مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (21) العدد (8) 1999
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (21) No (8) 1999

إمكانية استخدام نفايات معامل الألمنيوم في تحسين مواصفات التربة

الدكتور نزيه خيربك *
الدكتور رامي حنا **

(ورد إلى المجلة في 1998/3/24، قبل للنشر في 1999/5/3)

□ الملخّص □

تركز البحث في تثبيت تربة منتخبة بنفايات معامل الألمنيوم، غير صالحة، وغير اقتصادية في استخلاص الألمنيوم منها ثانية.

استخدمنا في تثبيت التربة نسبة من النفاية قدرها (5 %) و (10 %) و (15 %). بينت النتائج أن إضافة النفاية كانت فعالة في تحسين المقاومة الميكانيكية للخليط ، بينما تغيرت مؤشرات اللدونة بشكل طفيف ، وبقيت قيمتها أعلى من الحدود التي تسمح بها لطبقات الأساس، وما تحت الأساس، في منظومة الرصف الطرقية .

إن مقاومة الضغط البسيط لعينات مشبعة من التربة المعالجة بنسبة (15%) من النفاية، قد ازدادت بمقدار / 11 / ضعفاً عن مقاومة تلك العينات التي لم تعالج . إن إضافة (15%) من النفاية تسمح باستخدام الخليط في إنشاء الطبقة العلوية من الطابق الترابي؛ لأن قيمة C.B.R للخليط أصبحت عندها (20%) ، أي بزيادة مقدارها (185 %) من قيمة C.B.R للتربة الأصلية غير المعالجة .

* أستاذ مساعد في قسم الهندسة الجيوتكنيكية كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية سورية.
** مدرس في قسم هندسة المواصلات والنقل كلية الهندسة المدنية جامعة تشرين - اللاذقية سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (21) العدد (8) 1999
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (21) No (8) 1999

The Ability of Using the Industrial Aluminum Waste for Soil Stabilization

Dr. Nazih KHERBEK*

Dr. Rami HANA**

(Received 24/3/1998, Accepted 3/5/1999)

❐ ABSTRACT ❐

Our research concentrated on the stabilization (improvement) of a selected soil by aluminum factory Waste. The Waste is considered neither suitable nor economical for extracting aluminum once more.

We used (5%), (10%) and (15%) of Waste aluminum Waste soil stabilization. The results showed that the addition of waste was effective in improving the mechanical strength of the mixtures, while the plasticity indexes were little changed, PI values remained beyond (higher than) the limits required by the specifications for base and sub-base materials in road construction. The mechanical strength of the samples of soil enriched by (15%) of waste increased by (11) times of those of mixture in the construction of original non-treated soil.

* Associate Professor at Department of Geotechnic, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Lecturer at Department of Transport, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

1- المقدمة:

تشكل نفايات مصانع التعدين في بعض الحالات عبئاً كبيراً على الهيئات الإدارية العاملة بالمصانع، خصوصاً عندما تتراكم هذه النفايات بكميات كبيرة سنوياً، يصعب في كثير من الحالات التخلص منها، إضافة إلى أن الهيئات المهتمة بالمحافظة على البيئة، بدأت تحارب عمليات رمي النفايات بشكل عشوائي، ولاسيما في القرب من المصادر المائية، كما دأبت في البحث عن سبل التخلص من النفايات بأفضل ما يمكن، ليتسنى الاستفادة من النفاية، بدون إحداث أي ضرر أو أذى للبيئة المحيطة.

من هذا المنطلق بدأ الكثير من الباحثين باستخدام النفايات بشكل عام، ومنها مخلفات معامل الصلب في تثبيت التربة [1، 2]، حيث تشير المؤلفات إلى فعالية كبيرة أو محدودة لاستخدام نفاية ما، أو تلك، في عمليات التثبيت هذه [3]، ويذهب الكثير من الباحثين إلى اعتبار أن استخدام نفايات معامل الصلب في تثبيت التربة، يحل مشكلة أصبحت من أهم مشاكل تحسين مواد إنشاء الطرق، وذلك بالاستفادة من المواد المحلية، لاستخدامها في إنشاء طبقات ما تحت الأساس، والطبقة العلوية من الطابق الترابي [4 ، 5، 6]، وذلك بعد تثبيتها، وخلطها بالنفايات المذكورة وفق نسب محددة.

