الباب الثاني

التأريض الوقائى

obeikandl.com

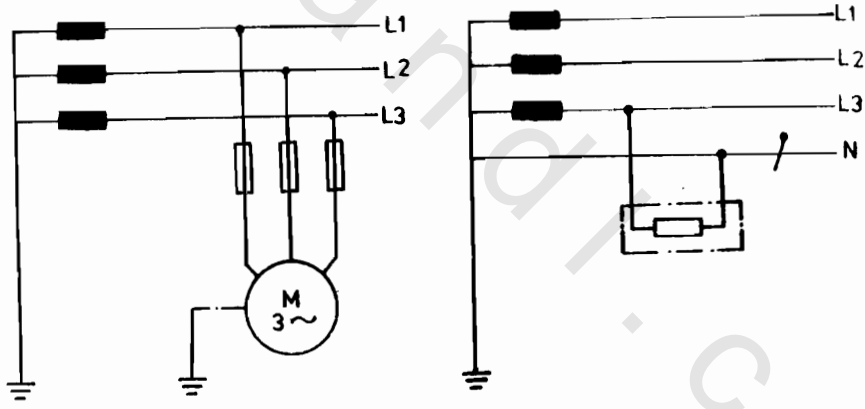
obeikandl.com

التأريض الوقائى

٢ / ١ - مقدمة

التأريض هو توصيل نقطة ما فى دائرة كهربية بالأرض، ويسمى ذلك بتأريض الخدمة Function earthing، أو توصيل جسم موصل غير حامل للتيار الكهربى بالأرض مثل : هيكل جهاز كهربى ويسمى ذلك بتأريض الوقاية Protection earthing . والأرضى هو عبارة عن موصل غير معزول مدفون بالأرض ويسمى بالقطب الأرضى .

والشكل (٢-١) يوضح الفرق بين تأريض الخدمة (الشكل أ)، وتأريض الوقاية (الشكل ب).



الشكل (٢-١)

فيتضح من الشكل (أ) أنه تم توصيل نقطة النجما للمحول الكهربى بالأرضى من أجل الحصول على خط تعادل، وبالتالى يمكن الحصول على جهد وجه فإذا كان جهد الخط (الجهد بين وجه وآخر) 380V فإن جهد الوجه (الجهد بين وجه

والتعادل) يساوى 220V وهذا ضرورى لتشغيل الأحمال الأحادية الوجه . أما فى الشكل (ب) فقد تم توصيل جسم المحرك بالأرضى، وذلك من أجل حماية الإنسان من الصدمة الكهربية عند ملامسته لهيكل المحرك أثناء حدوث انهيار داخلى لعزل المحرك، وسوف نتناول هذا الموضوع بالتفصيل فى الباب الرابع .

ويتكون نظام التأريض الوقائى من قطب واحد أو عدة أقطاب أرضية وموصل أرضى Earthing Conductor ،وموصل وقاية Protection Conductor ، ومجموعة من الوصلات Bondings .ويعمل نظام التأريض الوقائى على :

- منع تشكل أى جهد على الوسط المحيط عند حدوث أىٰ خطأ مثل : هياكل المعدات الغير حاملة للتيار الكهربى وذلك بالربط الكهربى لجميع هياكل الأجهزة والمعدات الكهربية الموصلة للتيار الكهربى مع نظام التأريض .
- يسمح بإمرار الشحنات الإستاتيكية التى تتشكل على هياكل المعدات والأجهزة الكهربية للأرضى .
- يمرر التيار اللازم لتشغيل أجهزة الحماية من زيادة التيار عند القصر.
- يعمل على تصريف الشحنات الكهربية للصواعق البرقية للأرضى .

والجدير بالذكر أن جهد الأرضى يساوى صفراً، لذلك يجب المحافظة على جهد جميع هياكل المعدات الغير حاملة للتيار الكهربى عند جهد الصفر لمنع تشكل فرق جهد بين هياكل هذه المعدات والأرضى أثناء تلف هذه المعدات وذلك من أجل حماية الإنسان من الصدمة الكهربية .

ويمكن اعتبار الأرض كموصل له مساحة مقطع كبيرة جداً وطول كبير جداً، ويمكن لها حمل أى تيار مهما كان شدته . وتعتمد المقاومة النوعية للأرض على عدة أمور مثل : نوعية التربة – الرطوبة – درجة الحرارة – الفصل من العام (شتاء – ربيع – خريف – صيف) .

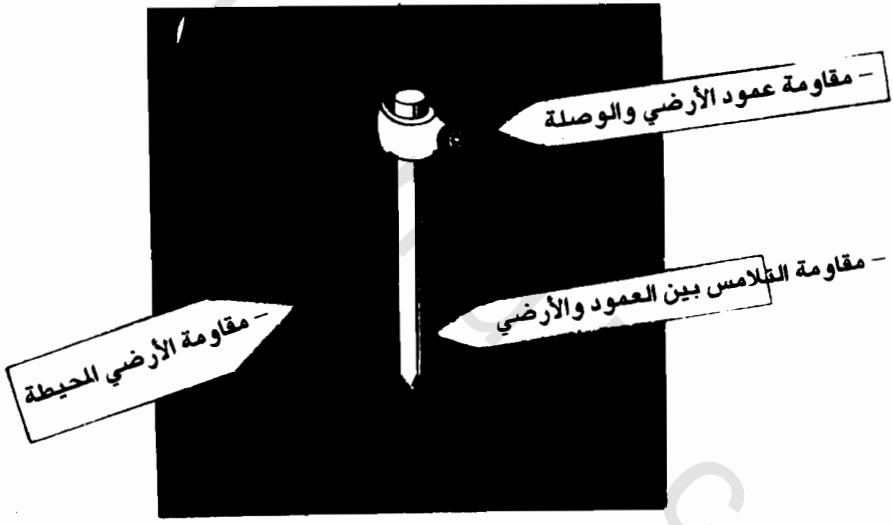
ولقد وجد بالتجربة أن زيادة طول قطب الأرضى له تأثير أكبر من زيادة قطر قطب الأرضى فى تقليل مقاومة الأرضى حتى لو تساوت المساحة السطحية فى

الحالتين ، وتتكون مقاومة الأرضى كما هو مبين بالشكل (٢-٢) من:

- مقاومة عمود الأرضى ومقاومة الوصلة مع عمود الأرضى.
- مقاومة التلامس بين عمود الأرضى والتربة.
- مقاومة الأرض المحيطة.

ومقاومة عمود الأرضى (قطب الأرضى) ليست كبيرة بل يمكن اعتبارها مهملة.

وعندما يكون عمود الأرضى غير مغطى بطبقة عازلة ويوجد تلامس جيد بين الأرضى وعمود الأرضى فإن مقاومة التلامس بين عمود الأرضى والتربة تكون صغيرة هى الأخرى، أى أن مقاومة الأرضى تكمن فى مقاومة الأرض المحيطة بعمود الأرضى.



الشكل ٢-١

ويمكن اعتبارها مجموعة من القشرات المحيطة بالقطب الأرضى، فكلما ازدادت المساحة السطحية للقشرة قلت مقاومتها أى أن مقاومة الأرض تكون غير خطية بمعنى أنها تكون صغيرة بالقرب من القطب الأرضى، وتزداد كلما ابتعدنا عن القطب الأرضى.

٢ / ٢- أنواع الأقطاب الأرضية

يمكن تقسيم الأقطاب الأرضية إلى :

١ - **أقطاب أرضية طبيعية** وهى تتمثل فى أجزاء معدنية مدفونة طبيعياً فى الأرض مثل : أنابيب الماء والغاز المعدنية والهياكل المعدنية للمبانى والأعمدة الحديدية والأعمدة الخرسانية التى تحتوى على حديد مسلح وطبقة التدريع للكابلات. والجدير بالذكر أنه لا ينصح باستخدام مواسير الماء والغاز كقطب أرضى، ولكن يمكن توصيلهما مع نظام معادلة الجهد Equipotential System والذى سوف نتناوله فى الفقرة (٤ / ٩).

٢ - **أقطاب أرضية صناعية** وهى تعد من قبل المختصين ويوجد منها عدة أشكال. والجدول (٢-١) يبين الأنواع المختلفة من الأقطاب الأرضية الصناعية والحد الأدنى لأقطارها.

