

## دراسة تأثير إضافة قضبان شبكة تسليح الأسس الخرسانية إلى منظومة تأريض محطة توزيع جامعة الموصل الثانوية

رياض زكي صبري  
riyadhzaki@uomosul.edu.iq

صالح خضر أحمد  
saleh.enp35@student.uomosul.edu.iq

جامعة الموصل - كلية الهندسة - قسم الهندسة الكهربائية

تاريخ القبول: 18/8/2021

تاريخ الاستلام: 14/7/2021

### الخلاصة

في هذا البحث أجريت دراسة لإعادة تقييم مستويات الأمان لمنظومة تأريض محطة توزيع جامعة الموصل الثانوية، وذلك بأخذ تأثير إضافة موصلات شبكة تسليح الأسس الخرسانية على توزيع الإجهادات الكهربائية الناتجة من الأعطال لنظام التأريض المنفذ من قبل شركة (MATELEC s.a.l) اللبنانية. اعتمد تيار عطل بقيمة (20kA)، أسخدم برنامج CYMGRD لإعادة تصميم نظام التأريض المنفذ من قبل الشركة على مرحلتين، أولاً دون أخذ تأثير شبكة تسليح الأسس، ومن ثم أُعيد تصميم نظام التأريض وذلك بإضافة شبكة تسليح الأسس المنفذة داخل الكونكريت وربطها مع منظومة التأريض الأساسية المكونة من موصلات وقضبان التأريض، وتبين من النتائج التأثير الكبير لشبكة تسليح الأسس في تقليل مستويات جهد اللمس (Em) بنسبة وصلت إلى 33%.

### الكلمات المفتاحية:

شبكة تسليح الأسس الخرسانية؛ توزيع الإجهادات الكهربائية؛ منظومة التأريض؛ جهد اللمس (Em).

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

الأقطاب الكهربائية الأخرى، بشكل عام أقل من (1Ω) [5]. في عام 1991 قام الباحثان N. Barbeito and F. Dawalibi بقياس وحساب مقاومة التأريض (Rg) وأجهادات السطح الكهربائية (E<sub>surface</sub>) لنظام التأريض المنفذ في تربة متعددة الطبقات أخذت النتائج خلال مراحل التنفيذ المختلفة بدءاً من شبكة مكونة من حلقة واحدة إلى اكتمال التصميم النهائي المكون من العديد من الشبكات المنتظمة، كشفت النتائج الميدانية أن زيادة عدد حلقات نظام التأريض تساهم في تقليل قيم كل من جهد اللمس وجهد الخطوة [6]. وفي عام 2009 قام الباحثان Dawalibi و jinxi ma بدراسة التحليل المحوسب للألواح التأريض في التربة متعددة الطبقات الأفقية وتم عرض النتائج العددية لمختلف التكوينات مثل الألواح ذات قضبان التأريض والألواح بشكل صندوق معدني مكون من ستة صفائح (وجوه الصندوق) حيث وفر النموذج أدنى قيمة لمقاومة التأريض وجهد اللمس وكذلك توصل الباحث إلى أنه يمكن استخدام نموذج الألواح لتقريب الاقطاب الكهربائية في الخرسانة التي لا يمكن صياغتها بدقة بسبب الزيادة الكبيرة لعدد الموصلات المستخدمة في التسليح [7].

يأخذ نظام التأريض أهمية خاصة وذلك للدور المهم والفعال في الحفاظ على سلامة الأنسان والأجهزة الكهربائية من تأثير الإجهادات الكهربائية المصاحبة لتيارات الأعطال الكبيرة [1]. وتكمن المشكلة الرئيسية لنظام التأريض كون مقاومة الأرض لها قيمة ثابتة ومحددة، وبالتالي قد يصبح جهد الهياكل المؤرصة مختلفاً عن الجهد الكهربائي لنقاط الأرض البعيدة أثناء التشغيل غير الطبيعي، والمتمثل بظروف الخطأ (العطل) والذي قد يكون عطل غير متماثل للغاية (asymmetric fault). يتم حساب أقصى جهد خطوة E<sub>s</sub> وأقصى جهد لمس Em كدالة لمتوسط التيار لكل وحدة من الطول الفعال للموصلات المدفون (IG/LM). إضافة إلى العوامل الهندسية مثل Km و Ks ومقاومة التربة ρ [2], [3]. يمكن استخدام قضبان التسليح المستخدمة في الأسس الخرسانية كأقطاب تأريض مساعدة أو أساسية [4]. بشرط أن تكون آلية ترابط موصلات التأريض محكمة. إذ سيوفر العدد الكبير من هذه الأسس المترابطة مع بعضها مقاومة تأريض أقل بكثير من تلك التي توفرها طرق