في بحثنا هذا وقع الاختيار على نفايات معامل الألمنيوم [7]، وبالتحديد نفايات معمل ألمنيوم اللاذقية، أما كمية هذه النفاية فهي مقبولة سنوياً، وقد تغطي كمياتها إنشاء طبقة في طريق قد يصل طوله إلى 300m، وإن النفاية بحد ذاتها تتكون من بقايا صلبة (مواد كيميائية لازمة للتصنيع) وكمية من الكلس ومن بقايا فتات الألمنيوم مع بعض الفلزات المعدنية الأخرى، يزاد على ذلك وجود ما يزيد على أربعة معامل أخرى منتشرة في القطر.

أما في بحثنا هذا، فلم نتطرق للتركيب الكيميائي للنفاية، وإنما حدد تحليلها الحبي وتأثيرها على تغير الخواص الفيزيائية والميكانيكية للتربة الأصلية، وبالتالي فإن البحث قسم إلى جزأين رئيسيين هما:

الجزء الأول: تمت فيه دراسة التربة المنتخبة فيزيائياً وميكانيكياً بدون تحسين.

الجزء الثاني: تمت فيه إضافة النفاية بنسب 5%و 10 %و 15 % إلى التربة المنتخبة الأصلية وتمّ عند كل نسبة تحديد الخواص الفيزيائية والميكانيكية، إضافة إلى دراسة تأثير الزمن على زيادة مقاومة الخليط (تربة + نفاية)، حيث دُرست المقاومات الميكانيكية (الضغط البسيط) بعد أسبوع، وأسبوعين، وأربعة أسابيع، و (56) يوماً من عمر العينات المقولبة في

قوالب معدنية عالية المتانة مصنعة خصيصا للتجريب.

2- أدوات التجريب المستخدمة في البحث:

إضافة لأدوات تجارب التحليل الحبي (المنخلي)، وتجارب حدود أتربرغ (جهاز كازاغراندي)، كان هناك تجربتان هامتان، أولاهما تجربة الـ C.B.R ،وتجربة الضغط البسيط على عينات اسطوانية (D=H=5 cm) في حالتين أولهما مشبعة، والأخرى بدون إشباع [3،4]، إلا أن تجربتي الـ C.B.R والضغط البسيط كانت على عينات مرصوصة وفق الرطوبة الأصولية والكثافة الجافة العظمى المحددتين بناءً على تجربة بروكتور المعدلة[5].

3- الخواص الميكانيكية والفيزيائية للمواد المستخدمة في البحث:

3-1- نفاية معامل الألمنيوم:

عند اختيارنا للنفاية، لم نضع خطة لدراسة الخواص الميكانيكية والفيزيائية بشكل مفصل ، وإنما اقتصرت الدراسة على تحديد التركيب الحبي للنفاية، وكانت كما هي مبينة في الجدول (1).

جدول (1) يبين التركيب الحبي للنفاية

فتحة المنخل	النسبة المئوية المارة %
NO 4 (4.75mm)	78
NO 8	72
NO 10	62
NO 40	29
NO 80	19
NO 120	15
NO 200	10

أما قيم خواص اللدونة والسيولة للنفاية، فكانت على التوالي:

حد السيولة LL=18%

حد اللدونة PL=NPL

3-2- التربة المنتخبة (الخام) قيد التثبيت بالنفاية:

وقع الاختيار على تربة مدخل جامعة تشرين (مشروع نفق الجامعة)، لما لهذه التربة من خواص فيزيائية وميكانيكية سيئة في مجال استخدامها بوضعها الطبيعي لإنشاء الطرق، فالتربة المذكورة تشكل في وضعها الحالي الطابق الترابي، ولهذه العوامل، اقترحت الدراسة الطرقية لمدخل الجامعة استبدالها بمواد محسنة لتعويض نقص المتانة، وللسماح بإنشاء طبقات رصف أقل تكلفة توافق الكثافة الكبيرة للسيارات في مدخل المدينة. أما نتائج التجارب المخبرية المطبقة على التربة بوضعها الطبيعي (بدون تثبيت)، فقد كانت كما هي مبينة في الجدول (2).