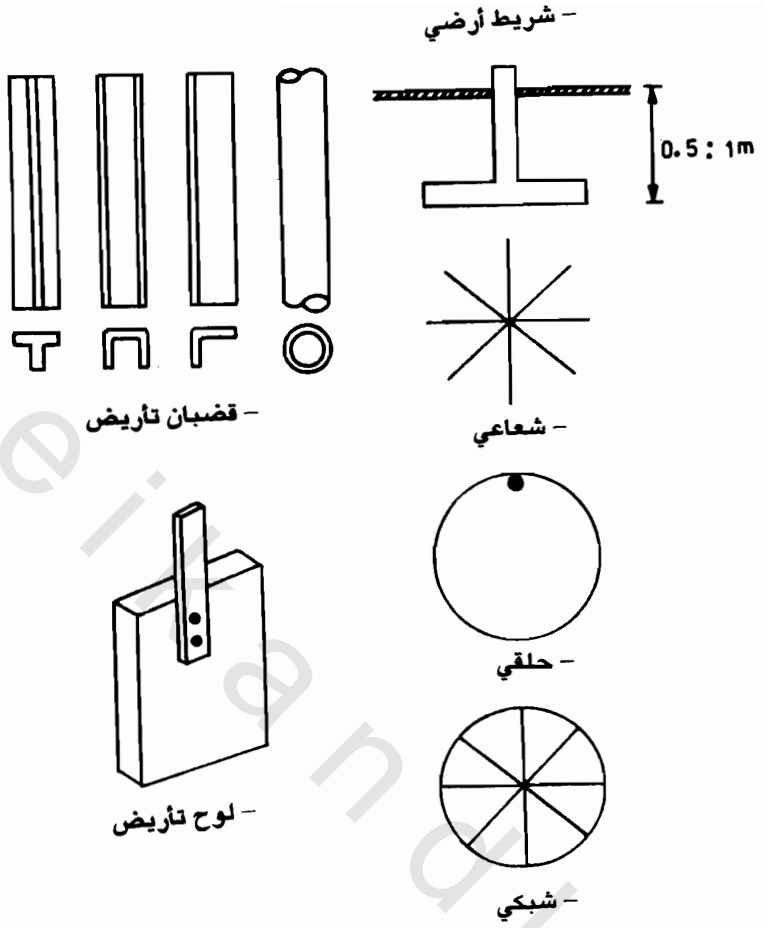
الجدول (٢ - ١)

المعدن المصنوع منه القطب الأرضي			شكل القطب
نحاس	صلب مطلى بالنحاس	صلب مجلفن على الساخن	
- مساحة مقطعة 50 mm^2 وسمكه 2mm - مساحة مقطعة 35mm^2 مجدول من أسلاك غير دقيقة.	- مساحة مقطعة 50mm^2	- مساحة مقطعة 100mm^2 وسمكه الأدنى 2mm وأبعاده المفضلة (4x30mm) أو (5X40mm).	شريط (شعاعى - حلقى - شبكى) حبل
- ماسورة من النحاس قطرها الخارجى 30mm وسمكها 3mm. - عمود قطره 15mm أو 20mm	- عمود من الصلب قطره 15mm وعليه طبقة من النحاس سمكها 2.5mm	- ماسورة مقاسها بوصة أو 2 بوصة - عمود قطره 16mm	ماسورة عمود

تابع الجدول (٢ - ١)

شكل القطب	المعدن المصنوع منه القطب الأرضي		
	صلب مجلفن على الساخن	صلب مطلى بالنحاس	نحـــاس
	- كـمـرة على شكل L أبـعـــــــــادهـا 65X65X7mm - كـمـرة على شكل U مقاس St6.5 اى سمكها 6.5mm - كـمـرة على شكل T مقاس T6 اى سـمكهـا 6mm		1.5 X600 X600 mm 1.5 X 900X900mm 3X600X600 3X900X900
	3X 600X600 3X900X900		

والشكل (٢-٣) يبين الأشكال المختلفة للأقطاب الأرضية الصناعية.

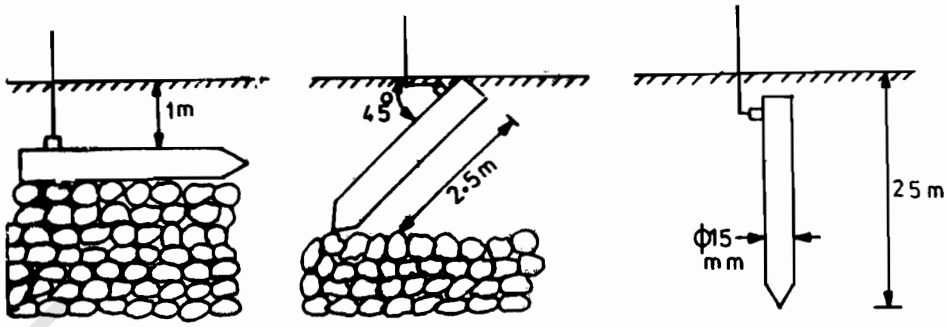


الشكل (٢-٣)

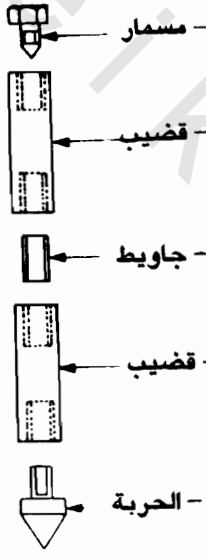
٢ / ٢ / ١ - القضبان الأرضية Earth rods

تعد القضبان الأرضية أرخص أنواع الأقطاب التى يتم غرسها فى الأرض إما بصورة رأسيه إذا كانت الأرض لينة، أو بصورة مائلة إذا تعذر غرسها بصورة عمودية نتيجة لاعتراض طبقة صخرية مسار القطب بشرط ألا تقل زاوية ميل العمود عن 45^0 مع مستوى الأرض، أو يوضع القضيب أفقياً على عمق 1m .

والشكل (٢-٤) يوضح الطرق المختلفة لغرس القضبان الأرضية.



الشكل ٢-٤



الشكل ٢-٥

ويتم غرس القضبان الأرضية فى الأرض إما بالحفر ثم الردم أو بالدق اليدوى أو بالدق بالمطارق الكهربية أو الهوائية أو الهيدروليكية.

ويكون طول القضبان الأرضية أكبر من 1m وأقل عادة من2.5m ، وتتميز القضبان الأرضية المتوفرة فى الأسواق بأنها قابلة الاستطالة بتجميع عدة وصلات مع بعضها حيث تكون مزودة بجلب توصيل خارجية كما هو مبين بالشكل (٢-٥).

وتعتبر القضبان الأرضية المصنوعة من النحاس أفضل القضبان الأرضية، ولكنها ليست متينة بالقدر الكافى لغرسها فى الأرض على أعماق كبيرة بالطرق التقليدية، ولذلك تعتبر قضبان الصلب المطلية بالنحاس هى الأفضل فى مثل هذه الظروف، حيث يمكن غرسها لأعماق تصل إلى 30m فى التربة الرملية.

والجدير بالذكر أنه أمكن التغلب على مشكلة المتانة الميكانيكية للقضبان النحاسية باستخدام الجهاز المبين بالشكل (٢-٦)، حيث يتم شبك قضيب النحاس المرن مع مقدمة دقاق هوائى، وبالتالى يمكن غرسه على أى عمق علماً بأن هذا الجهاز من صناعة شركة Elpress.