## 2. الأساس النظري

يمكن أن تتقارب كثافة موصلات شبكة تسليح الأسس الكونكريتية لتشكل لوحة تأريض معدنية. ولتحديد توزيع التيار في لوحة التأريض المعدنية، يتم تقسيم اللوحة إلى عناصر صغيرة (قطع) بحيث يمكن افتراض أن التيار المتسرب من كل منها منتظم، تستخدم طريقة FEM لتحليل تدفق التيار باستخدام مجموعة إجهادات الشبكة. ويتم بعد ذلك بناء معادلة مصفوفة، سيؤدي حل معادلة المصفوفة، جنباً إلى جنب مع معادلة حفظ التيار إلى حساب التيار المتسرب من كل عنصر من عناصر اللوحة بعدها يمكن إيجاد مقاومة التأريض من قسمة الجهد على التيار، يتمثل العيب الرئيسي لهذه الطريقة في اختيار حجم النموذج أي مسافة الأرض التي يجب أخذها بعين الاعتبار بدءاً من قطب التأريض إلى النقطة المحددة في التربة التي يتم تحليل الإجهادات عندها [12]. تم تطوير طرق FEM الجديدة من قبل الباحثون، للتغلب على العيب الرئيسي لطريقة FEM القديمة. في الخطوة الأولى، يفترضون أن مقاومة التأريض لا تعتمد على الجهد أو التيار الذي يمر في القطب. الافتراض الثاني يستند على أن المنطقة هي سطح مستو لانتهائي. يبين الشكل (1) نموذج هذه الطريقة.

شكل 1: نموذج طريقة العناصر المحددة الحديثة (New

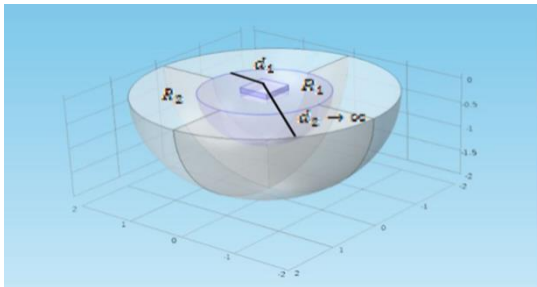
(FEM) [13]

إذ أن  $d_1$  هي المسافة من القطب إلى النقاط على النموذج شبه الكروي للسطح متساوي الجهد.  $d_2$  تمثل المسافة من القطب إلى النقاط التي يتلاشى فيها الجهد الكهربائي إلى الصفر. من الناحية الفنية، هذه النقطة في اللانهاية [14], [13].

من خلال التجارب التي أجراها الباحثون على التربة الموحدة يمكن إيجاد  $d_1$  من المعادلة التالية.

$$d_1 = \frac{Dm}{2} + 30 \quad \dots \dots \dots (1)$$

إذ أن  $Dm$  هي المسافة القطرية لشبكة التأريض من



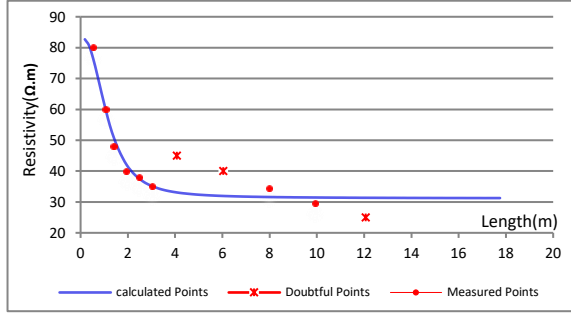
الشكل (1.2) يمكن حساب مقاومة التأريض.

$$R = R_1 + R_2 \quad \dots \dots \dots (2)$$

يتم حساب  $R_1$  باستخدام FEM من الطاقة المشتتة نتيجة المجال الكهربائي.

$$R_1 = \frac{V^2}{\text{Dissipated power}} = \frac{(VG-VB)^2}{\int E \cdot J \cdot dv} = \frac{(VG-VB)^2}{\int \sigma E^2 dv} \quad (3)$$

