

تحسين نظام التأسيس لخزانات النفط باستخدام طريقة العناصر المحدودة مع الأخذ بنظر الإعتبار إعتامد عوامل التربة على التردد

رياض زكي صبري
riyadhzaki@uomosul.edu.iq

وجدان إبراهيم عواد
wejdan.20enp66@student.uomosul.edu.iq

جامعة الموصل - كلية الهندسة - قسم الهندسة الكهربائية

تاريخ القبول: 2022/5/28

تاريخ الاستلام: 2022/3/15

الخلاصة

تم تخصيص هذا العمل لتطوير نموذج محاكاة لنظام التأسيس و الحماية من الصواعق لخزانات النفط مع أخذ اعتماد معاملات التربة على التردد، حيث قُمننا وبالإعتماد على المعادلات الواردة في الدراسات السابقة بتصميم نموذج تأسيس لخزان نفطي بإخذ إعتامد عناصر التربة على التردد بنظر الإعتبار عن طريق استخدام طريقة العناصر المحدودة وتكوينات مختلفة حيث تم ملاحظة إنخفاض الإرتفاع بجهد الأرض GPR بشكل ملحوظ عند الترددات العالية وخاصة في حالة مقاومة التربة العالية، وكانت نسبة الانخفاض في الإرتفاع بجهد الأرض للنموذج الحالي في حالة التربة الجافة للموقع $1266.65 \Omega.m$ وللتربة الرطبة $596.27 \Omega.m$ ، 22.8% و 23.8% على التوالي، كما وتمت الإشارة إلى ضرورة إجراء قياسات المقاومة للتربة قبل عملية إنشاء الخزان، وضرورة استخدام تكوين الشبكة لنموذج تأسيس خزان النفط في بعض الحالات والتي تكون فيها مقاومة التربة عالية والتي يصعب التخلص من تأثير تيار البرق بالتصميم النموذجي المذكور في NFPA 780 لتأسيس الخزانات.

الكلمات المفتاحية :

تأسيس الخزانات النفطية; إرتفاع جهد الأرض; الحماية من الصواعق; طريقة العناصر المحدودة FEM, CYMGRD.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).
<https://rengj.mosuljournals.com>

1. المقدمة

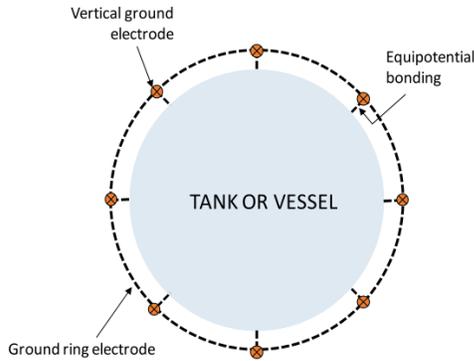
مما يجعلها أكثر عرضة للصواعق . قد يتسبب تأثير الصواعق على خزانات النفط الى حدوث الحرائق والانفجارات مما يؤدي الى خسارة المنتج المخزون وانتشار انبعاثات خطيرة منه وبالتالي حدوث اضرار جسيمة والتسبب بخسائر اقتصادية فادحة [2] . نظرًا الى أن وجود غازات قابلة للاشتعال حول فجوات الهواء، تؤدي

مع زيادة احتياطي النفط الخام في العالم والتوسع التدريجي في حجم الخزانات يزداد أيضاً خطر الصواعق على الخزانات الكبيرة وفقاً للمراجعة السويدية حول حرائق خزانات البترول فان 31% من هذه الحرائق سبب حدوثها الصواعق [1]، ان سبب تكرار حوادث حرائق الخزانات لكونها غير محمية باسلاك الحماية او مانعة الصواعق التقليدية

CYMGRED أيضًا لتقدير الارتفاع بجهد الأرض، وأقصى جهد خطوة وجهد لمس مسموح بها.

2. تأريض الخزانات التي تحتوي على أبخرة قابلة للاشتعال

يتكون نظام التأريض النموذجي للخزانات التي تحتوي على أبخرة قابلة للاشتعال أو السوائل التي يمكن ان ينبعث منها ابخرة قابلة للاشتعال من قطب كهربائي حلقي أرضي أو موصل حلقة أرضية مكمل بأقطاب تأريض عمودية، حيث يجب توفير قطب تأريض عمودي كل 30 مترًا (100 قدم) على الأقل على طول محيط الخزان الشكل 1 يوضح التأريض النموذجي لخزان النفط [1].



شكل 1: الترابط مع الموصلات الأرضية للخزان [6]

في حين أظهرت دراسات حديثة تأثير نوع شبكات التأريض المستخدمة على تصريف تيار البرق لتحديد أهمية المعلمات الكهربائية في تقليل الجهد الزائد بسبب ضربة البرق المباشرة أو غير المباشرة على السقف العائم أو جسم الخزان ، حيث أن Hamed Neyshabouri و Mohsen Niasati [3] أكدوا على أهمية تصميم تأريض الخزانات بدقة واستخدام تكوين الشبكة في حالة مقاومة التربة العالية ، من أجل التقليل من تأثيرات الفولتية المفرطة (*LOVs*) بطريقة أفضل .