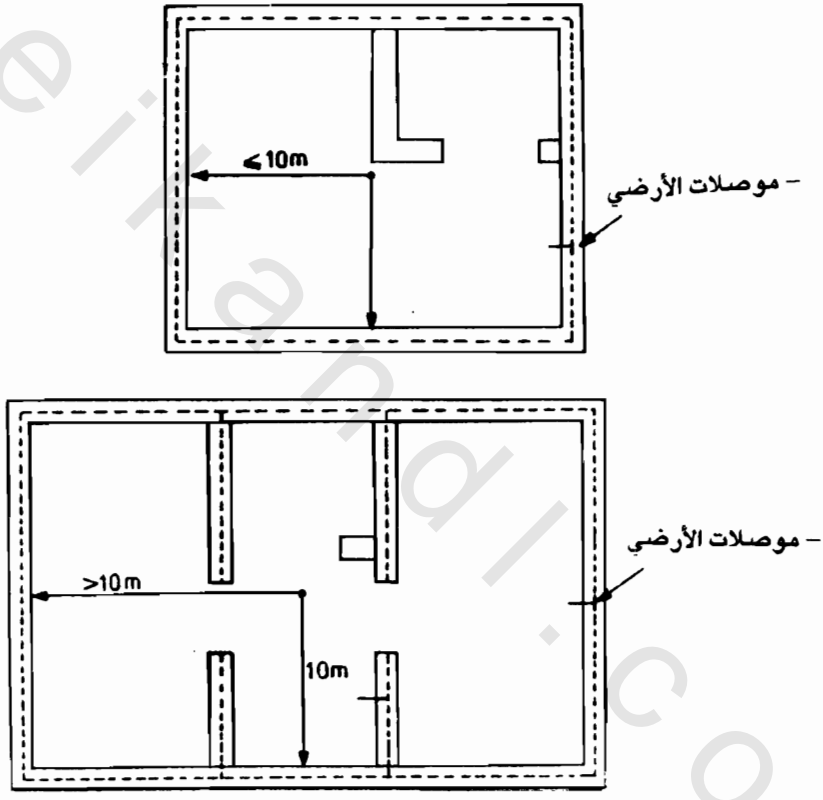
الشكل (٢-٦)

٢ / ٢ / ٢ -الشرائط الأرضية المدفونة فى الأساس

لقد أسفرت نتائج التجارب المجراة فى ألمانيا على أن أفضل النتائج يمكن الحصول عليها من دفن شريط من الصلب أو حبل من الصلب فى الأساس على شكل مسار مغلق حيث تكون أبعاد الشريط 30X3.2mm أو 25X4mm ، ويكون قطر حبل الصلب المجلفن على الساخن لا يقل عن 10mm . ويجب ألا تبعد جوانب الأساس عن مركز الأساس عن 10m .

وفى حالة زيادة هذه المسافة عن 10m يجب إمرار شريط أرضى أو حبل الصلب فى الجدران الداخلية.

والشكل (٢-٧) يبين طريقة تمديد شريط الصلب فى أساس المنشأة. فالشكل (أ) يوضح أنه لا حاجة من إمرار شريط فى الجدران الداخلية للأساس لأن المسافة بين مركز الأساس والجدران أقل من 10m، أما الشكل (ب) فيوضح أنه يجب إمرار شريط أرضى فى الجدران الداخلية لأن المسافة بين مركز الأساس والجدران الخارجية للأساس أكبر من 10m.



الشكل (٢-٧)

وعادة تستخدم ركائز توجيه spacer لتمديد شريط الأرضى

الشكل (٢ - ٨) يوضح طريقه تمديد الشريط الأرضى فى الأساس.

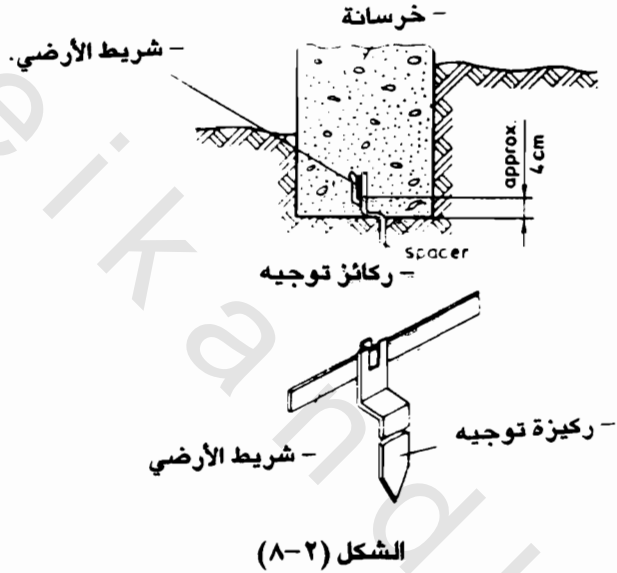
ويمكن تعيين مقاومة القطب الأرضى المدفون بالأساس بالمعادلة 1-2

$$R = \sqrt[3]{\frac{0.2\rho}{I}} \quad \Omega \qquad \rightarrow 2.1$$

حيث إن : المقاومة النوعية للتربة $(\Omega \cdot m)$ ρ

طول الشريط (m) L

حجم الأساس المحيط بالقطب الأرضى (m^3) I



الشكل (٢-٨)

٢ / ٣ - حساب مقاومة الأرضى

تعتمد مقاومة الأرضى على المقاومة النوعية للتربة $(\Omega \cdot m)$ ρ وكذلك على شكل وأبعاد القطب الأرضى.

أما بخصوص المقاومة النوعية للتربة فتعتمد على عدة عوامل مثل:

١- نوع التربة.

٢- رطوبة التربة.

٣- المقاومة النوعية للسوائل الموجودة بالتربة.

٤- حرارة التربة.

obeikandl.com

والجدول (٢-٢) يبين القيمة المتوسطة للمقاومات النوعية لترب مختلفة .

الجدول (٢-٢)

نوع التربة	المقاومة النوعية Ω . m
أرض مستنقعات	30
تربة جيرية أو طينية	100
رمل رطب	200
حصى رطب	500
رمل أو حصى جاف	1000
تربة حجرية	3000

وسوف نتناول فى الفقرات التالية عدة أنواع من الأقطاب الأرضية والمعادلة المستخدمة لتعيين مقاومة الأرضى مع كل نوع .

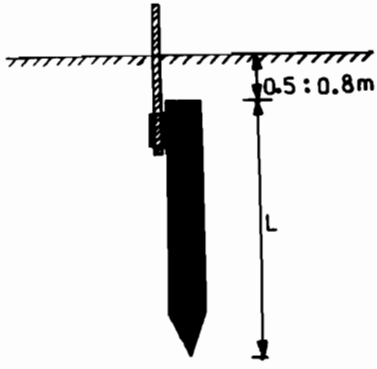
٢ / ٣ / ١ - قضيب واحد مثبت عمودياً

ويكون هذا القضيب إما ماسورة أو عامود .

والشكل ٢-٩ يبين طريقة غرس قضيب أرضى عمودياً .

والمعادلة 2.2 هى المعادلة التقريبية لتعيين مقاومة القضيب الأرضى المثبت عمودياً .

$$R = \frac{\rho}{L} \ (\Omega) \rightarrow 2.2$$



الشكل (٢-٩)

حيث إن :

ρ (Ω.m) المقاومة النوعية للتربة

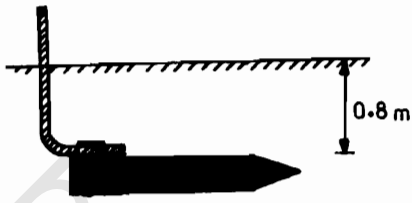
L (m) طول القضيب المدفون بالأرض

فإذا كانت المقاومة النوعية للتربة (50Ω.m)

وطول قضيب الأرضى (2.5m) ،فإن مقاومة

الأرضى تساوى:

$$R = \frac{50}{2.2} = 20\ \Omega$$



الشكل (٢-١٠)

٢ / ٣ / ٢ -قضيب واحد مثبت أفقياً

ويكون على شكل قضيب له مقطع دائرى نصف قطره d ، وطوله L ، أو على شكل شريط من الصلب بسمك أكبر من3mm ونصف عرضه d وطوله L ومدفون على عمق 80Cm . والشكل (٢-١٠) يبين طريقة وضع قضيب أرضى أفقياً. والمعادلة 2.3 هى المعادلة التقريبية لتعيين مقاومة القضيب الأرضى الموضوع أفقياً على عمق 80Cm .

$$R = \frac{2\rho}{L} \quad (\Omega) \quad \rightarrow \quad 2.2$$

حيث إن :

المقاومة النوعية للتربة	Ω.m	ρ
طول العمود	(m)	L

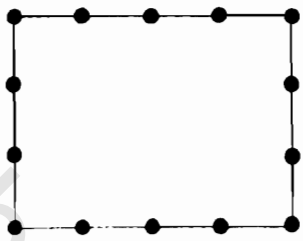
فإذا كانت المقاومة النوعية للتربة (50Ω.m) وطول العمود (4m) ، فإن مقاومة الأرضى تساوى :

$$R = \frac{2X\ 50}{4} = 25\ \Omega$$

٢ / ٣ / ٣- الشبكات الأرضية

تتكون الشبكة الأرضية من مجموعة من القضبان الرأسية المتصلة فيما بينها بشريط أفقى كما هو مبين بالشكل (٢-١١) وحتى يمكن تعيين مقاومة الشبكة الأرضية يلزم هذا تعيين مقاومة القضبان العمودية بمفردها وكذلك تعيين مقاومة الشريط الأفقى.