وفي عام 2010 قام الباحثان H. Kazemi و M. Arabi بتحليل عمل نظام تأريض توربينات الرياح المكونة من شبكة كثيفة من قضبان تسليح الأسس باستخدام برنامج CYMGRD، وتوصل الباحثان إلى أنه يمكن تحسين كلاً من جهد اللمس وجهد الخطوة إلى المستويات الآمنة عن طريق ربط أنضمة التأريض لتوربينات الرياح مع بعضها أو باستخدام طبقة سطحية ذات مقاومة عالية [8]. وفي عام 2013 قام siow chun lim و اخرون بدراسة التأريض بشكل قفص من الحديد المغصى بالخرسانة والبيتوناييت تحت ظروف مقاومة التربة العالية، تستخدم هذه الطريقة الاطار المعدني لأسس البناء لغرض تفريغ الشحنات الغير مرغوبة مثل شحنات البرق إلى التربة المحيطة، تبين أنه بوجود الرطوبة تكون الخرسانة فعالة، ولكن في البلدان الاستوائية الحارة تقل الرطوبة وبالتالي تصبح مقاومة الخرسانة عالية [9]. في عام 2014 قام Nevil Jose بدراسة تصميم نظام تأريض لمحطة GIS فرعية (kV11/33) في موقع التربة الصحراوية عالية المقاومة في مدينة دبي باستخدام برنامج CYMGRD، وأُعيد تيار عطل بقيمة ( $I_o=40kA3$ ). وتوصل الباحث إلى أنه يمكن استخدام بيانات مقاومة التربة المناسبة وبرامج التصميم، يمكن تنفيذ تصميم تأريض آمن وفعال من حيث التكلفة للمحطات الفرعية في مواقع ذات المقاومة المرتفعة [9]. وفي عام 2015 قام Vassiliki T. Kontargyri و اخرون بتحليل كامل خطوة بخطوة لتصميم نظام تأريض لمزرعة الرياح، وتم اقتراح تحسينات لنظام التأريض في حالات زيادة قيم مقاومة الأرض وجهد اللمس غير الآمن، بالإضافة إلى ذلك، تم فحص تأثير الخرسانة لأسس توربينات الرياح بهدف التصميم الأكثر كفاءة لنظام تأريض مزرعة الرياح، وتوصل الباحثون إلى ان جميع الكميات الفيزيائية يُتوقع أن يكون لها تأثير على نظام التأريض مثل (نموذج بنية التربة، ومقاومة التربة، وطول الموصل، وهندسة نظام التأريض، وما إلى ذلك) [10]. وفي عام 2021 قام الباحثون Osman Abu Bakar and et al بدراسة نوعين من أقطاب التأريض المصنوعة من النحاس والصلب المجلفن، مع استخدام مواد تعزيز التربة مكونة من خليط من البينتوناييت ورماد قشور جوز الهند، وجد أن القطب النحاسي أفضل من القطب الصلب المجلفن، لكون الصلب المجلفن يمتلك مقاومة تآكل أقل من النحاس وهذا كان سبباً لارتفاع مقاومة التأريض، وعليه يُعد رماد جوز الهند والبينتوناييت توليفة غير مناسبة مع الأقطاب المجلفنة [11].



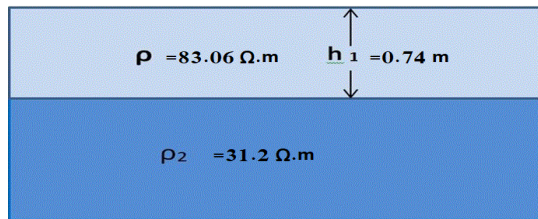
شكل 2: منحني القيم المحسوبة لمقاومة التربة.

بعد ذلك يقوم البرنامج بحساب نموذج التربة المكون من طبقتين والذي يكافئ التربة الحقلية في الموقع، كما يقوم البرنامج بحساب حدود القيم الآمنة المسموح بها لكل من جهد اللمس وجهد الخطوة من خلال نتائج نموذج التربة وبيانات الإدخال كما موضح بالجدول (2).

جدول 2: بيانات الإدخال ونتائج تحليل نموذج التربة.

Soil analysis report	
Parameters	
Title	Untitled
Soil Model	Two-Layer
Safety Model	IEEE Std. 80-2000
Body Weight	70 kg
Surface Layer Thickness	0.7 meters
Surface Layer Resistivity	3000 ohm-m
Shock Duration	0.5 secs
Output Results	
Upper Layer Thickness	0.74 meters
Upper Layer Resistivity	83.06 ohm-m
Lower Layer Resistivity	31.18 ohm-m
Reduction Factor Cs	0.94127
Maximum Permissible Touch	1162.49 volts
Maximum Permissible Step	3983.88 volts
RMS Error	13.12 %

كما يبين الشكل (3) نموذج التربة المكافئ للتربة الحقلية وحسب نتائج الجدول (2).



شكل 3: نموذج التربة الذي يكافئ التربة الحقلية.

#### 4. تحليل الإجهادات الكهربائية لنظام التأريض

يعتمد تحليل الإجهادات الكهربائية لنظام التأريض على عاملين رئيسيين وهما مقاومة نظام التأريض  $R_g$  إضافة إلى مقدار تيار العطل المتماثل الذي يتدفق إلى التربة من خلال شبكة التأريض  $IG$ . يحدد قيمة مقاومة التأريض  $R_g$  عدة عوامل أهمها مقاومة التربة وتركيب طبقاتها، إضافة إلى تصميم نظام التأريض. أما مقدار تيار العطل  $IG$  فإنه يعتمد على ممانعة نظام تجهيز القدرة، وموقع حدوث العطل.

أعتمدت الشركة المنفذة للمشروع على تيار عطل مقداره (1kA) عند التحليل لحساب إجهادات اللمس والخطوة لنظام التأريض ودون إدخال تأثير موصلات شبكة تسليح الأسس. تشير

إذ أن  $VG$  هو جهد الشبكة،  $VB$  هو الجهد في الحدود  $d_1$ ،  $R_2$  يمكن حسابها على أنها مقاومة قطب نصف كروي نصف قطره  $d_1$ .