3. إعتبارات أساسية بشأن تأثير التردد على معلمات التربة

تقليديًا ، في تقييمات استجابة البرق لأقطاب التأريض ، يُفترض أن تكون معلمات التربة ثابتة في الطريقة المعتادة ، حيث كانت المقاومة تُفترض على أنها القيمة المقاسة عند التردد المنخفض والسماحية النسبية للتربة كان يتم اعتبارها من 4 إلى 81 ، وفقًا للمحتوى المائي للتربة [7] ، حيث تم إهمال تأثير تردد البرق على معلمات التربة

إلى أنه إذا كان هناك مجال كهربائي 3 KV ، فإن شرارة كهربائية صغيرة قد تسبب حريقًا كبيرًا [3]، ولضمان تجنب حدوث شرارة كهربائية وخاصة في النقاط التي تتسرب فيها الابخرة القابلة للاشتعال يجب تحقيق الترابط المتساوي الجهد في جميع اجزاء الخزان ، وبين الخزان و نظام التأريض ، وكذلك بين جميع الأقطاب الكهربائية المستخدمة في تأريض الخزان [4] ، وفقًا لـ NFPA 780 يلزم تركيب وحدات التحويل على الخزانات ذات السقف العائم (الملحق) فوق مانع التسرب على مسافة ثلاثة أمتار أو ما يعادل عشرة أقدام حول محيط الخزان والغرض من ذلك هو توفير مسار موصل من السقف العائم الى هيكل الخزان [1]. إن حدوث حرائق خزانات النفط نتيجة لتعرضها لضربات الصواعق قد يرتبط بشكل اساسي بإخطاء في تصميم نظام التأريض، ويعد توصيف خصائص التربة خطوة اساسية في تصميم أنظمة التأريض ووفقًا للوثائق التنظيمية لمنشآت النفط والغاز يجب ان لا تتجاوز المقاومة لنظام التأريض 10Ω (أو في بعض الحالات 4Ω) والتي توفر حماية أيضاً من الكهرباء الساكنة [6], [5]، من أجل توفير مساراً منخفض المقاومة لتشتيت التيارات نحو التربة وضمان التوزيع السلس للجهود الكهربائية المتطورة على سطح الأرض استجابة لسريان التيارات المتدفقة. إن سلوك أقطاب التأريض المعرضة لتيارات منخفضة التردد بسيط نسبياً ومفهوم جيداً. لكن إستجابة الأقطاب الكهربائية المعرضة لتيارات البرق فيها بعض التعقيدات التي تجعل سلوكها مختلفاً تماماً عن السلوك المعتمد عند التردد المنخفض [7].

أظهرت العديد من الدراسات المستندة الى القياسات المختبرية والميدانية إعتقاد المعلمات الكهربائية للتربة على التردد [9]–[7] حيث أن هذه الدراسات أثبتت تأثير التردد على قيم المقاومة و السماحية وهذا يدل على أن تصميم نظام التأريض الذي يفترض أن المعلمات الكهربائية للتربة ثابتاً سيؤدي إلى أخطاء كبيرة لاسيما في التربة عالية المقاومة. ولقد تم تحديد بعض معلمات نظام التأريض التي تتميز بإستجابة خاصة لضربات البرق الاولى واللاحقة مثل الارتفاع بجهد التأريض GPR ،والممانعة النبضية ،ومعامل النبضة ،ومنطقة الشبكة الفعالة للشبكات المدفونة في تربة ذات مقاومة منخفضة ومتوسطة وعالية ،وتغيير ابعاد الشبكة ،وأخذ إعتقاد معلمات التربة على التردد بنظر الاعتبار وتم إشتقاق الصيغ الرياضية للحصول على الممانعة النبضية ومقاومية التردد المنخفض [10].

يقدم هذا البحث نتيجة استقصائية في الموقع حول المقاومة ومقاومة الأرض R_g للتربة الجافة والرطبة في منطقة الخزن لأحد المصافي. عند قياس مقاومة التربة، تم استخدام طريقة Wenner ذات الأقطاب الأربعة المتساوية في التحقيق. تم استخدام برنامج المحاكاة

وقيمة الارتفاع بجهد التأريض GPR من خلال نتائج نموذج التربة وبيانات الإدخال [14].