والشكل (٢-١٢) يبين طريقة تثبيت عدة قضبان عمودياً وموصلة على التوازى والمعادلة 2.3 هى المعادلة التقريبية لتعيين مقاومة الأرضى المؤلف من شبكة أرضية .



الشكل (٢-١١)

$$Rv = \frac{Re}{N\,\eta} \quad (\Omega) \rightarrow 2.3$$

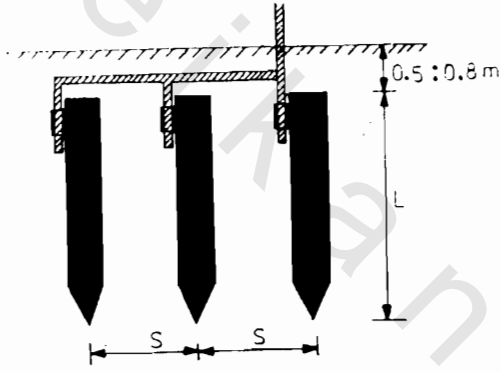
حيث إن :

Rv المقاومة الكلية للأرضى

Re مقاومة العمود الواحد

η معامل الاستخدام

N عدد الأقطاب



الشكل (٢-١٢)

والجدول (٢-٣) يبين قيمة معامل الاستخدام η المعتمدة على عدد الأعمدة المرتبة فى صف واحد N وكذلك النسبة S/L .

الجدول (٢-٣)

η	N	S/L	η	N	S/L	η	N	S/L
0.93 : 0.95	2	3	0.93 : 0.95	2	2	0.8 : 0.87	2	1
0.9 : 0.92	3		0.9 : 0.92	3		0.76: 0.8	3	
0.85:0.88	5		0.85:0.88	5		0.67: 0.72	5	
0.79:0.83	10		0.79:0.83	10		0.56: 0.62	10	
0.74: 0.79	20		0.74: 0.79	20		0.5 : 0.47	20	

والجدول (٢-٤) يبين قيمة معامل الاستخدام η والمعتمدة على عدد الأعمدة

المرتبة فى مسار مغلق N وكذلك النسبة S/L.

الجدول (٢-٤)

η	N	S/L	η	N	S/L	η	N	S/L
0.84 : 0.86	4	3	0.76:0.8	4	2	0.66: 0.72	4	1
0.78: 0.82	6		0.71:0.75	6		0.58:0.65	6	
0.74: 0.78	10		0.66:0.71	10		0.52:0.58	10	
0.68: 0.72	20		0.61:0.66	20		0.44:0.5	20	
0.64: 0.69	40		0.55:0.61	40		0.38:0.44	40	
0.62: 0.67	60		0.52: 0.58	60		0.36:0.42	60	

والجدول (٢-٥) يبين قيمة معامل الاستخدام للشرائط الأفقية التى تصل بين القضبان الأرضية العمودية المرتبة فى صف والتى تعتمد على نسبة S/L ،وكذلك عدد القضبان الرأسية N.

الجدول (٢-٥)

N							S/L
50	30	20	10	8	5	4	
0.21	0.31	0.42	0.62	0.67	0.74	0.47	1
0.31	0.46	0.56	0.75	0.79	0.86	0.89	2
0.49	0.58	0.68	0.82	0.85	0.9	0.92	3

والمعادلة التقريبية 2.4 تعطى قيمة مقاومة الشريط الأفقى الذى يصل بين مجموعة من القضبان العمودية

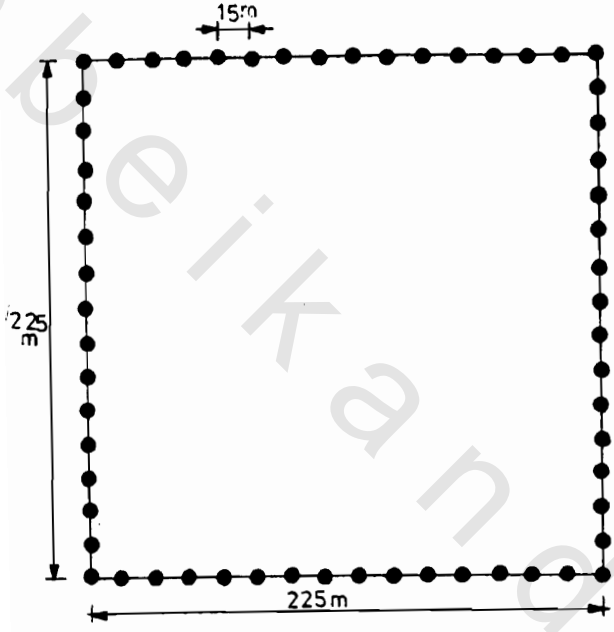
$$Rh = \frac{2\rho}{\eta L} \quad (\Omega) \rightarrow \quad 2.4$$

أما المعادلة التقريبية 2.5 فتعطى قيمة المقاومة المحصلة للشبكة الأرضية Rt

$$Rt = \frac{Rh\ Rv}{Rh + Rv} \quad (\Omega) \rightarrow 2.5$$

مثال :

المطلوب حساب مقاومة الشبكة الأرضية لمصنع والمبينة بالشكل (٢-١٣)



الشكل (٢-١٣)

حيث إن :

عدد القضبان الرأسية N=60

المسافة بين القضيب والآخر S=15m

طول القضيب الرأسى L= 5m

قطر القضيب الرأسى d= 15mm

أبعاد الشريط الأفقى 4X40mm

المقاومة النوعية للتربة $\rho = 1000\ \Omega.m$

الإجابة :

مقاومة القضيب الواحد

$$Re = \frac{\rho}{L} = \frac{1000}{5} = 200\ \Omega$$

المقاومة الكلية للقضبان الرأسية تعين من المعادلة التالية :

$$Rv = \frac{Re}{N\eta}$$

obeikandl.com

وحيث إن :

$$N = 60 \ , \ \frac{S}{L} = \frac{15}{5} = 3$$

فإن معامل الاستخدام η يمكن تعينه من الجدول (٢-٤) وهو يساوى (0.62:0.67) ويمكن اعتبارها 0.65 وبالتالى فإن

$$Rv = \frac{200}{0.65 \ X60} \quad 5\Omega$$

وبالنسبة للشريط الأفقى الذى يصل بين 60 عموداً رأسيًا فيمكن تعيين مقاومة الشريط الأفقى من المعادلة التالية :

$$Rh = \frac{2\rho}{L\eta}$$

وحيث إن :

$$N = 60 \ , \frac{S}{L} = 3$$

فإن معامل استخدام الشريط الأفقى يمكن تعينه من الجدول (٢-٥) وتساوى تقريباً 0.49

أى أن :

$$Rh = \frac{2X \ 1000}{0.49 \ X \ 900} = 4.5 \ \Omega$$

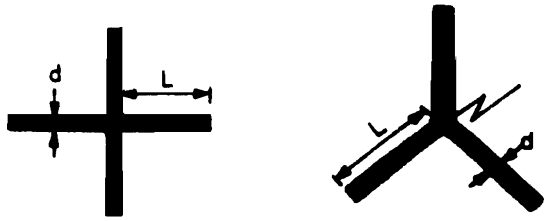
وبالتالى تصبح المقاومة الكلية مساوية

$$Rt = \frac{Rv \ Rh}{Rv + Rh}$$

$$= \frac{5 \ X \ 4.5}{5+4.5} = 2.36 \ \Omega$$

٢ / ٣ / ٤ الأقطاب الأرضية الشعاعية

الشكل (٢-١٤) يبين شكل قطب أرضى شعاعى بثلاث أشعة (الشكل أ) وبأربع أشعة (الشكل ب).