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi d_1} \dots \dots (4)$$

من المعادلتين (4) و(3) والمعادلة (2) نحسب مقاومة شبكة التأريض. بعد ذلك يمكن تحديد جهد الخطوة واللمس اعتماداً على الخطوات الآتية.

أولاً: يتم تحديد جهد الشبكة الفعلية ( $VAG$ ) عن طريق تحليل العناصر المحدودة (والذي يمثل الارتفاع الأقصى لجهد الأرض).

$$VAG = R \times IG \dots \dots (5)$$

ثانياً: يتم حساب الجهد الفعلي للحدود ( $VAB$ ) من المعادلة.

$$VAB = R_2 \times IG \dots \dots (6)$$

يمثل  $IG$  التيار المتدفق بواسطة شبكة التأريض إلى التربة أثناء العطل. بمجرد حساب جميع فروقات الجهد، من الاختلافات في جهد العقد (والذي يمثل جهد السطح) يتم حساب جهد اللمس، الذي يمثل الفرق بين الارتفاع الأقصى لجهد الأرض وجهد الأرض أو (جهد السطح  $E_{surface}$ )، في حين يمثل جهد الخطوة الفرق في الجهد الذي يظهر على السطح لنقطتين تكون المسافة بينهما متر واحد [3]، [12]، [13].

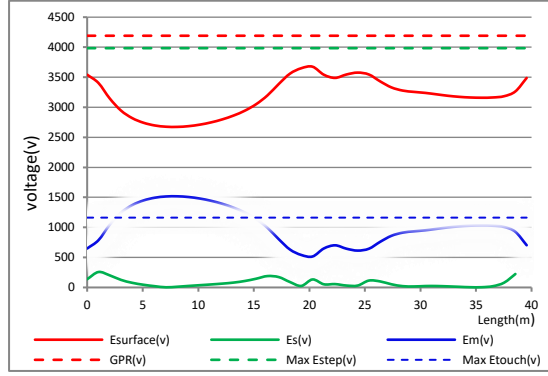
#### 3. تحليل نموذج التربة

يوفر برنامج CYMGRD إمكانية جيدة للتعامل مع بيانات الفحوصات الحقلية للتربة غير المنتظمة وتحليلها بهدف الحصول على نموذج التربة المكون من طبقتين والذي يكون مكافئاً لنموذج التربة غير المنتظمة باستخدام طريقة تقليل دالة الخطأ. يبين الجدول (1) نتائج الفحوصات الحقلية لمقاومة التربة (تم إجراء هذه الفحوصات من قبل المكتب الاستشاري لجامعة الموصل).

جدول 1: نتائج الفحوصات الحقلية لمقاومة التربة الظاهرية

d(m)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	4	6	8	10
$\rho(\Omega m)$	80	60	48	40	38	35	45	40	34	29

يمثل الشكل (2) منحني قيم مقاومة التربة المحسوبة بواسطة برنامج CYMGRD والتي حُصل عليها اعتماداً على نتائج الفحوصات الحقلية بعد إدخالها إلى البرنامج.



شكل 6: منحنيات الجهد لمحور منظومة التأريض الأساسية.

وبيين الجدول (3) بيانات الإدخال ونتائج خواص منظومة التأريض.

جدول 3: بيانات الإدخال ونتائج خواص منظومة التأريض

Grid analysis report			
Parameters			
Equivalent Parallel Z Spec.	Current Split Factor		
Nominal Frequency	50 hz		
Bus ID	Unknown		
LG Fault Current	20000 amps		
Remote Contribution	50 %		
LG X/R	20		
Rtg	15 ohms		
Transmission Lines	2		
Rdg	25 ohms		
Distribution Feeders	0		
Shock Duration	0.5 secs		
Upper Layer Thickness	0.74 meters		
Upper Layer Resistivity	83.06 ohm-m		
Lower Layer Resistivity	31.18 ohm-m		
Rod Encasement Resistivity	3 ohm-m		
Output Results			
Parallel Z (interpolated)	1.33195 ohms	Ground Potential Rise	4190.77 volts
Split Factor	0.351833	Calculated Ground Resistance	0.560922 ohms
Decrement Factor	1.06176	Equivalent Impedance	0.394702 ohms
Potential Thresholds			
Ground Potential Rise	4190.77 volts		
Maximum Permissible Step	3983.88 volts		
Maximum Permissible Touch	1162.49 volts		
Maximum			
Surface Potentials	3692.49 volts		
Step Potentials	234.56 volts		
Touch Potentials	1523.04 volts		

يتبين من الأشكال (5) و(6)، والجدول (3) وجود مناطق إجهاد لمس خطرة تجاوزت القيمة العظمى المسموح بها لجهد اللمس .