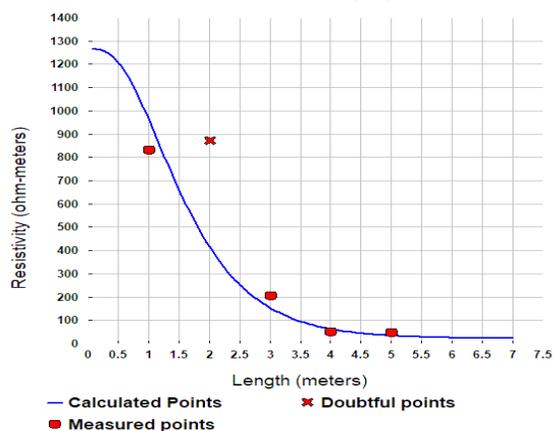
عند إنشاء نموذج للتربة ، يجب أن نحصل على نتائج قياسات مقاومة التربة عند النقطة التي نريد إنشاء الخزان الجديد فيها، في عملنا هذا قمنا بعملية قياس مقاومة التربة لموقع لموقع أحد خزانات مصفى الكسك شمال العراق حقلياً باستخدام طريقة Wenner Four-Contact في حالات الجفاف ومختبرياً عند مستويات مختلفة للمحتوى المائي وفي حالة اعتبار مقاومة الارض ثابتة أولاً يبين الجدول (1) البيانات الحقلية المتمثلة بمقاومة التربة التي تم الحصول عليها . بعد الحصول على القراءات المطلوبة نختار نوع النموذج الذي يمكن أن يكون طبقة واحدة أو طبقتين أو محدد من قبل المستخدم في البرنامج.

جدول 1: قراءات مقاومة التربة في الموقع.

الطول (م)	1	2	3	4	5
المقاومة (Ω.m)	829.3	867	201	47.7	43.9

5. المحاكاة والنتائج

تم إدخال القراءات الحقلية لمقاومة التربة في برنامج CYMGRD والحصول على المنحني في الشكل 2.



شكل 2: منحني قيم مقاومة التربة المقاسة.

من بيانات الإدخال للبرنامج تم الحصول على معلومات طبقات التربة ومقاوميتها، حيث ان الطبقة الأولى كانت بسك $1.15m$ ومقاومية $1266.65 \Omega.m$ بينما الطبقة الثانية والتي يُعتبر سُمكها ما لا نهاية فكانت مقاومتها $20.32 \Omega.m$ ، جدول (2).

حتى وقت قريب بسبب عدم وجود صيغ عامة للتعبير عن هذا الاعتماد على التردد. في عام 2011 ، Visacro و Alipio وآخرون [12] اقترحوا منهجية جديدة لتحديد تباين مقاومة التربة في النطاق النموذجي لمكونات تردد تيار البرق بناءً على القياسات الحقلية ، طور Visacro و Alipio صيغاً عامة لتقدير تباين معاملات التربة الكهربائية في النطاق النموذجي لمحتوى تردد تيارات البرق [10] كما هو موضح ادناه :

$$\rho = \rho_{DC} \{1 + [1.2 \times 10^{-6} \times \rho_{DC}^{0.73}] \times [(f - 100)^{0.65} - 1]\} \quad (1)$$

حيث أن ρ_{DC} هي مقاومة التربة المقاسة عند التردد المنخفض، هذه المعادلة صالحة للترددات من 100 Hz إلى 4 MHz.

4. استخدام طريقة العناصر المحدودة FEM في برنامج

CYMGRD

يوفر نظام التأريض ذو المقاومة الأرضية العالية مسارا غير آمن لتيار البرق، مما يزيد من مخاطر حدوث شرارة أو انفجار إذا ما أصابت الضربة خزانا للنفط. يعد نظام التأريض الجيد مهماً جداً ليس فقط لأسباب تتعلق بالسلامة ولكن أيضاً لمنع الأضرار التي تلحق بالمنشآت والمعدات الصناعية. يعتمد تصميم نظام التأريض الجيد على العديد من العوامل مثل الطقس، وخصائص التربة، والبيئة المحيطة، وترتيب أقطاب التأريض ، إلخ.

نظراً لأنه من الممكن أن يتم الجمع بين أنواع مختلفة من الأقطاب الكهربائية في الاستخدام العملي، فمن الصعب تقدير قيمة مقاومة التأريض بشكل صحيح لقطب كهربائي عشوائي ذي شكل معقد. في حالة تيار البرق النبضي، وليس من المقنع اعتبار قيمة مقاومة الأرض ثابتة، بل من المهم أيضاً مراعاة الجهد العابر، لذا فإن الحسابات الرقمية بما في ذلك طريقة العناصر المحدودة FEM في برنامج CYMGRD مهمة لحساب مقاومة التأريض R_g وتصميم نظام تأريض دقيق لنظام الحماية من الصواعق.

CYMGRD برنامج يعمل على إنشاء وتحليل أنظمة التأريض بمختلف الأشكال والأحجام لمحطات الطاقة والمباني لتلبية متطلبات السلامة والتشغيل يعتمد البرنامج على المعايير الأمريكية من IEEE [13].