جدول (2) الخواص الفيزيائية و الميكانيكية للتربة الخام:

الخاصة	رقم الكود	القيمة	
1- حد السيولة	ASTM D423-66	LL = 38 %	
2- حد اللدونة	ASTM D424-59	PL = 25 %	
3- قرينة اللدونة		PI = 13 %	
4- الوزن النوعي	ASTM D854-58	GS = 2,74gr/cm^3	
5- التركيب الحبي	ASTM D422-63	رقم المنخل	نسبة المار %
		NO 10	97,6
		NO 40	91
		NO 200	56
6- قرينة التحمل الكاليفورنية (C.B.R.) لوسطي ثلاث عينات		قبل الإشباع	بعد الإشباع
		35 %	C.B.R = 7 %
7- الإنتفاخ النسبي			S = 1,5 %
8- المقاومة على الضغط البسيط لعينات أسطوانية		قبل الإشباع	بعد الإشباع
PCT- USSR- 82-79 D = H = 5 cm		0,58Mpa	0, 18 Mpa
9- مواصفات بروكتور المعدلة		الرطوبة الأصولية 17 %	
		الكثافة الجافة العظمى $\gamma_d = 1.74\,g/cm^3$	

تجدر الإشارة إلى أن العينة المجرّبة على الضغط البسيط، رصت استاتيكيا في قوالب معدنية صلبة أسطوانية مفرغة، وفق الكثافة الجافة العظمى، والرطوبة الأصولية، جدول (2).

4- تثبيت التربة المنتخبة بنسب متزايدة من النفاية:

وضع مخطط تثبيت التربة بالنفاية على ثلاث مراحل:

المرحلة الأولى: تمت فيها دراسة تثبيت التربة بالنفاية بنسبة 5 % (النسبة من الوزن الجاف للتربة)، ومن ثمَّ دراسة الخواص الفيزيائية والميكانيكية الأساسية للمزيج.

المرحلة الثانية: كانت الدراسة فيها مخصصة لتثبيت التربة بنسبة 10 % نفاية.

المرحلة الثالثة: خصصت لتثبيت التربة بنسبة 15 %.

تجدر الإشارة إلى أنه، عند كل نسبة من النسب الثلاث السابقة الذكر، تمت دراسة تبدل المتانة مع الزمن، لا سيما المتانة على الضغط البسيط، وسوف نستعرض فيما يلي نتائج التجريب عند كل نسبة على حدة.

4-1- دراسة خواص حدود أتربرغ مع كل نسبة مضافة:

تم تحديد خواص حدود أتربرغ عند كل نسبة من النسب السالفة الذكر، فكانت كما هي مبينة في الجدول (3):

جدول (3) تبدل حدود أتربرغ مع كل نسبة مضافة من النفاية

نسبة النفاية المضافة (%)	حد السيولة للمزيج LL(%)	حد اللدونة للمزيج PL(%)	قرينة اللدونة للمزيج PI (%)
5	36	25	11
10	33	24	9
15	30	23	7

يبين الشكل (1) خواص السيولة واللدونة وقرينة اللدونة وفقاً للنسب المضافة من النفاية للتربة.

4-2- دراسة قرينة التحمل الكاليفورنية C.B.R، والانتفاخ النسبي للمزيج (تربة +نفاية):

تم تحديد الكثافة الجافة العظمى للمزيج والرطوبة الأصولية (وفق طريقة بروكتور للرص) عند كل نسبة مضافة من النفاية للتربة، بحيث نتمكن من رص قوالب الـ C.B.R وفق كل منها، أما قرينة التحمل الكاليفورنية (C.B.R)، فقد حددت على أساس وسطي لثلاث عينات في الحالة المشبعة لكل منها، وذلك بعد حدوث الانتفاخ النهائي، حيث كانت نتائج التجارب كما هي مبينة في الجدول (4) وفي الشكل (2).

