

Cuprins

1	TESTE EXPERIMENTALE – REZULTATE ȘI DISCUȚII.....	5
1.1	Introducere	5
1.2	Nanomateriale (nanoparticule).....	6
1.3	Metodologie	6
1.3.1	Proceduri experimentale	6
1.3.2	Proprietăți materiale.....	7
1.3.3	Prepararea amestecurilor sol-nanomateriale	10
1.4	Teste de laborator	12
1.4.1	Efectul nanomaterialelor asupra microstructurii solului.....	12
1.4.1.1	Microscopie electronică cu scanare (SEM) și spectroscopie cu raze X cu dispersie de energie (EDS) sau (Edax).....	13
1.4.1.2	Difracție cu raze X (XRD)	25
1.4.1.3	Testul pH-ului	43
1.4.2	Efectul nanomaterialului asupra proprietăților fizice și mecanice ale solului	43
1.4.2.1	Clasificare și distribuție granulometrică	43
1.4.2.2	Limita Atterberg.....	46
1.4.2.3	Testul edometrului.....	51
1.4.2.4	Test de forfecare directă.....	56
1.5	Concluzie.....	58

Figură 1 Etapa de preparare a amestecurilor sol- nanomateriale.....	7
Figură 2 Amplasarea locului de colectare a solului (http://www.googleearth.com)	8
Figură 3 prelevarea de probe de sol.	9
Figură 4 pulverizarea nanomaterialelor pe stratul de sol.	11
Figură 5 Amestecand toate cantitatea într-o oala.....	12
Figură 6 Microscopia electronică cu scanare [11].	13
Figură 7 nano pulbere in interiorul SEM.	14
Figură 8 masurare SEM pentru Nano-MgO.....	14
Figură 9 Masurare SEM pentru Nano- Al ₂ O ₃	15
Figură 10 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol cu o masuratoare de 5 μm	16
Figură 11 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol cu o masuratoare de 20 μm	17
Figură 12 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol cu o masuratoare de 500 μm	18
Figură 13 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol cu o masuratoare de 200 μm	19
Figură 14 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol cu o masuratoare de 10 μm	20
Figură 15 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol cu o masuratoare de 30 μm	21
Figură 16 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol cu o masuratoare de 50 μm	22
Figură 17 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol cu o masuratoare de 100 μm	23
Figură 18 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol tratat cu 2% ciment a) cu o masura 20 μm, b) cu o masura de 50 μm , c) cu o masura de 100 μm	24
Figură 19 Difrakția cu raze X	25
Figură 20 Difrakția cu raze X [13].....	26
Figură 21 parte de Difrakția cu raze X [15].....	26
Figură 22 XRD mode al solului netratat	27
Figură 23 XRD mode al solului tratat cu 0.5% Nano-MgO.	27
Figură 24 XRD mode al solului tratat cu 0.75% Nano-MgO	27
Figură 25 XRD mode al solului tratat cu 1% Nano-MgO	28
Figură 26 XRD mode al solului tratat cu 2% Nano-MgO	28
Figură 27 XRD model pentru Nano-Al ₂ O ₃	35
Figură 28 XRD mode al solului tratat cu 0.5% Nano-Al ₂ O ₃	35
Figură 29 XRD mode al solului tratat cu 1% Nano-Al ₂ O ₃	36
Figură 30 XRD mode al solului tratat cu 2% Nano-Al ₂ O ₃	36
Figură 31 XRD model pentru probe tratate cu 2% ciment	41
Figură 32 valorii pH-ului solurilor tratate cu procente diferite de Nano-Al ₂ O ₃	43
Figură 33 Sistem de clasificare a texturii (loess)	44
Figură 34 Granulometrie pentru sol netratat	44
Figură 35 Granulometrie pentru sol tretate cu 1% Nano-MgO	45
Figură 36 Granulometrie pentru sol tretate cu 0.75% Nano-MgO	45
Figură 37 Granulometrie pentru sol tretate cu 0.5% Nano-MgO.	45
Figură 38 Granulometrie pentru sol tretate cu 2% Nano-MgO	46
Figură 39 Limitele Atterberg pentru sol tratat cu procente diferite de Nano-MgO.....	47
Figură 40 Limitele Atterberg.	47
Figură 41 Efectul Nano-Mgo asupra limitei superioare de plasticitate pe sol tratat cu procente diferite de Nano-Mgo.....	48
Figură 42 Efectul Nano-Mgo asupra limitei inferioare de plasticitate pe sol tratat cu procente diferite de Nano-Mgo.....	48
Figură 43 Indicele de plasticitate pe sol tratat cu procente diferite de Nano-Mgo	49