يقوم البرنامج بحساب نموذج التربة المكون من طبقتين بالإضافة الى الطبقة السطحية، كما يقوم البرنامج بحساب حدود القيم الآمنة المسموح بها لكل من جهد الخطوة E_s وجهد اللمس E_t وجهد السطح $E_{surface}$

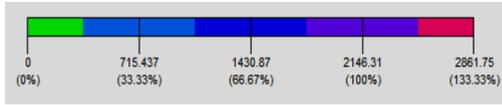
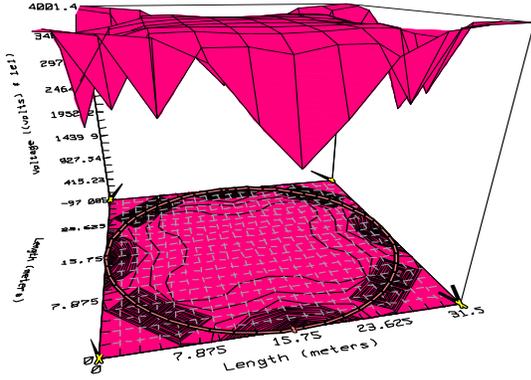
جدول 2: نتائج تحليل نموذج التربة.

Parameters

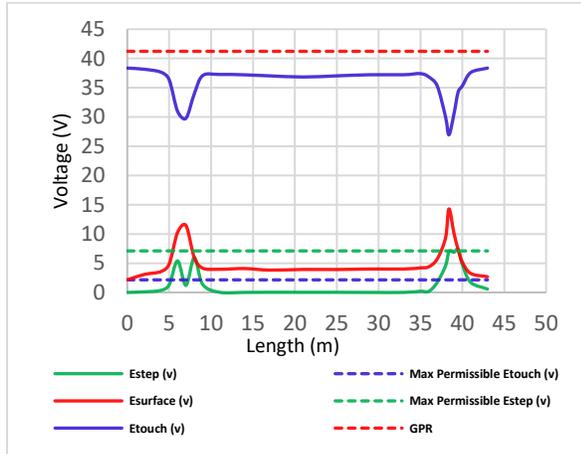
Title	Untitled
Soil Model	Two-Layer
Safety Model	IEEE Std. 80-2000
Surface Layer Thickness	0.15 meters
Surface Layer Resistivity	2500 ohm-m
Shock Duration	0.1 secs
Body Weight	70 kg

Output Results

Upper Layer Thickness	1.15 meters
Upper Layer Resistivity	1266.65 ohm-m
Lower Layer Resistivity	20.32 ohm-m
Maximum Permissible Touch	2146.31 volts
Maximum Permissible Step	7095.8 volts
Reduction Factor Cs	0.886152



(a)



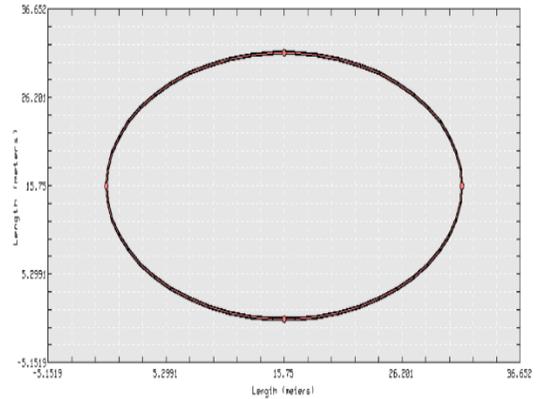
(b)

شكل 4: (a) الشكل الثلاثي الأبعاد للنموذج بعد التنفيذ. (b) منحنيات الجهود المحورية لنموذج التربة الجافة باعتبار مقاومة الأرض ثابتة.

حيث لاحظنا أنه بالرغم من أن مقاومة الأرض قليلة إلا أن قيمة الارتفاع بجهد الأرض وبقيّة الجهود المحورية كانت عالية وهذا يجعل النموذج غير آمن من تأثير تيارات البرق.

أما في حالة زيادة المحتوى المائي للتربة فإن مقاومة الأرض سوف تقل بشكل ملحوظ كما موضح في الجدول (3)، فضلاً عن انخفاض قيمة الارتفاع بجهد الأرض وقيمة الجهود المحورية الشكل 5.

تم تطوير نموذج التأريض للخران، بإستخدام الاقطاب الكهربية الاولى وتم إختيار نوعين من معدات التأريض الموجودة في البرنامج وهي الموصلات الحلقية والقضبان العمودية المرتبة بشكل غير متماثل ، نصف قطر الخزان المدروس 14.75m وبارتفاع 16.4m، تم ادخال موصل حلقي بنصف قطر 15.75m وأربعة قضبان عمودية بطول 3m بحسب توصيات NFPA 780 ، عمق تخزين النموذج $h=0.5m$ بناءً على معيار IEEE 80-2000 [15] على أدنى عمق دفن الشكل 3.