جدول (4) نتائج تجارب الـ C.B.R للمزيج

نسبة النفاية المضافة %	الكثافة الجافة العظمى (gr / cm^3)	قيمة الـ C.B.R في الحالة المشبعة %	الإنتفاخ النسبي %
5	1,730	9	0,95
10	1,735	16	0,82
15	1,725	20	0,83

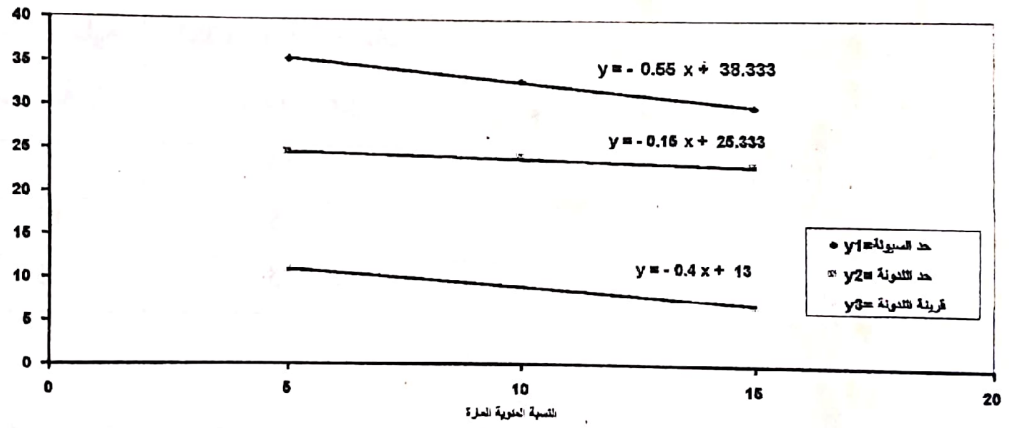
4-3- تقييم المقاومة على الضغط البسيط للمزيج (تربة + نفاية):

بالإشارة إلى ما ذكر سابقاً، ولدراسة المقاومة على الضغط البسيط، صنعت قوالب معدنية ذات مقاومة عالية، تتحمل ضغوطات كبيرة، لتستطيع تحمل عملية تشكيل العينات تحت ضغوطات كبيرة نوعاً ما قد تصل إلى 15Mpa علماً أن العينة داخل القالب المعدني تتطلب ضغطاً استاتيكياً مقداره 15Mpa -10 للحصول على هيكل عينة بكثافة جافة تحاكي كثافة التربة الجافة العظمى التصميمية [3، 4، 6]. أما العينات فكانت تُحضر بالنسب السالفة الذكر (تربة + نفاية)، كمتوسط نتائج لـ/20/ عينة تجريبية على الأقل لكل نسبة (تربة + نفاية)[5]. كما جربت العينات على الضغط البسيط في الحالة المشبعة، بعد مرور زمن قدره أسبوع، وأسبوعان، وأربعة أسابيع، و(56) يوماً لتبيان التفاعل بين التربة والنفاية مع الزمن.

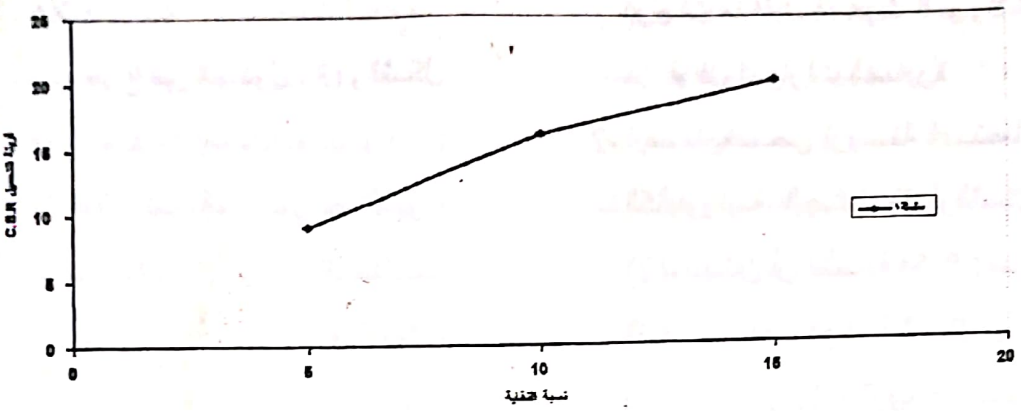
ونبين في الجدول (5) والشكل (3) نتائج التجارب.