Figură 44 Efectul Nano-Mgo asupra conținutului de apa pe sol tratat cu procente diferite de Nano-Mgo.	49
Figură 45 Indicele de consistență a solului tratat cu procente diferite de Nano-Mgo	50
Figură 46 Indicele de consistență a solului tratat cu un procent de 2% ciment.	50
Figură 47 Probe de sol tratate cu 0,5% Nano-Mgo după compactare	52
Figură 48 Teste edometru	52
Figură 49 Teste edometru pentru sol tratat cu procente diferite de nanomateriale.....	53
Figură 50 Curbe edometrice pentru probe de sol prelevate din Perișoru, tratate cu procente diferite de Nano-Mgo.	53
Figură 51 Curbe edometrice pentru probe de sol prelevate din Viișoara Sud, tratate cu procente diferite de Nano-Al ₂ O ₃	54
Figură 52 Modul edometru E _{oed} (kPa) a probelor de sol tratate cu procente diferite de Nano-MgO	54
Figură 53 Modul edometru E _{oed} (kPa) a probelor de sol tratat cu 2% ciment.	55
Figură 54 Modulul edometru al probelor de sol tratate cu procente diferite de Nano- Al ₂ O ₃	55
Figură 55 Teste de forfecare directă pentru sol tratat cu 0,5% Nano-Mgo.....	57
Figură 56 Teste de forfecare directă pentru sol tratat cu 0,75% Nano-Mgo.....	57
Figură 57 Teste de forfecare directă pentru sol tratat cu 1% Nano-Mgo.....	58
Figură 58 Teste de forfecare directă pentru sol tratat cu 2% Nano-Mgo.....	58

Tabel 1	Proprietățile nano-pulberii de oxid de nano-magneziu (așa cum sunt prezentate în fișa tehnică primită de la Skyspring, USA) [7].	9
Tabel 2	Properties of nano-aluminum oxide nano powder (as presented in the technical sheet received from Skyspring, USA) [7].	10
Tabel 3	Analiza al solului netratat	29
Tabel 4	Analiza al solului tratat cu 0.5% Nano-MgO.	30
Tabel 5	Analiza al solului tratat cu 0.75% Nano-MgO.	31
Tabel 6	Analiza al solului tratat cu 1% Nano-MgO.	32
Tabel 7	Analiza al solului tratat cu 2% Nano-MgO.	33
Tabel 8	Analiza pentru nano- Al_2O_3	37
Tabel 9	Analiza al solului tratat cu 0.5% Nano- Al_2O_3	38
Tabel 10	Analiza al solului tratat cu 1% Nano- Al_2O_3	39
Tabel 11	Analiza al solului tratat cu 2% Nano- Al_2O_3	40
Tabel 12	Analiza pentru probe tratate cu 2% ciment.	41
Tabel 13	Indicele de plasticitate pentru sol tratat cu procente diferite de Nano-MgO.	47
Tabel 14	Modul edometru Eoed (kPa) a probelor de sol tratate cu procente diferite de Nano-MgO	51
Tabel 15	Modulul edometru al probelor de sol tratate cu procente diferite de Nano- Al_2O_3	51
Tabel 16	Rezultatele testelor de forfecare directă pentru probele de sol tratate cu un procent diferit de Nano-MgO	56

1 TESTE EXPERIMENTALE – REZULTATE ȘI DISCUȚII

1.1 Introducere

Scopul general al acestui capitol este de a prezenta și investiga experimental efectele utilizării nanomaterialelor (Nano-MgO și Nano-Al₂O₃) ca aditivi asupra proprietăților fizice, mecanice și chimice ale solurilor. Probele de sol, care sunt utilizate în această cercetare, au fost colectate din două situri diferite din România. Primul sol a fost colectat de la biserica Adormirea Maicii Domnului, situată în comuna Perișoru, județul Călărași la aproximativ 120 km la Est de București, al doilea sol a fost colectat din comuna Viișoara Sud, județul Vaslui situată la aproximativ 300 km în nordul Bucureștiului. Aceste locații sunt necesare pentru îmbunătățirea solului datorită consistenței foarte scăzute a solului, rezistenței scăzute la forfecare și parametrilor mecanici slabi ai solului. Îmbunătățirea solului este termenul pentru a descrie orice modificare a texturii solului prin utilizarea metodelor mecanice, chimice și fizice [1].

Există o serie de tehnici de îmbunătățire a solului care pot fi utilizate pentru a îmbunătăți proprietățile solului cum ar fi: compactare, coloane de piatră, chituire, amestecare a solului și geosintetice. Nanotehnologia este ramura științei, ingineriei și tehnologiei efectuată în cel puțin o dimensiune a nanometrului (1-100) nm [2].

În ultimii ani, această tehnologie a fost folosită în domeniul ingineriei geotehnice și mulți cercetători au descoperit că nanomaterialele ar putea avea o influență asupra proprietăților geotehnice ale solurilor sărace și pot ajuta la îmbunătățirea acestora. În acest studiu au fost utilizate două tipuri diferite de nanomateriale, care sunt Nano-MgO, cu procente diferite (0,5%, 0,75%, 1% și 2%) și Nano-Al₂O₃ cu procente (0,5%, 1% și 2%). Prin microscopie electronică de scanare (SEM) și difracție cu raze X (XRD) verificăm dacă există modificări în matricea solului și în minerologia solului, după amestecarea cu nanomateriale. Scopul principal al acestui studiu a fost de a determina evoluția parametrilor geotehnici pentru solurile tratate cu diferite tipuri de nanomateriale și de a studia efectul acestora asupra texturii solului. Solurile îmbunătățite au fost investigate experimental și testate în laborator pentru consistența solului, rezistența la forfecare și compresibilitatea.