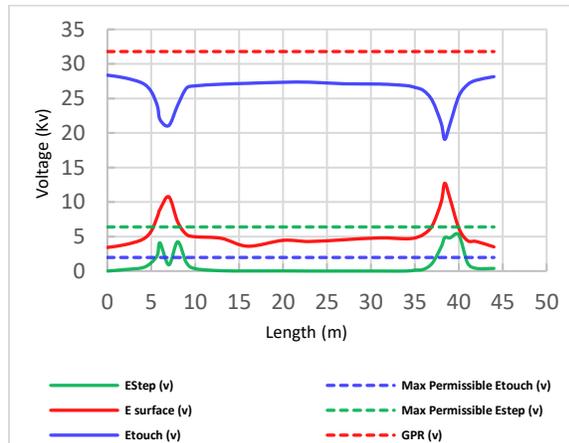


شكل 3: التصميم النموذجي لتأريض خزان النفط.

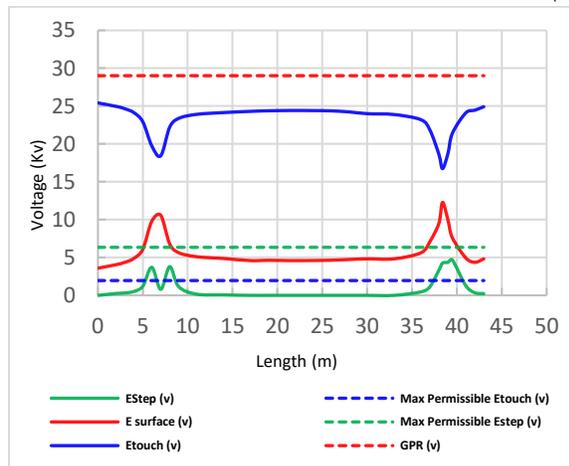
تتميز الضربة الرئيسية للبرق بتيار كهربائي سريع النمو ومعدل ارتفاعه عادة $10kA/\mu s$ تيارات الذروة النموذجية يبلغ متوسطها حوالي 30 kA ، و يكون الحد الأدنى لتيارات البرق هو بضعة كيلو أمبير. بينما تم تسجيل الحد الأقصى لتيارات البرق التي تتجاوز 200 kA [16]. تم تسليط تيار 30kA على نموذج تأريض الخزان في الحالة الاعتيادية حيث التربة جافة وبدون أخذ تأثير تردد تيار البرق على مقاومة الأرض فكانت النتيجة كما موضح في الشكل 4.

شكل 6: منحنى مقاومة التربة مع ترددات البرق النموذجية للتربة الجافة والتربة ذات المحتوى المائي 5% .

بعد إدخال البيانات إلى البرنامج لوحظ أن انخفاض قيمة الإرتفاع بجهد التأريض وكذلك انخفاض قيمة الجهود المحورية للنموذج جدول (4) حيث يصبح الانخفاض أكثر وضوحاً عند أخذ تردد تيار البرق بنظر الإعتبار كما في الشكل 7.



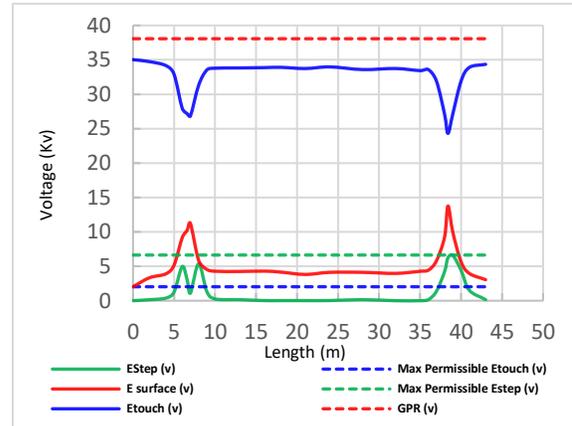
(a)



(b)

شكل 7: (a) منحنيات الجهود المحورية لنموذج التربة الجافة عند تردد 4 MHz. (b) منحنيات الجهود المحورية لنموذج التربة عند تردد 4 MHz وبمحتوى مائي 5% .
جدول 4: نتائج نموذج التأريض عند التردد 4MHz.

العناصر	تربة جافة	تربة رطبة 5%
Rg(Ω)	1.867	1.653
GPR(V)	41219.9	38070.2
E surface(V)	14276	13762
Es(V)	7332.22	6655.05
Et(V)	38353.4	350264



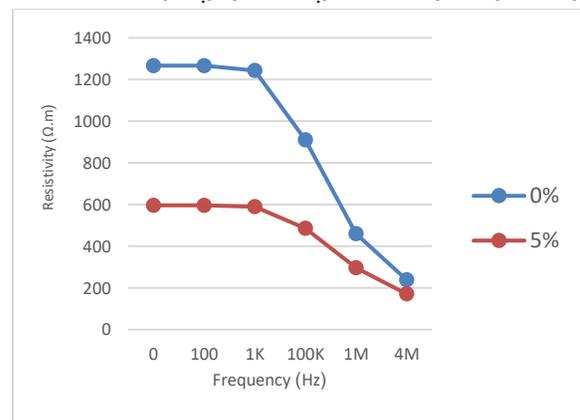
شكل 5: منحنيات الجهود المحورية لنموذج التربة بمحتوى مائي 5% بإعتبار مقاومة الأرض ثابتة.