جدول (5) يبين نتائج تجارب الضغط البسيط على عينات (تربة + نفاية)

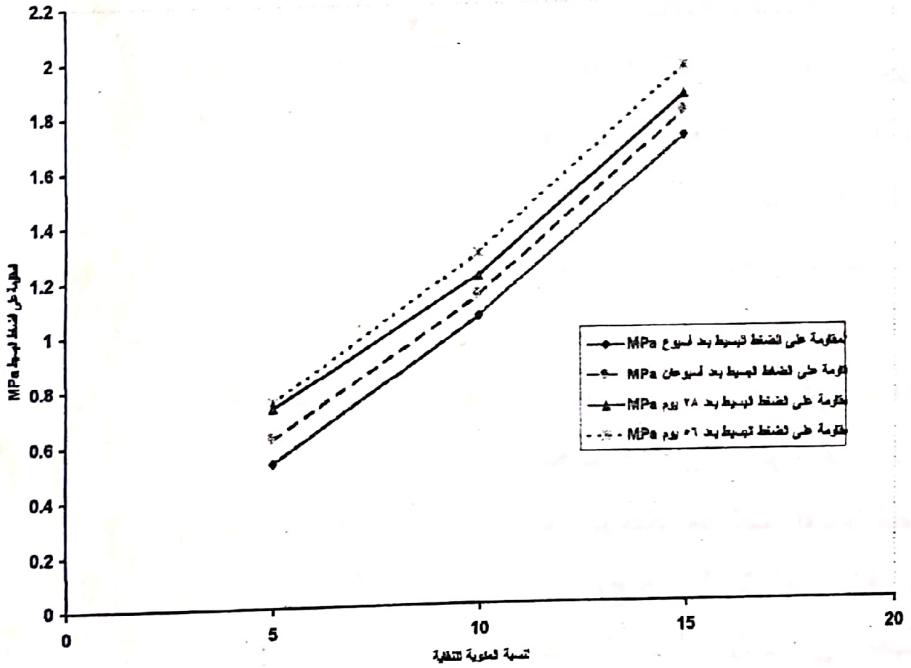
نسبة النفاية المضافة %	المقاومة على الضغط البسيط بعد أسبوع Mpa	المقاومة على الضغط البسيط بعد أسبوعين Mpa	المقاومة على الضغط البسيط بعد أربعة أسابيع Mpa	المقاومة على الضغط البسيط بعد 56 يوماً Mpa
5	0,525	0,615	0,727	0,748
10	1,05	1,125	1,2	1,28
15	1,701	1,79	1,85	1,96



شكل (1) يمثل العلاقة بين نسبة النفايات المضافة، وكلٌ من حد السيولة وحد اللدونة وقرينة اللدونة.



شكل (2) يمثل العلاقة بين نسبة النفاية المضافة وقرينة التحميل C.B.R في الحالة المشبعة.



شكل (3) يمثل العلاقة بين نسبة النفايات والمقاومة على الضغط البسيط، بعد أسبوع وأسبوعين، وأربعة أسابيع، و (56) يوماً

الاستنتاجات:

1- بالرجوع إلى الجدول (3) والشكل (1)، نجد أن إضافة نسبة (5%) من النفاية للتربة، تخفض حد السيولة بنسبة (52%)، بينما انخفضت قرينة اللدونة بمقدار (15,3%)، وعند إضافة (10%) من النفاية للتربة بلغت قيمة حد السيولة LL=33%؛ أي انخفضت بنسبة (13,1%) أفضل مما كانت عليه قبل التثبيت، وهي قيمة مرتفعة. ولكن عند إضافة (15%) من النفاية أصبحت قيمة الـ (LL=30%)؛ أي بنسبة انخفاض قدرها (20.05%)، وأصبحت قيمة قرينة اللدونة (7%)، بمعنى أنها انخفضت عما هي عليه في التربة الأصلية بنسبة (46.15%)، لذلك من وجهة نظر صلاحية المادة لإنشاء إحدى طبقات الرصف، يعتبر المزيج غير صالح لإنشاء الطرقات من درجات مرتفعة حيث إن حد السيولة في كافة الحالات أكبر من 25 % ، وهي النسبة القصوى التي تسمح بها المواصفات [3] لإنشاء الرصف الطرقي، ولكن يمكن استخدام المزيج لإنشاء طبقات الرصف من درجات منخفضة، حيث الحمولات من قوافل السيارات الصغيرة.