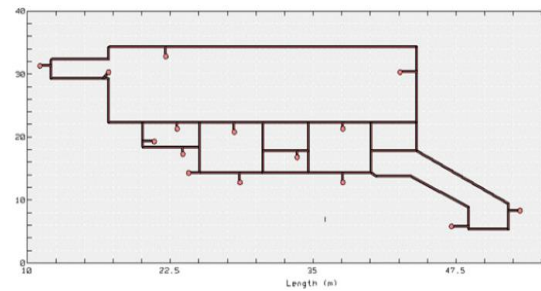
## 2.4 تحليل توزيع الإجهادات الكهربائية لمنظومة التأريض مع تأثير شبكة تسليح الأسس

أعيد تصميم نظام التأريض مع إدخال موصلات شبكة تسليح الأسس، يبين الشكل (7) عرض ثلاثي الأبعاد لمنظومة التأريض الأساسية إضافة إلى شبكة تسليح الأسس الخرسانية.

المصادر إلى ان المعاوقة المستخدمة في تخفيض تيار العطل يمكن ان تعطي تخفيضاً بنسبة من (25-60%) من قيمة أعظم تيار عطل لذلك فإن القيمة المستخدمة لتيار العطل من قبل شركة *MATELEC s.a.l* اللبنانية والبالغة (1kA) هي قيمة غير صحيحة في محطة قد يصل تيار العطل الأعظم فيها إلى (50kA) لذلك تم أخذ تيار العطل في البحث بقيمة (20kA) والتي تقابل نسبة تخفيض 60% من أعظم تيار عطل [5].

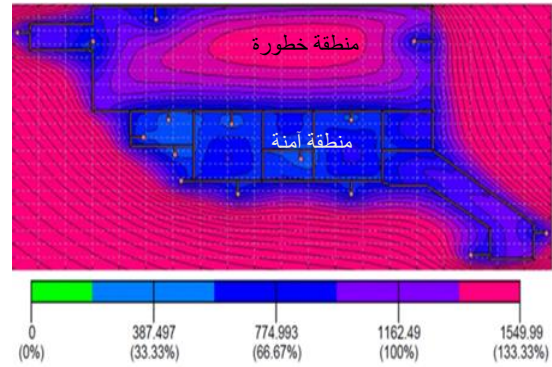
## 1.4 تحليل توزيع الإجهادات الكهربائية لمنظومة التأريض الأساسية

أعيد حساب وتحليل توزيع الإجهادات، وعند تيار عطل يبلغ (20kA)، لحالة منظومة التأريض ودون إدخال تأثير شبكة تسليح الأسس. يبين الشكل (4) منظومة التأريض المصممة من قبل الشركة المنفذة.



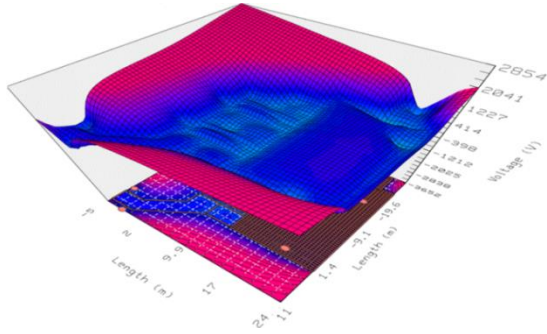
شكل 4: مخطط منظومة التأريض الأساسية.

استُخدمت المعالجة الكيميائية حول قضبان التأريض بمادتي البينتونايت والطين الأحمر وتعطي هذه التركيبة بقطر (30cm) حول القضيب مقاومة بحدود (3.5Ωm) [15]. يبين الشكل (5) توزيع جهد اللمس لنظام التأريض عند تيار عطل (20kA).



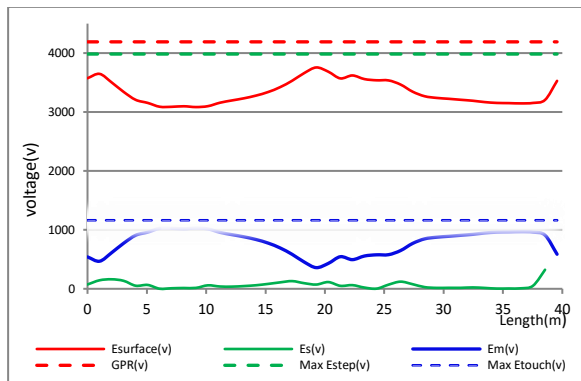
شكل 5: جهد اللمس عند تيار عطل (20kA).

كما يبين الشكل (6) منحنيات جهد اللمس وجهد الخطوة وجهد السطح لمحور نظام التأريض.



شكل 9: منظر ثلاثي الأبعاد يوضح توزيع جهد اللمس الآمن.

كما توضح منحنيات الجهد في الشكل (10) إن جهد اللمس أصبح أقل من القيم العظمى المسموح لجهد اللمس .