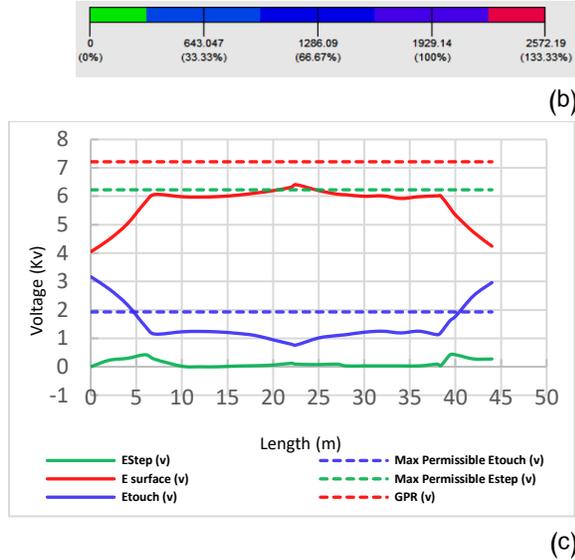
جدول 3: نتائج نموذج التأريض بإعتبار مقاومة الأرض ثابتة للتربة الجافة والرطبة.

العناصر	تربة جافة	تربة رطبة 5%
Rg(Ω)	1.867	1.653
GPR(V)	41219.9	38070.2
E surface(V)	14276	13762
Es(V)	7332.22	6655.05
Et(V)	38353.4	350264

بعد ذلك تم استخدام معادلة (1) للحصول على مقاومة التربة بتأثير مدى لبعض ترددات البرق النموذجية عند التربة الجافة والتربة الرطبة بنسبة 5% كما موضح في شكل (6).

جدول (B) يوضح البيانات المتمثلة بمقاومية التربة وتغيرها مع تغير ترددات البرق النموذجية عند التربة الجافة والتربة الرطبة بنسبة 5%.



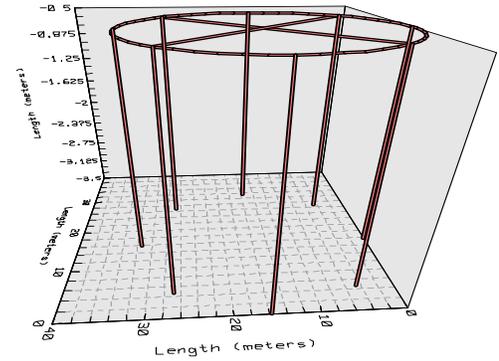


(b)

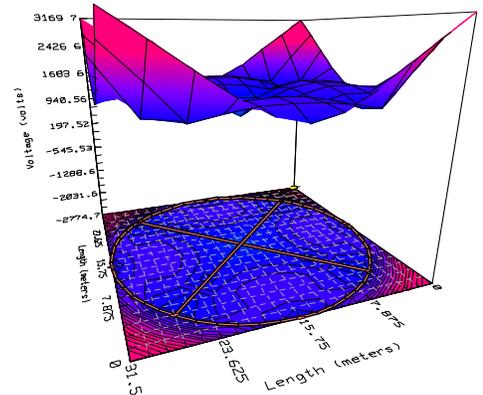
Rg(Ω)	1.2765	1.127
GPR(V)	31790.3	29010.3
E surface (V)	12716	12276.1
Es(V)	5259.21	4672.44
Et(V)	28368.8	25418.1

لوحظ من خلال النتائج التي تم الحصول عليها إنخفاض قيمة الأرتفاع بجهد الأرض GPR بنسبة 22.8% و 23.8% للتربة الجافة والرطبة على التوالي، عند تردد 4MHz بالنسبة للنموذج الحالي. أما بالنسبة للنموذج بشكل عام وعند قيمة تيار البرق 30kA على الرغم من أن مقاومة التأسيس وصلت لقيمة قليلة ألا إن قيمة الإرتفاع بجهد الأرض لايزال عالياً وخطراً ولا بد من تقليبه بأحدى الطرق المتاحة مثل المعالجة الكيميائية للتربة أو زيادة عدد الاقطاب أو طولها ومن الممكن أيضاً استخدام تكوينات مختلفة لنموذج التأسيس مثل استخدام الشبكة.

في عملنا هذا قمنا بإستخدام المعالجة الكيميائية وكذلك قمنا بإضافة موصلات وقضبان إضافية من أجل توفير مسار لتيار البرق بشكل صحيح لتصرفه إلى عمق الأرض وبالتالي حماية الخزان بشكل أفضل الشكل 8.