2- فيما يخص قرينة التحمل الكاليفورنية، الجدول (4) والشكل (2)، يبينان أن إضافة (5%) من النفاية للتربة، ترفع قيمة الـ C.B.R بمقدار (28,5%) تقريباً عما كانت علية التربة الخام بدون إضافة، وعند إضافة 10 % من النفاية للتربة ارتفعت قيمة الـ C.B.R إلى 16% بزيادة مقدارها 128 %عن C.B.R للتربة الخام ، لكن عند إضافة 15 %من النفاية أصبحت قيمة الـ C.B.R للمزيج 20%، أي بزيادة وصلت إلى 185%.وهذه الأخيرة تسمح باستخدام المزيج في إنشاء الردميات الترابية، والطبقات العليا من الطابق الترابي [4، 5، 6]، وإنشاء الرصف الطرقي (طبقة ما تحت الأساس في الرصف الطرقي من درجات منخفضة)، لكن ليصبح المزيج جيداً للإنشاء الطرقي من درجات عليا، لابد من تخفيض قرينة اللدونة للمزيج إلى حدّ أقل من 6%، و من الممكن أن يتم ذلك باستخدام الكلس المطفأ، أو الحي، وفق دراسة خاصة .

3- عند تجريب المزيج (تربة + نفاية) على الضغط البسيط، الجدول(5) والشكل (3) يبينان أن إضافة النفاية للتربة، تتسبب زيادة مقاومة المزيج على الضغط البسيط مع الزمن، وقد يمكن تعليل ذلك بحدوث تفاعل طويل الأمد، ونلاحظ أنه عند كل نسبة مضافة مع الزمن تزداد قيمة المقاومات على الضغط البسيط، فمثلاً عند عمر أربعة أسابيع وإضافة 15 % بلغت قيم الضغط البسيط (1.85 Mpa)، أي أن المقاومة ازدادت بمقدار (10.2) ضعفاً عما كانت عليه التربة الطبيعية ,وهذه القيمة تسمح باستخدام المزيج في إنشاء الرصف من درجات مرتفعة [4، 6]، لكن شريطة أن تكون خواص الدونة محققة للمتطلبات، والشروط الفنية المطلوبة من المواد المستخدمة في الإنشاء في المكان المطلوب، وعند إضافة 10 % من النفاية أصبحت للمزيج مقاومات على الضغط البسيط، تسمح باستخدامه في إنشاء الطبقات العلوية من الطابق الترابي، والطبقة السفلية من طبقة ما تحت الأساس إذا ما حققت باقي الشروط الفنية المطلوبة من طبقة ما تحت الأساس [1،2،4،5]، فالمقاومة على الضغط البسيط (1,2 MPa) للعينات التي عمرها (28) يوماً تعتبر جيدة، وهذه القيمة تحديداً تساوي (6,6) أضعاف ما كانت عليه التربة بدون إضافات.

REFERENCES المراجع

[1]- E. J. yoder, M. W. Witczak, *Principles of Pavement Design. Second Edition*. New York, London, Sydney, Toronto. Printed in U S A 1975.

[2]- C. A. O'Flaherty. *Highway Engineering Vol*, 2 London WC IB 3DQ1990.

[3]- ب . م . بيزروك، *مبادئ تثبيت التربة*، دار ايز نازتف للنقل، موسكو 1997 (باللغة الروسية).

[4]- فاسيلييف، ف. ب. أجافينوفا؛ ف. ث.، ايزاييف وآخرون، أغطية الأساسات الطرفية من المواد المثبتة، دار ترانسبورت للنشر موسكو 1992 (باللغة الروسية).

[5]- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Highway Subcommittee on Materials Washington, D.L. 2001-1991.

[6]- ف . م . بيزروك، *تثبيت التربة (مبادئ أساسية)* ، دار مير للنشر، موسكو 1992.

[7]- س. ن. يمليانوف، ن. س. الكسيفيتش ، *تثبيت التربة العضوية واللاعضوية من نفايات معامل التعدين لأغراض إنشاء طرق المواصلات معهد مادي* ، موسكو 1991 باللغة الروسية.