الشكل (٢-١٤)

وتستخدم الأقطاب الأرضية الشعاعية فى تأريض خطوط نقل الطاقة الكهربية وتأريض بعض المنشآت والمبانى وهى تدفن على عمق (0.3:0.8m) وتحسب مقاومة القطب الأرضى الشعاعى من المعادلة التقريبية 2.6.

$$R = \frac{2\rho}{L.N.\eta} \rightarrow 2.6$$

حيث إن :

مقاومة الأرضى الشعاعى	Ω	R
المقاومة النوعية للتربة	Ω.m	ρ
طول الشعاع الواحد	m	L
عدد الأشعة		N
معامل الإستخدام		η

ويعين معامل الاستخدام η بدلالة طول الشعاع L وقطر الشعاع d وعدد الأشعة N من الجدول (٢-٦).

obeikandl.com

الجدول (٢-٦)

عدد الأشعة N	طول الشعاع L m / قطر الشعاع d(mm)	2.5	5	10	15	30
3	10	0.76	0.78	0.81	0.82	0.84
	20	0.74	0.76	0.79	0.8	0.82
4	30	0.63	0.67	0.7	0.72	0.75
	40	0.61	0.65	0.69	0.7	0.73

مثال :

قطب أرضى على شكل شعاع رباعى طوله L = 10 m، وأبعاد الشريط المصنع منه الشعاع 5 x400 mm، ومقاومة التربة النوعية ρ = 100 Ω .m فما هى مقاومة الأرضى؟

الإجابة :

$$R = \frac{2\rho}{LN\eta}$$

من الجدول (٢-٦) فإن معامل الاستخدام η عندما يكون L = 10 m, d = 40mm, N = 4 هى 0.69

أى أن :

$$R = \frac{2 \times 100}{10 \times 4 \times 0.69} = 7.2\Omega$$

٢ / ٣ / ٥- الألواح الأرضية

يندر استخدام الألواح المعدنية كأقطاب أرضية لأنها تحتاج لمجهود شاق لدفنها فى الأرض، فهى توضع عمودية فى الأرض على حدها (حرفها) ، وذلك من أجل الوصول لمساحة تلامس جيدة للوح مع التربة، ويمكن حساب مقاومة الأرضى ذات

اللوح المعدنى من المعادلة التقريبية 2.7 .

$$R = \frac{\rho}{4\sqrt{Lw}} \quad (\Omega) \qquad \rightarrow \quad 2.7$$

حيث إن :

المقاومة النوعية	Ω.m	p
طول اللوح	m	L
عرض اللوح	m	w

مثال :

قطب أرضى على شكل لوح أبعـاده (1.5 X 600 X 600 mm) مصنوع من النحاس ومدفون فى تربة مقاومتها النوعية 100Ω.m . فما هى مقاومة الأرضى .

الإجابة :

حيث أن : $\rho = 100\ \Omega.m$

$W=L = 600\ mm$

$W=L = 0.6\ m$

لذلك فإن :

$$R = \frac{\rho}{4\sqrt{Lw}} = \frac{100}{4\sqrt{0.6X0.6}} = 4.16\ \Omega$$

٢ / ٤ – الطرق المتبعة لتقليل مقاومة الأرضى

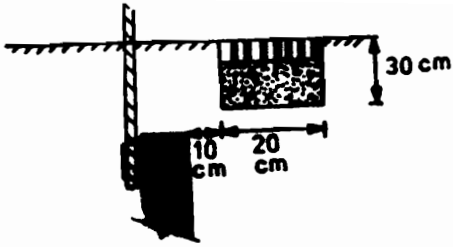
يمكن تقليل مقاومة الأرضى بعدة طرق أهمها :

١– زيادة عدد قضبان التأريض .

٢– زيادة طول قضبان التأريض .

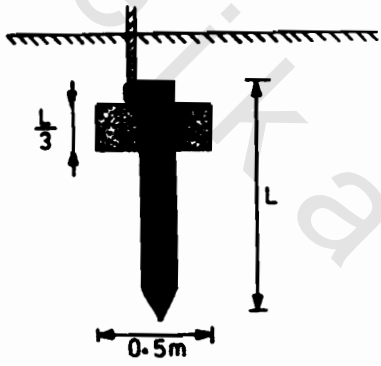
٣– معالجة التربة .

وعادة نلجأ لمعالجة التربة إذا لم تنجح الطريقة الأولى والثانية فى الوصول لمقاومة الأرضى المطلوبة . وأكثر طرق معالجة التربة الطريقة المبينة بالشكل (٢–١٥) .



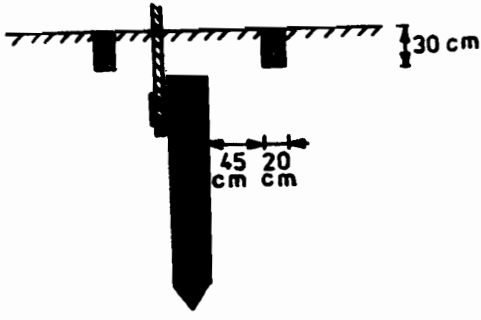
الشكل (٢-١٥)

حيث يحفر حفرة بجوار القطب الأرضى وعلى بعد 10Cm منه تقريباً، وبعمق 30Cm، وبعرض 20Cm، ثم تغمر هذه الحفرة بالماء، ثم يوضع كبريتات الماغنسيوم أو كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) أو الكربون أو الفحم أو إضافة برادة الحديد فى هذه الحفرة، وتغطى هذه الحفرة بشبكة معدنية، ويجب إجراء تفتيش دورى على هذه الحفرة للتأكد من عدم تسرب المادة المعالجة فى التربة، كما يجب إجراء قياس لمقاومة الأرضى من حين لآخر للتأكد من أن مقاومة الأرضى لم تتجاوز القيمة المسموح بها، وسوف نتناول طرق قياس مقاومة الأرض فى الفقرة (١٠/٢).



الشكل (٢-١٦)

والشكل (٢-١٦) يبين طريقة أخرى لمعالجة التربة حيث يوضع ملح الطعام حول قضيب الأرضى بالطريقة المبينة بالشكل. ويضاف الملح فى طبقات طولها 1Cm، ويضاف الماء لهذه الطبقات بمعدل (1:1.5 لتر) لكل كيلو جرام من الملح، وعادة نحتاج إلى 30:40kg ملح حول القضيب الواحد.



الشكل (٢-١٧)

والشكل (٢-١٧) يبين طريقة أخرى لمعالجة التربة حيث يوضع ملح الطعام حول خندق دائرى حول القضيب بعمق 30Cm، وبعرض 20Cm، وعلى بعد 45Cm من القضيب. ويوضع فيه المادة المعالجة (ملح الطعام) ويضاف الماء بمعدل (1:1.5) لتر ماء لكل كجم من ملح الطعام.

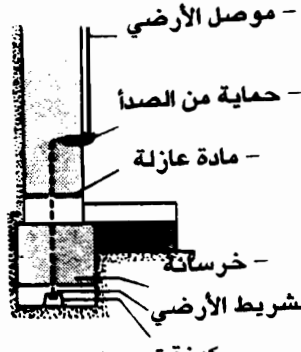
٢ / ٥ - موصلات الأرضى Earthing Condnctors

تقوم هذه الموصلات بتوصيل القطب الأرضى بلوحة الدخول للمنشأة. والجدول (٢- ٧) يبين الأبعاد الصغرى لموصل الأرضى والذى يصنع من شريط من النحاس أو الصلب أو حبل من النحاس أو الصلب.

(الجدول ٢ - ٧)

بدون حماية ميكانيكية	بحماية ميكانيكية	موصل الأرضى
- شريط أو حبل من النحاس مساحة مقطعه $16mm^2$. - شريط أو حبل من الصلب مساحة مقطعه $16mm^2$.	نفس مساحة مقطع خط الحماية	بحماية ضد الصدأ والتآكل بواسطة غلاف واقٍ.
- شريط من النحاس مساحة مقطعه $25\ mm^2$. - شريط من الصلب المجلفن على الساخن مساحة مقطعه $50\ mm^2$.		بدرجة حماية ضد الصدأ والتآكل.

والشكل (٢ - ١٨) يبين طريقة تمديد الموصل الأرضى عند استخدام قطب أرضى على شكل شريط من الصلب المجلفن على الساخن والمدفون فى الخرسانة والذى أبعاده 30 x 3.5 mm أو 25 x 4 mm.