(a)



الشكل (6): (a) الشكل الثلاثي الابعاد للنموذج (b) الشكل الثلاثي الابعاد للنموذج بعد التنفيذ يظهر فيه التوزيع الآمن للجهد على الشبكة (c) منحنيات الجهود المحورية بعد تعديل النموذج والمعالجة الكيميائية. يُظهر الشكل (8) التوزيع الآمن للجهود المحورية داخل شبكة تأريض الخزان وكذلك إنخفاض قيمة الإرتفاع بجهد الأرض الى قيمة مقبولة، حيث أن برنامج CYMGRD يُساعد في معرفة النقاط التي تتركز فيها الجهود العالية وبذلك يُسهل رؤية مواقع الخطر والأمان في النموذج جدول 5 يوضح القيم التي تم الحصول عليها.

من الجدير بالذكر أن تأريض الخزانات داخل منطقة معينة يكون مرتبط ضمن شبكة موحدة لكل منطقة الخزن مما يزيد من نسبة أمان منظومة التأسيس.

جدول 5: نتائج نموذج التأسيس بعد التعديل والمعالجة الكيميائية.

العناصر	نظام التأسيس بعد استخدام عناصر تأريض اضافية والمعالجة الكيميائية
Rg(Ω)	0.2236
GPR(v)	7214.9
E surface (v)	6409.45
Es(v)	422.86
Et(v)	3168.48

6. الإستنتاج

- [5] I. S. Sukhachev, P. V. Chepur, S. V. Sidorov, V. V. Sushkov, I. S. Latypov, and G. Y., "Development of a simulation model of a grounding and lightning protection system for oil storage tanks, taking into account soil heterogeneity," *Neft. Khozyaystvo - Oil Ind.* 2021.
- [6] C. Gomes, "Lightning Science, Engineering, and Economic Implications for Developing Countries," *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 780. pp. 173–201 2020.
- [7] R. Alipio and S. Visacro, "Impulse efficiency of grounding electrodes: Effect of frequency-dependent soil parameters," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 29, no. 2. pp. 716–723, 2014. doi: 10.1109/TPWRD.2013.2278817.
- [8] R. Alipio and S. Visacro, "Frequency Dependence of Soil Parameters: Experimental Results, Predicting Formula and Influence on the Lightning Response of Grounding Electrodes," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 55, no. 1, pp. 132–139, 2013, doi: 10.1109/TEMC.2012.2210227.
- [9] Q. Li et al., "On the influence of the soil stratification and frequency-dependent parameters on lightning electromagnetic fields," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 178, 2020, doi: 10.1016/j.epsr.2019.106047.
- [10] S. Visacro, R. Alipio, C. Pereira, M. Guimarães, and M. A. O. S., "Lightning response of grounding grids: Simulated and experimental results," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. pp. 121–127 2015.
- [11] T. Christine Porter, "NFPA 780 Standard for the Installation of Lightning Protection Systems," in www.nfpa.org, pp. 31–32 2020.
- [12] S. Visacro, R. Alipio, M. H. Murta Vale, and C. P., "The response of grounding electrodes to lightning currents: The effect of frequency-dependent soil resistivity and permittivity," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, pp. 401–406 2011.
- [13] S. Ilenin, Z. Conka, M. Ivancak, M. Kolcun, and G. Morva, "New way in design of a power station earthing system," *CANDO-EPE 2018 - Proceedings IEEE International Conference and Workshop in Obuda on Electrical and Power Engineering*. pp. 163–167, 2019. doi: 10.1109/CANDO-EPE.2018.8601127.
- [14] S. k. Algehiche and R. Sabry, "Studying the Effect of Adding the Concrete Reinforcement Grid Rods to the Grounding System of the Mosul Secondary University Distribution Station," *Al-Rafidain Eng. J.*, vol. 26, no. 2, pp. 179–186,

في هذا البحث تم تصميم نموذج تأريض لخزان نفطي باستخدام طريقة العناصر المحدودة *FEM* والتي تساعد في تصميم شبكات التأريض ذات الأشكال المعقدة بشكل صحيح، وتم أخذ تأثير تردد تيار البرق وزيادة المحتوى المائي على مقاومة التربة بنظر الإعتبار وذلك لإهميته في إنشاء تصميم صحيح لنظام التأريض. وتكمن تلك الأهمية في تقليل هذا التأثير لمقاومة التأريض وإرتفاع جهد الأرض *GPR* والذي لوحظ إنخفاضه بشكل ملحوظ مع زيادة التردد حيث انخفضت قيمته للتربة الجافة بنسبة 22.8% وللتربة الرطبة بنسبة 23.8% للنموذج الحالي، فضلاً عن إنخفاض قيمة الجهود المحورية (جهد اللمس وجهد الخطوة وجهد السطح).