شكل 10: منحنيات توزيع الجهد لمحور منظومة التأريض عند إدخال تأثير شبكة تسليح الأسس الخرسانية.

ويبين الجدول (5)، نسبة التحسين في قيم خواص نظام التأريض عند توصيله إلى شبكة تسليح الاسس.

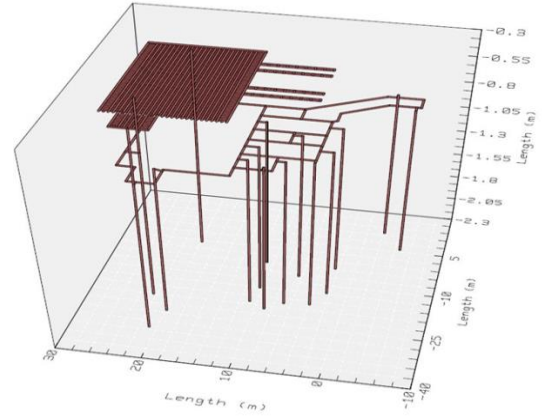
جدول 5: نسب تحسين خواص النظام مع تأثير شبكة تسليح

العناصر	نظام التأريض بدون شبكة التسليح	نظام التأريض مع شبكة التسليح	% نسبة التحسين
$R_g(\Omega)$	0.56	0.54	4%
$GPR(V)$	4190	4070	3%
$E_{surface}(V)$	3692	3700	0%
$E_s(V)$	234	239	0%
$E_m(V)$	1523	1022	33%

يتبين مما تقدم بأنه يمكن تصميم نظام تأريض آمن وبأقل الكلف الاقتصادية ، اعتماداً على استغلال كافة العناصر التي تدخل في تصميم أنظمة التأريض ومنها تأثير شبكة تسليح الأسس الخرسانية.

#### 5. الاستنتاجات

تشير الدراسات السابقة التي تم مراجعتها إلى إمكانية تصميم أنظمة التأريض من خلال استغلال وجود شبكة تسليح الأسس الكونكريتية شريطة أن لا تسبب تيارات الأعطال العالية تلف أو تصدع للأسس الكونكريتية. قدم هذا البحث طريقة مبتكرة



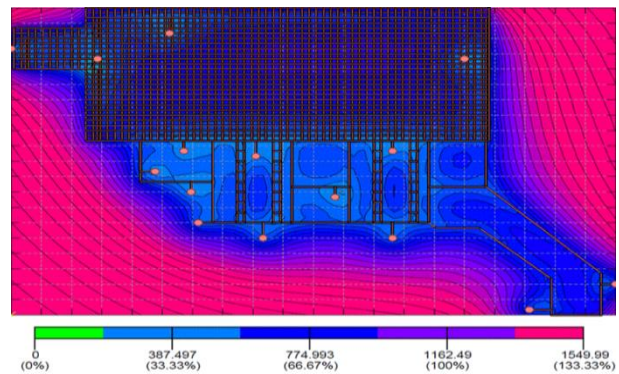
شكل 7: منظومة التأريض على التوازي مع شبكة تسليح الأسس

وُصِلَتْ قضبان شبكة التسليح إلى منظومة التأريض الأساسية بواسطة عدة نقاط ربط، وكما موضح بالشكل (7)، ومن ثم أدخلت قيمة مقاومة طبقة الكونكريت ( $3000 \Omega m$ )، وفقاً للقيم المعتمدة بالجدول (4)، وأدخُلَتْ خواص معدن الحديد لقضبان شبكة التسليح عن طريق جداول مكتبة خواص المعادن المرفقة مع البرنامج.

جدول 4: مقاومة الكونكريت في التصاميم الداخلية والخارجية [16].

	Material	$\rho(\Omega.m)$	$\sigma(mS/cm)$
Concrete 1.2	Wet	15-200	0.05-0.67
	Outdoors(exposed)	100-400	0.025-0.1
	Outdoors(sheltered)	200-500	0.02-0.05
	Indoors(50%RH)	>3000	$<3 \times 10^{-3}$

أُجْرِيَتْ تحليلات الإجهادات الكهربائية للشبكة وكانت النتائج كما مبينة بالشكل (8).



شكل 8: توزيع جهد اللمس نتيجة إدخال تأثير شبكة تسليح الأسس الخرسانية.

كما يبين الشكل (9) توزيع جهد اللمس لكافة نقاط منظومة التأريض بمنظور ثلاثي الأبعاد .