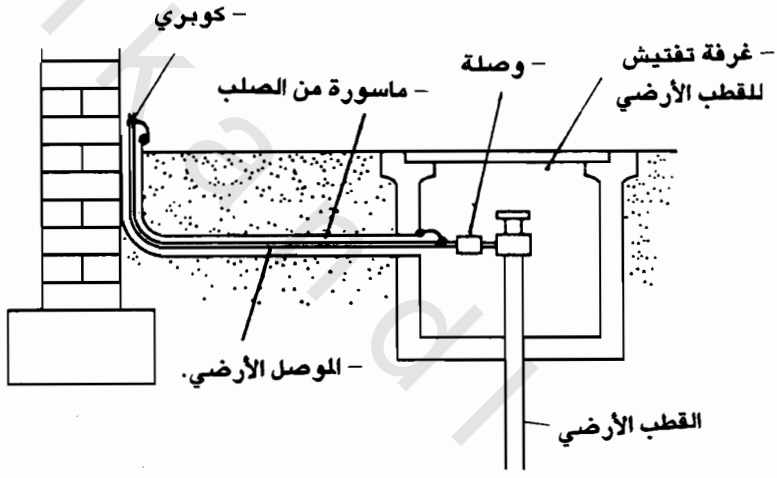


الجدول (٢ - ١٨)

والجدير بالذكر أنه يجب تمديد الموصلات الأرضية فى موقع مرئى، ويجب حمايتها من كافة العوامل الميكانيكية والكيميائية، وذلك عند التمديد فوق الأرض، ويجب دهان الأجزاء الموضوعة فوق الأرض وتحتها مباشرة بدهانات لمنع

الصدأ؛ وذلك لأن هذه الأجزاء هى المعرضة للصدأ. وأحيانًا يتم تغطية هذه الأجزاء بالبلاستيك، وعادة يتم إمرار موصلات الأرضى داخل أنابيب من البلاستيك أو الصلب لحمايتها من الصدأ والتآكل خصوصًا للموصلات التى مساحة مقطعها $16mm^2$ أو أصغر.

والجدير بالذكر أنه عند تمديد موصل أرضى داخل أحد القنوات المعدنية وعند مرور تيار كهربى فى موصل الأرض أثناء حدوث خطأ يتولد قوة دافعة كهربية بالحث فى معدن هذه القنوات المعدنية، فترتفع درجة حرارتها بالحد الذى يؤدى إلى انصهار الموصل الأرضى، لذلك يجب توصيل المجارى المعدنية من كلا جانبيها بالموصل الأرضى بالطريقة المبينة بالشكل (٢ – ١٩).

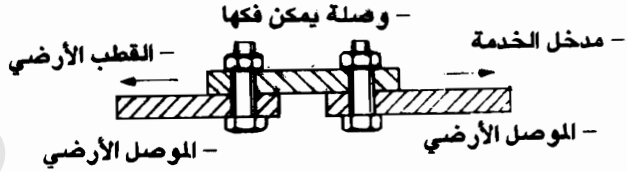


الشكل (٢ – ١٩)

ويستثنى من ذلك المجارى الغير معدنية وبخصوص الوصلة المستخدمة فى توصيل القطب الأرضى مع الموصل الأرضى يجب أن تكون مصنوعة من نفس معدن الموصل الأرضى والقطب الأرضى، فإذا كان الموصل الأرضى والقطب الأرضى من النحاس يجب استخدام وصلة من النحاس، أما إذا كان معدن القطب الأرضى يختلف عن معدن الموصل الأرضى تستخدم وصلة ثنائية وهذه الوصلة تصنع من معدنين

أحدهما يشبه معدن القطب الأرضى، والآخر يشبه معدن الموصل الأرضى، وبالتالى فإن أسرع جزء يحدث له تحلل كهربى هو هذه الوصلة؛ لذلك توضع هذه الوصلات داخل غرفة تفتيش حتى يسهل الوصول إليها وتغييرها إذا لزم الأمر.

وعادة توضع وصلة ثابتة فى مسار الموصل الأرضى يمكن فكها لأغراض قياس مقاومة شبكة التأريض كما هو مبين بالشكل (٢ – ٢٠).



الشكل (٢ – ٢٠)

٢ / ٦ – موصلات الوقاية Protection Conductors (PE)

وهى تكون معزولة بلون أصفر أخضر، أو تكون موصلات من النحاس العارى. والجدول (٢ – ٨) يبين مساحة مقطع موصلات الوقاية بدلالة مساحة مقطع الأوجه، فإذا كان موصل الوقاية يستخدم لعدة دوائر تستخدم أكبر مساحة مقطع خاصة بأوجه هذه الدوائر.

obeikandl.com

الجدول (٢ – ٨)

مساحة مقطع الأوجه mm^2	0.5	0.75	1	1.5	2.5	4	6	10	16	25
مساحة مقطع موصل الوقاية المعزول mm^2	0.5	0.75	1	1.5	2.5	4	6	10	16	16
مساحة مقطع موصل الوقاية العارى والمحمى mm^2				1.5	1.5	2.5	4	6	10	16
مساحة مقطع موصل الوقاية العارى غير المحمى mm^2				4	4	4	4	6	10	16
مساحة مقطع الأوجه mm^2	35	50	70	90	120	150	185	240	300	400
مساحة مقطع موصل الوقاية المعزول mm^2	16	25	35	50	70	70	95	120	150	185
مساحة مقطع موصل الوقاية العارى والمحمى mm^2	16	25	35	50	50	50	50	50	50	50
مساحة مقطع موصل الوقاية العارى وغير المحمى mm^2	16	25	35	50	50	50	50	50	50	50

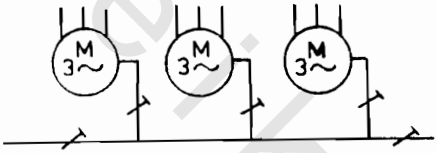
obeikandl.com

وهناك عدة ملاحظات يجب مراعاتها مع موصلات الوقاية وهى كما يلى:

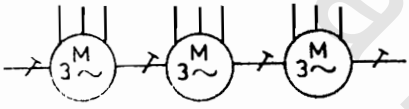
١ – يجب أن يمدد موصل الوقاية بكامل طوله بنفس عناية تمديد موصلات الأوجه المختلفة، ويمدد مع الأوجه المختلفة داخل ما سورة واحدة أو مجرى واحد، ويكون لون عزله أصفر أخضر.

٢ – لا يجوز تأمين موصل الوقاية بمصهر حماية، ولا يجوز أن يكون قابل للفصل عن الدائرة.

٣ – يتم توصيل موصل الوقاية الرئيسى مع موصلات الوقاية الفرعية بعناية فائقة سواء باللحام أو بواسطة الرباط بوصلة مقلوظة آمنة.



٤ – يحظر توصيل موصل الوقاية مع القطب الأرضى بطريقة مباشرة دون التوصيل بالموصل الأرضى.



الجدول (٢ – ٢١)

٥ – يجب أن يكون لكل جهاز موصل وقاية خاص به متفرع من موصل الوقاية الرئيسى، ويمنع توصيل الهياكل المعدنية المطلوب تأريضها بالتسلسل بواسطة موصل الوقاية.

والشكل (٢ – ٢١) يبين طريقة التوصيل الصحيحة للأجهزة مع موصل الوقاية الرئيسى (الشكل أ) وطريقة التوصيل الخاطئة للأجهزة مع موصل الوقاية الرئيسى (الشكل ب).

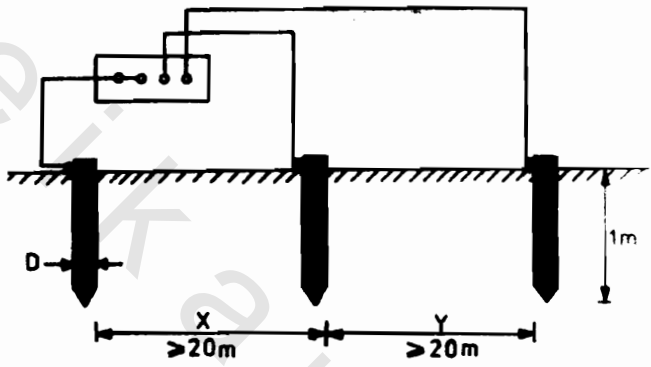
٦ – يتم ربط موصلات الوقاية الفرعية مع التجهيزات المطلوب تأريضها بواسطة البراغى المعدة لذلك لتسهيل الفك عند اللزوم.

٢ / ٧ – قياس المقاومة النوعية للتربة

يمكن قياس المقاومة النوعية للتربة باستخدام جهاز قياس مقاومة العزل بالطريقة المبينة بالشكل (٢ – ٢٢).

حيث إن :

المسافة بين القطب الرئيسى والمجس	(m)	X
المسافة بين القطب الإضافى والمجس	(m)	y
طول قضيب الأرضى	(m)	L
قطر القطب الرئيسى بالبوصة	(m)	D



الشكل (٢ – ٢٢)

حيث إن قيم الأبعاد الموضحة فى الشكل السابق مبينة بالجدول (٢ – ٩).