إن تأثير التردد يكون ضئيل جداً في حالة مقاومة التربة القليلة، ولكنه يكون أكثر وضوحاً للمقاومات العالية. كما تم توضيح أهمية تحسين نموذج نظام التأريض من خلال إجراء المعالجة الكيميائية للتربة وزيادة عدد قضبان وموصلات التأريض، حيث لوحظ أن التصميم النموذجي لخزانات النفط قد يكون غير مجدياً في بعض الحالات والتي ترتفع فيها مقاومة التربة الى قيم عالية فكان لا بد من إستخدام اشكال مختلفة لشبكة التأريض مختلفة من أجل الوصول الى قيمة الجهود الآمنة المتمثلة بجهد اللمس وجهد الخطوة وجهد السطح و *GPR* والتي تضمن سلامة الخزان في حال تعرضه لضربة صاعقة، وهذا يدل على ضرورة إجراء قياسات مقاومة التربة وتحديد شكل نظام التأريض المناسب الذي يوفر الحماية للخزان قبل عملية إنشاء الخزان.

7. المصادر

- [1] H. Hai-yan and L. Q., "Research on lightning sparks discharge and protection measures of large floating roof tank(2012)." *International Conference on Lightning Protection (ICLP) 2012*.
- [2] A. Necci, G. Antonioni, S. Bonvicini, and V. Cozzani, "Quantitative assessment of risk due to major accidents triggered by lightning," *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 154. pp. 60–72, 2016. doi: 10.1016/j.res.2016.05.009.
- [3] H. Neyshabouri and M. N., "Transient investigations on lightning overvoltages applied on oil tanks roof considering grounding configurations." *Electrical Engineering 2022*.
- [4] A. Galván and C. G., "Protection of oil storage tanks against direct lightning strikes: Self protection scheme or standalone LPS?," in *2013 International Symposium on Lightning Protection*, pp. 309–313 2013.

Protection Handbook,” Iec 62305-1. 2010.

2021, doi: 10.33899/rengj.2021.130845.1122.

[15] “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.” doi: DOI: 10.1109/IEEESTD.2015.7109078.

[16] International Standard IEC 62305, “Lightning

Improving Grounding System for Oil Tanks Using Finite Element Method, Taking into Account the Frequency Dependence of Soil Parameters

Wejdan I. Awad

wejdan.20enp66@student.uomosul.edu.iq

Riyadh Z. Sabry

riyadhzaki@uomosul.edu.iq

Electrical Engineering Department, Collage of Engineering, University of Mosul, Mosul, Iraq

Abstract:

This work was devoted to the development of a simulation model of the grounding and lightning protection system for oil tanks, taking into account the frequency dependence of soil parameters, where we, based on the equations mentioned in previous studies, designed a grounding model for an oil tank taking into account the frequency dependence of soil parameters by using the finite elements method. and for different configurations, where it was observed that the grounding potential rise GPR was significantly reduced at high frequencies, especially in the case of high soil resistivity, the percentage of decrease in the grounding potential rise in the case of dry soil for the studied site 1266.65 $\Omega.m$ and for wet soil 596.27 $\Omega.m$, respectively, 22.8% and 23.8%, respectively. and it was pointed out the necessity of conducting soil resistivity measurements before the tank construction process, and the need to use the network configuration of the oil tank grounding model in some cases where the soil resistivity is high and it is difficult to eliminate the effect of lightning current with the typical design mentioned in NFPA 780 for tank grounding.

Key words:

grounding of oil tanks; grounding potential rise GPR; lightning protection; finite element method FEM; CYMGRD.

ملحق A

جدول الرموز والمصطلحات

الوحدة	الرمز	التعريف باللغة الإنكليزية	التعريف باللغة العربية
Ω	Rg	ground resistance	مقاومة التأسيس
V	GPR	ground potential rise	ارتفاع جهد الأرض
$\Omega.m$	ρ	soil resistivity	مقاومية التربة
$\Omega.m$	ρ_{DC}	soil resistivity at low frequency	مقاومية للتربة عند التردد المنخفض
V	Es	Max Permissible Estep	أقصى جهد خطوة
V	Em	Max Permissible Etouch	أقصى جهد لمس
	NFPA 780	Standard for the Installation of Lightning Protection Systems	معياري لتركيبي انظمة الحماية من الصواعق
الوحدة	الرمز	التعريف باللغة الإنكليزية	التعريف باللغة العربية
	الخزانات ذات السقف العائم	Tanks that do not have a fixed roof, but rather are floating above the product in the tank in order to reduce evaporation in large surface areas to reduce the risks that may result from evaporation	هم الخزانات التي لا يكون لها سقف ثابت بل يكون عائماً فوق المنتج الذي في الخزان، وذلك لتقليل التبخر في المساحات السطحية الكبيرة لتقليل من المخاطر التي قد تنجم من حالة التبخر

ملحق B

جدول (B): تغير مقاومية التربة مع ترددات البرق النموذجية عند التربة الجافة والتربة الرطبة بنسبة 5%.

Frequency Moisture contain	100	1K	100K	1M	4M
0%	1266.65	1243.7	909.6	459.8	238.1
5%	596.27	590	486.1	296.3	170.7