- Deliv.*, vol. 24, no. 2, pp. 650–655, 2009.
- [8] H. K. Karegar and M. Arabi, “New Wind Turbine Grounding System to Reduce Step & Touch Voltage,” *PECon2010 - 2010 IEEE Int. Conf. Power Energy*, pp. 168–171, 2010, doi: 10.1109/PECON.2010.5697576.
- [9] N. Jose, “Design of Earth Grid for a 33/11kV GISSubstation at a High Soil Resistivity Site using CYMGRD Software,” *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 3, no. 10, 2014.
- [10] V. T. Kontargyri, I. F. Gonos, and I. A. Stathopoulos, “Study on Wind Farm Grounding System,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 51, no. 6, pp. 4969–4977, 2015, doi: 10.1109/TIA.2015.2418315.
- [11] O. A. Bakar *et al.*, “Performance of Galvanized – Steel and Copper Grounding Electrodes Using Bentonite and Coconut Husk Ashes as an Additives Material to Grounding System,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 864, no. 1, p. 12185, 2020.
- [12] J. A. Güemes and F. E. Hernando, “Method for Calculating the Ground Resistance Of Grounding Grids Using FEM,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 19, no. 2, pp. 595–600, 2004.
- [13] S. Samadinasab, F. Namdari, and M. Bakhshipour, “A Novel Approach for Earthing System Design Using Finite Element Method,” *J. Intell. Proced. Electr. Technol.*, vol. 8, no. 29, pp. 54–63, 2017.
- [14] J. A. Güemes-Alonso, F. E. Hernando-Fernández, F. Rodríguez-Bona, and J. M. Ruiz-Moll, “A Practical Approach for Determining the Ground Resistance of Grounding Grids,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 21, no. 3, pp. 1261–1266, 2006.
- [15] S. k. Ahmad, R. Z. Sabry, and C. Gomes, “Improving the Grounding System by Adding Bentonite to Reduce the Potential Distribution,” *3rd Int. Conf. Electr. Commun. Comput. Eng.*, no. June, 2021.
- [16] K. Karhunen, A. Seppänen, A. Lehikoinen, P. J. M. Monteiro, and J. P. Kaipio, “Electrical Resistance Tomography Imaging of Concrete,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 40, no. 1, pp. 137–145, 2009.
- وذلك بإدخال تأثير شبكة تسليح الأسس الكونكريتية إضافة إلى تأثير الموصلات النحاسية المستخدمة في تصميم منظومة التأريض الأساسية، اعتماداً على خوارزميات التحليلات العددية المستخدمة في برنامج CYMGRD والتي تعطي نتائج دقيقة مقارنة بالنتائج التي تعطيها المعادلات التقريبية المستخدمة في حساب الإجهادات الكهربائية المصاحبة لتيارات الأعطال في أنظمة التأريض، كما أن تلك الخورزميات تمتلك القدرة على التعامل مع الشبكات المعقدة مثل موصلات شبكات تسليح الأسس الخرسانية، والتي تتكون من عناصر وموصلات ذات كثافة عالية جداً. تُبين النتائج التي تم الحصول عليها إن شبكة التسليح ساهمت في تحسين جهد اللمس بنسبة وصلت 33 %، في حين كان تأثيرها على بقية العناصر غير مؤثر والسبب يرجع لكون مقاومة التأريض  $R_g$  لمنظومة التأريض كانت منخفضة القيمة، إضافة إلى كون منظومة التأريض تتكون من حلقات محيطية كبيرة وبالتالي فإن جهد السطح يتغير بشكل شبه خطي، وبالتالي فإن جهد الخطوة يكون منخفضاً كذلك، إذ أن جهد الخطوة يمثل الفرق بين قيمة جهد السطح لنقطتين المسافة بينهما متر واحد. كما بينت الدراسة جانباً آخر لا يقل أهمية عن تحسين الإجهادات الخطرة، وذلك بالحفاظ على سلامة الأسس الكونكريتية من خطر التصدع بفعل تيارات الأعطال الكبيرة، إذ إن القسم الأعظم من تيار العطل يتم التخلص منه عن طريق الموصلات النحاسية لنظام التأريض الأساسي، في حين كانت قيم التيارات التي تتدفق إلى الأرض عن طريق قضبان التسليح قليلة ولاتسبب أي ضرر على الأسس الكونكريتية، وكما موضح في الجدول المرفق (1.B).

#### المصادر

- [1] S. Lim, M. S. Johari, and C. Gomes, “Effect of Moisture on Electrical Response of Sand and Clay Under High Impulse Voltage Applications,” *Pertanika J. Sci. Technol.*, vol. 25, no. Suppl. Feb, pp. 161–170, 2017.
- [2] J. He, R. Zeng, and B. Zhang, *Methodology and Technology for Power System Grounding*. John Wiley & Sons, 2013.
- [3] IEEE Std 80, *Guide for Safety In AC Substation Grounding*. 2013.
- [4] CYMGRD, “User’s Guide and Reference Manual.” Canada, 2006.
- [5] IEEE Std 142, *IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems*. IEEE Green Book, 2007.
- [6] F. Dawalibi and N. Barbeito, “Measurements and Computations of the Performance of Grounding Systems Buried in Multilayer Soils,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 6, no. 4, pp. 1483–1490, 1991.
- [7] J. Ma and F. P. Dawalibi, “Computerized Analysis of Grounding Plates in Multilayer Soils,” *IEEE Trans. Power*