الجدول (٢ – ٩)

L (m)	X (m)	y (m)
≤ 4	20	20
≥ 4	15	40

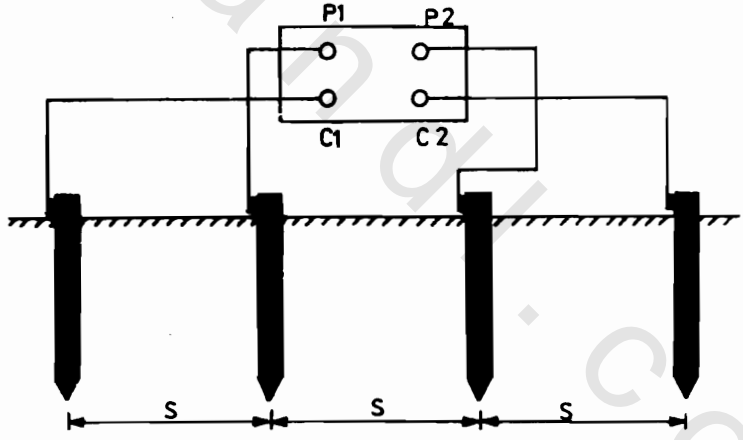
ونحصل على المقاومة النوعية للتربة (Ω. m) ρ بضرب قيمة قراءة الجهاز والتى تمثل مقاومة الأرضى بالمعامل K، والذى يعتمد على الأبعاد الهندسية للقطب الأرضى.

والجدول (٢– ١٠) يبين قيمة المعامل K حسب أبعاد القطب الرئيسى.

الجدول (٢ - ١٠)

L (متر) \ D (بوصة)	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
1	1.2	1.25	1.31	1.33	1.42	1.5
1.5	1.67	1.74	1.82	1.9	1.95	2.05
2	2.19	2.2	2.29	2.4	2.4	2.57

والشكل (٢-٢٣) يبين طريقة تحديد طول قطب الأرضى المناسب تبعاً للمقاومة النوعية للتربة باستخدام جهاز قياس العزل I_R ذى النقاط الأربعة والمصنع بشركة Megger Instrument Ltd, Dover .



الشكل (٢ - ٢٣)

حيث تغرس الأعمدة الأربعة المستخدمة فى خط مستقيم. والنقطة المطلوب تعيين المقاومة النوعية لها هى نقطة المنتصف لهذه القضبان، ويستخدم فى ذلك أربعة قضبان، طول القضيب 3m، وقطره 13 mm، مصنوعة من الصلب المجلفن. والمعادلة 2.8 تعطى قيمة المقاومة النوعية للتربة فى هذه الحالة.

$$\rho = 2\,\pi\,RS\ (\Omega.m) \rightarrow 2.8$$

حيث إن :

المقاومة النوعية المتوسطة (Ω. m) ρ

قراءة الجهاز (Ω) R

المسافة بين أى قضبين (m) S

والجدير بالذكر أن المقاومة النوعية للتربة والمحسوبة من المعادلة السابقة تكون على عمق (3/4) المسافة S .

والجدول (٢ – ١١) يبين بعض نتائج القياسات التى تم إجرائها لقياس المقاومة النوعية لتربة على أعماق مختلفة وذلك بتغيير المسافة بين الأعمدة .

الجدول (٢ - ١١)

المسافة S (m)	قراءة الجهاز R (Ω)	المقاومة النوعية ρ (Ω. m)	العمق (m)
2	90	1140	1.5
4	21.5	538	3
8	10	502	6
12	5.5	415	9
24	3	450	18
40	2	502	30

والجدير بالذكر أن قيم المقاومة النوعية ρ تحسب من المعادلة 2.8، أما العمق الذى يحسب له المقاومة النوعية فيساوى (3/4S) .

ويلاحظ من الجدول السابق أن المقاومة النوعية للتربة على عمق 3 m تساوى

538Ω.m، فى حين أن المقاومة النوعية للتربة على عمق 9 m تساوى 502Ω.m لذلك ينصح باختيار عمود طوله 3 m وذلك لعدم وجود فرق كبير فى المقاومة النوعية مع زيادة الطول ثلاث مرات.

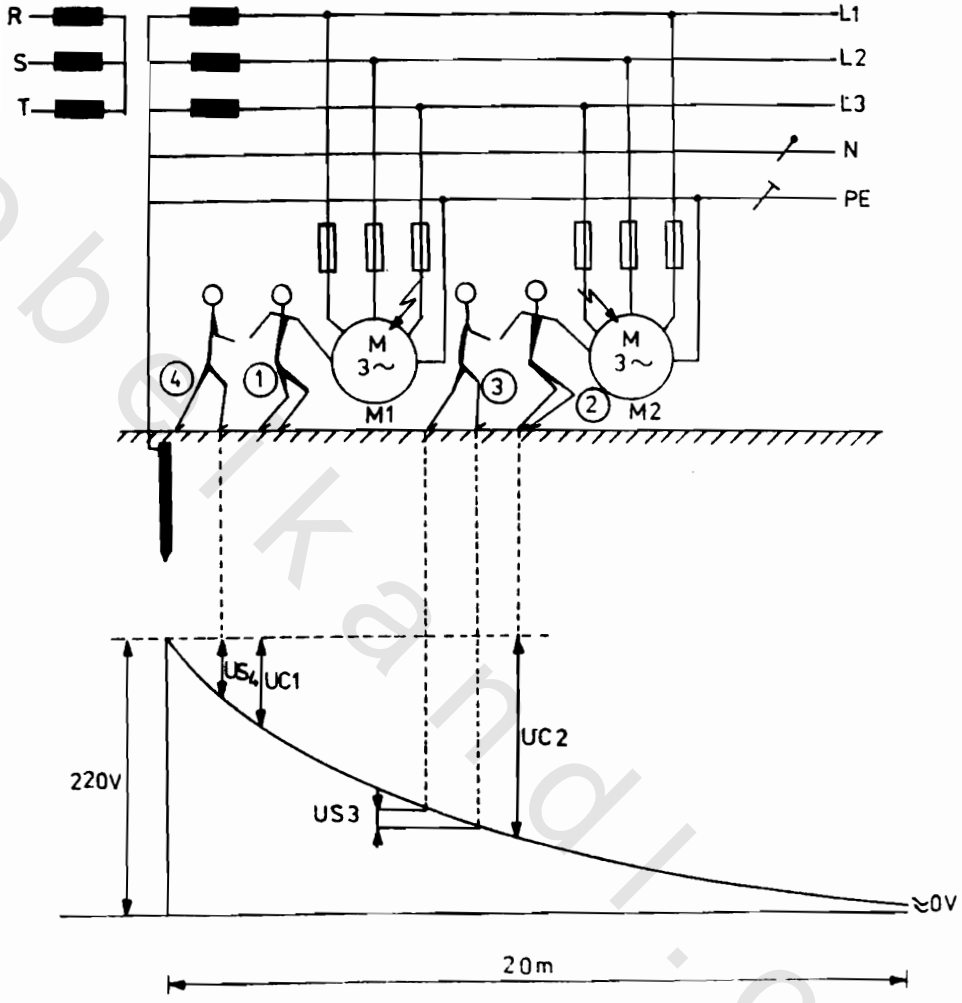
٢ / ٨ - جهد التلامس وجهد الخطوة Contact Voltaye and step Voltage

الشكل (٢ - ٢٤) يبين شبكة كهربية ثلاثية الأوجه مزودة بموصل وقاية PE، وموصل بها محركين كهربيين مؤرضين الأول M1 وبه قصر داخلى بين L1 وجسم المحرك الأمر الذى يؤدى لانتقال هذا الجهد إلى القطب الأرضى عبر موصل الوقاية PE فيكون جهد القطب الأرضى مساويًا جهد خط الوقاية مساويًا جهد الوجه L1 فيتشكل جهد على تربة أرضى الوقاية ويقل هذا الجهد كلما ابتعدنا عن قطب الأرضى ليصبح مساويًا الصفر على بعد 20 m تقريبًا من القطب الأرضى فى جميع الاتجاهات. وباعتبار أن المقاومة النوعية للتربة ρ ثابتة فى جميع الاتجاهات لذلك فإن منحنيات توزيع الجهد على تربة الأرضى تكون متماثلة فى جميع الاتجاهات أى أن الجهد على نقاط الدائرة التى مركزها قطب الأرضى يكون ثابتًا تقريبًا، وتسمى الدائرة التى مركزها القطب الأرضى ونصف قطرها 20 m بأساس الأرضى Earth reference.

