and Hexazinone from Guarany Aquifer Groundwater”**, Brazilian Journal of Chemical Engineering, Vol. 28, No. 3, São Paulo, Brazil, July/September 2011.
77. Dennis M. Sievers and Charles D. Fulhage, **“Survey of Rural Wells in Missouri for Pesticides and Nitrate”**, Missouri Agricultural Experiment Station, Missouri Department of Natural Resources (MDNR), Ground Water in Missouri Regions (GWMR), MO, USA, Fall 1992.
78. Patrick McInnis, **“Pesticides in Ontario’s Treated Municipal Drinking Water: 1986–2006”**, Environmental Monitoring and Reporting Branch, Ontario Ministry of the Environment, Ontario, Canada, 2010.

79. Australian Groundwater School Notes, “**Chapter 21: Groundwater Contamination**”, National Centre for Groundwater Research and Training, New South Wales, Australia, December 2011.
80. Craig D. Neil and John S. Williams, “**Ethylene Thiourea in Maine Ground Water**”, Maine Geological Survey, State House Station 22, Augusta, Maine, USA, 1988.
81. Arshad Ali, Jai K. Nayar, and Rui-De Xue, “**Comparative Toxicity of Selected Larvicides and Insect Growth Regulators to a Florida Laboratory Population of Aedes Albopictus**”, Journal of the American Mosquito Control Association, Vol. 11, No.1, pp. 72–76, March 1995.
82. J. F. Invest and J. R. Lucas, “**Pyriproxyfen as a Mosquito Larvicide**”, in the Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Pests, William H. Robinson and Dániel Bajomi (editors), Hungary, 2008.
83. Ministry of the Environment, “**Ontario Drinking Water Standards**”, PIBS # 4065e, Ontario, Canada, January 2001.
84. Department of Water Affairs and Forestry, “**Radioactivity Dose Calculation and Water Quality Evaluation Guideline for Domestic Water Use**”, Institute for Water Quality Studies, South Africa, March 2002.
85. S. C. Sheppard, M. I. Sheppard, and B. Sanipelli, “**Review of Environmental Radioactivity in Canada**”, Nuclear Waste Management Organization, NWMO TR–2011–17, Toronto, Ontario, Canada, May 2011.
86. Serena Risica and Sveva Grande, “**Council Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human Consumption: Calculation of Derived Activity Concentrations**”, Istituto Superiore di Sanità, ISSN 1123–3117, Rapporti ISTISAN 00/16, Rome, Italy, 2000.
87. Environmental Protection (England and Wales), “**The Environmental Permitting: Amendment Regulations 2011**”, 2011 No. 2043, The Stationery Office (TSO), Norwich, England, 11 August 2011.
88. STUK – Radiation and Nuclear Safety Authority (Finland), “**Radioactive Wastes and Discharges**”, 2nd Revised Edition, Guide ST 6.2, Helsinki, Finland, 1 July 1999.
89. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), “**Toxicological Profile for Radon**”, US Public Health Service, In collaboration with US Environmental Protection Agency (EPA), USA, December 1990.
90. Health Canada, “**Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document – Radiological Parameters**”, ISBN: 978–1–100–16767–1, Ottawa, Ontario, Canada, 2010.

وتمت بحمد الله