# Studying the Effect of Adding the Concrete Reinforcement Grid Rods to the Grounding System of the Mosul Secondary University Distribution Station

Saleh k. Ahmad  
saleh.enp35@student.uomosul.edu.iq

Riyadh Z. Sabry  
riyadhzaki@uomosul.edu.iq

Electrical Engineering Department, Collage of Engineering, University of Mosul

## Abstract:

In this research, a study was conducted to re-evaluate the safety levels of the grounding system for the Mosul Secondary University distribution station, by taking the effect of the conductors of the foundation arming grid on the electrical potential distribution resulting from faults to the grounding system implemented by the Lebanese company (MATELEC s.a.l). A fault current of (20kA) was adopted. The CYMGRD program was used to re-design the grounding system implemented by the company in two stages, first without taking the effect of the arming grid of the foundations, and then the grounding system was redesigned by adding the arming grid of the foundations implemented inside the concrete and linking it with the basic grounding system that was formed of conductors and grounding rods, and the results showed the significant effect of the foundation arming grid in reducing the levels of touch voltage ( $E_m$ ) by 33%.

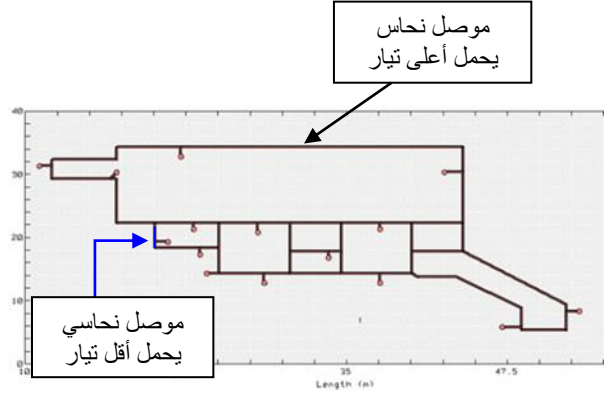
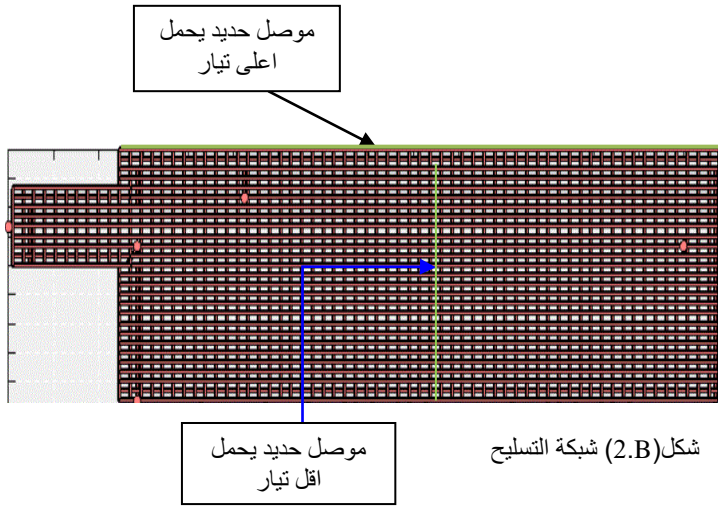
## Key words:

Foundation Reinforcing Grid; Potential Distribution; Grounding System; Touch Voltage ( $E_m$ ).

ملحق A  
جدول الرموز والمصطلحات

الوحدة	الرمز	التعريف باللغة الانكليزية	التعريف باللغة العربية
$\Omega$	Rg	ground resistance	مقاومة التأريض
V	GPR	ground potential rise	الارتفاع الأقصى لجهد الأرض
$\Omega m$	$\rho$	soil (earth) resistivity	مقاومية التربة
V	Es	Max. step voltage	أقصى جهد خطوة
V	Em	Max. mash voltage	أقصى جهد لمس/ جهد الشبكة
A	IG	Max. grid current	أقصى تيار تأريض
m	Dm	Grid diagonal distance	المسافة القطرية للشبكة
	Km	Spacing factor for mesh voltage	عامل التباعد لجهد الشبكة
	Ks	Spacing factor for step voltage	عامل التباعد لخطوة الجهد
V	VAB	Actual boundary potential	الجهد الفعلي عند الحدود
V	VAG	Actual Grid potential	جهد الشبكة الفعلي

ملحق B  
مواقع الموصلات التي تحمل أعلى وأقل قيم للتيار



جدول (1.B) قيم التيار المار في الموصلات

العناصر	موصل نحاس يحمل أعلى تيار	موصل النحاس يحمل أقل تيار	موصل شبكة التسليح يحمل أعلى تيار	موصل شبكة التسليح يحمل أقل تيار
نظام التأسيس الأساسي بمفرده	965 A	80.2 A	_____	_____
نظام التأسيس مع تأثير ربط شبكة التسليح	865 A	77 A	10.3 A	3.3 A