وعند ملامسة الشخص رقم 1 لجسم المحرك M1 فإنه يتعرض لجهد تلامس UC1، فى حين يتعرض الشخص رقم 2 الملامس لجسم المحرك M2 والموصل مع نفس موصل الأرضى لجهد تلامس UC2، ويتعرض الشخص 3 لجهد خطوة يساوى فرق الجهد بين قدميه والذى يساوى US3، فى حين يتعرض الشخص 4 لجهد خطوة يساوى US4. ويلاحظ أن جهد التلامس يزداد كلما ابتعدنا عن مكان القطب الأرضى فى حين يزداد جهد الخطوة كلما اقتربنا من مكان القطب الأرضى.

والجدير بالذكر أن جهد الخطوة لا يمثل خطورة على الإنسان فى شبكات الجهد المنخفض لصغر خطوة الإنسان.

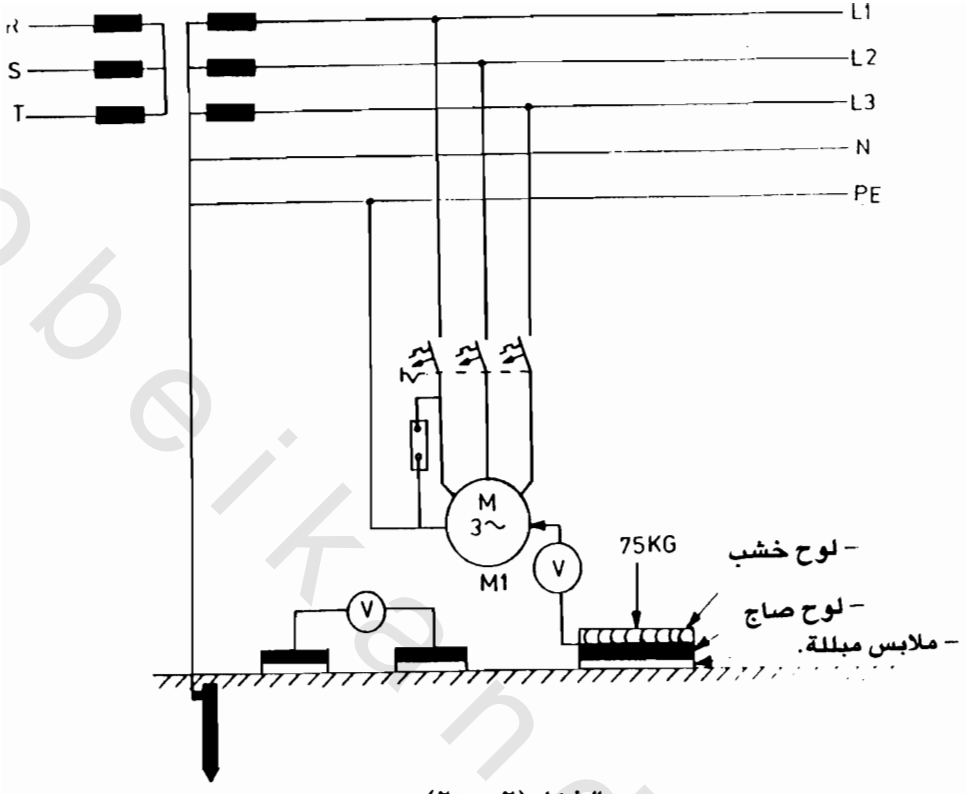
فى حين يمثل خطورة على الحيوانات الكبيرة مثل: الخيول والأبقار بسبب خطوتها الكبيرة بين قدميها الأماميتين والخلفيتين، وقد يؤدى هذا الجهد لارتفاع ضغط دمها وتصلب شرايينها وقد يؤدى إلى الوفاة.



الشكل (٢ – ٢٤)

والشكل (٢ – ٢٥) يوضح طريقة قياس جهد التلامس وجهد الخطوة عند حدوث قصر فى محرك كهربى .

ولقياس جهد التلامس نستخدم لوح من الحديد المسطح أبعاده 35 x 35 Cm وتوضع على بعد (1: 1.25m) من المحرك باعتبار أن مجال يد الإنسان 1.25m وينصح بوضع ملابس مبللة أسفل لوح الحديد، ثم يوضع لوح خشبى فوق لوح الصاج



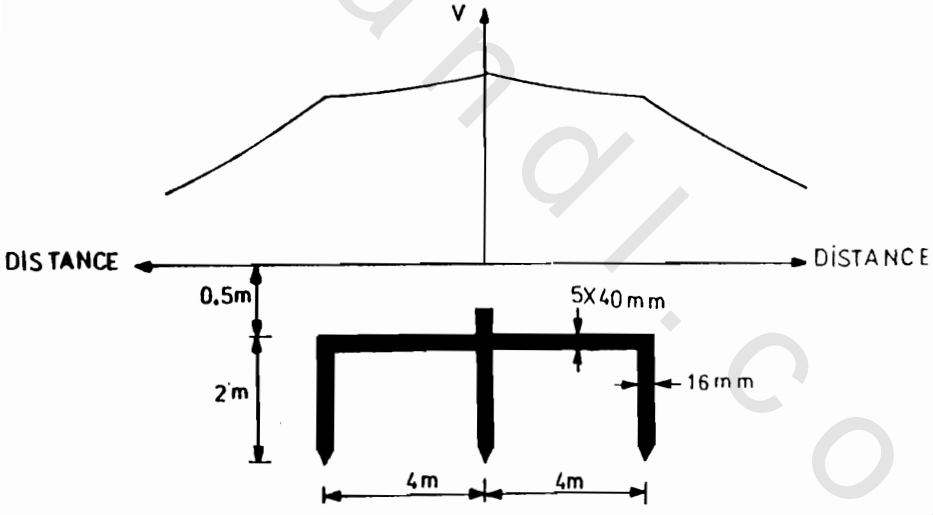
الشكل (٢ – ٢٥)

وعليه ثقل 75 Kg، وهو يمثل ثقل الإنسان، ويوصل لوح الصاج بهيكل المحرك عن طريق فولتميتر ذات مقاومة داخلية لا تقل عن 1000 Ω، ويفصل المحرك عن المصدر بواسطة القاطع الخاص به، ثم يوصل أحد الأوجه مع جسم المحرك ويعاد توصيل قاطع الدائرة مرة أخرى فتكون قراءة الفولتميتر هى جهد التلامس، ويمكن تغيير وضع لوح الصاج مع المحافظة على المسافة بينه وبين المحرك واعتبار أكبر قراءة للفولتميتر هى جهد التلامس الذى يؤخذ به.

ولقياس جهد الخطوة نستخدم لوحين من الصاج أبعادهم 35 x 35 Cm، ونقترب من مكان القطب الأرضى قدر الأماكن للحصول على أعلى جهد خطوة، ثم نضع لوحى الصاج على الأرض، بحيث تكون المسافة بينهما تساوى 1m ووضع ملابس مبللة أسفلها ويوضع على كلٍّ منهما ثقل 40kg، ويوصل بين اللوحين بجهاز

فولتميتر مقاومته الداخلية لا تقل عن 1000Ω ونحدث قصر بين أحد أوجه المحرك مع هيكل المحرك بنفس الطريقة المتبعة فى الحالة السابقة فتكون قراءة جهاز الفولتميتر هى جهد الخطوة، ويمكن تكرار التجربة عند مواضع مختلفة مع المحافظة على المسافة بين اللوحين، ونعتبر أكبر قراءة للفولتميتر هى جهد الخطوة الذى يؤخذ به فى كلتا الحالتين، ويجب أن يكون جهد التلامس، وجهد الخطوة أقل من (50 Vac)، وفى حالة تعدى جهد الخطوة وجهد التلامس الحدود المسموح بها نقوم بعمل تعديل لمنحنى توزيع الجهد على الأرض باستخدام أقطاب أرضية إضافية بالطريقة المبينة بالشكل (٢ – ٢٦)، وذلك باستخدام شعاع رباعى طوله 8m مصنوع من الصلب المجلفن أبعاده 5 x 40mm كالمبين بالشكل (٢ – ١٤ب).

ويربط معه أربعة قضبان من الصلب المجلفن طول الواحد 2m وقطره 16mm .



الشكل (٢ – ٢٦)