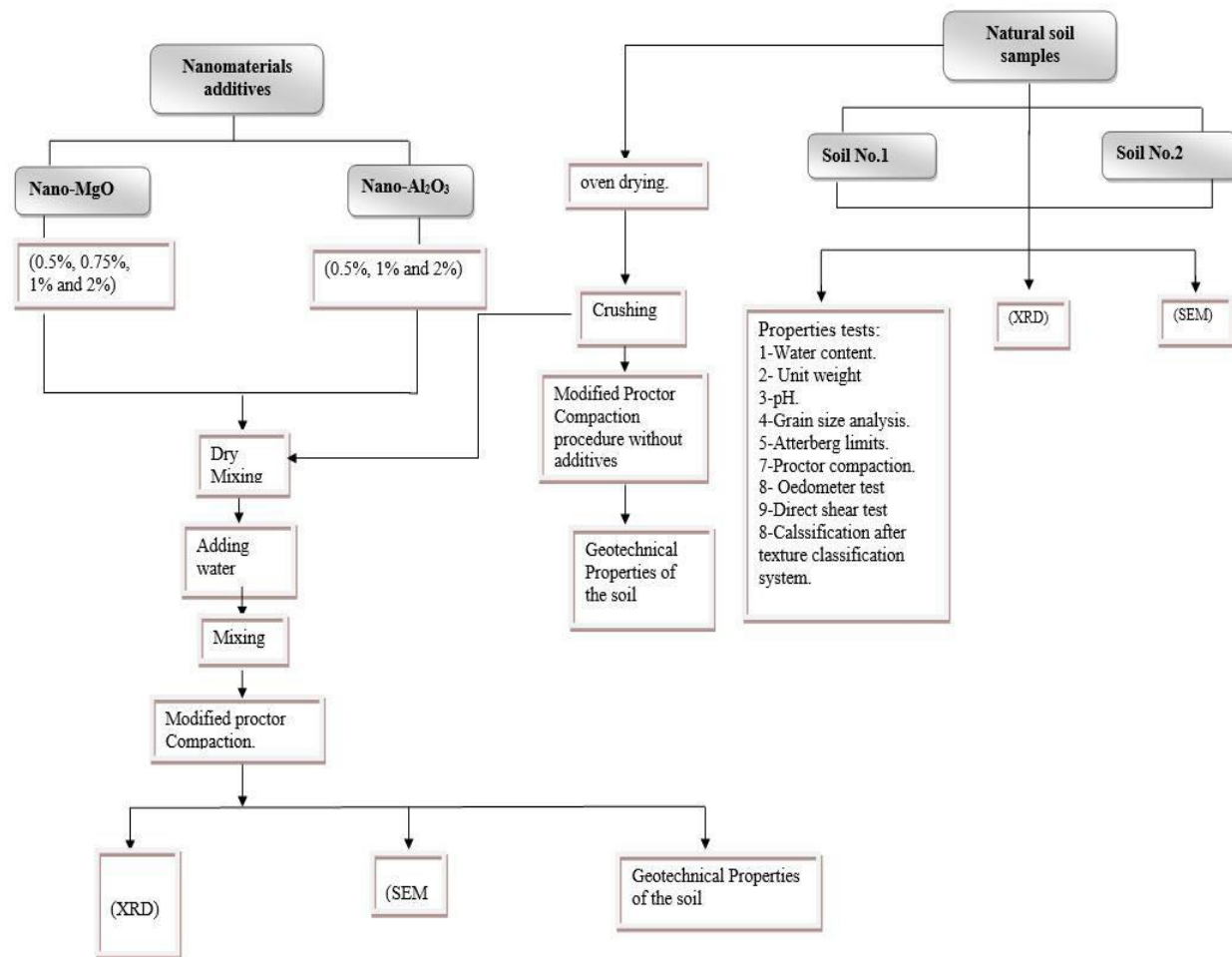
1.2 Nanomateriale (nanoparticule)

Nanomaterialele sunt definite ca materiale chimice care sunt mai mici de 100 nm. Ideea nanotehnologiilor a fost sugerată de Richard Feynman pentru prima dată în 1959 [3]. Definiția nanomaterialelor este dată și în conformitate cu Comisia Europeană, cel puțin jumătate din distribuțiile de mărime a particulelor nanomaterialelor trebuie să aibă o dimensiune a particulelor de 100 nm sau mai puțin [2]. După aceea, această tehnologie s-a dezvoltat și utilizat în toate ramurile științelor, cum ar fi farmacologic, biotehnologic, inginerie și tehnologic pur. Aceste materiale sunt considerate și reprezintă o legătură între materialele în vrac și structurile moleculare, proprietățile nanoparticulelor fiind diferite de cele ale formelor în vrac pentru aceleași materiale [4]. Nanomaterialele pot apărea în mod natural, pot fi găsite în cenușa vulcanică, pulverizarea oceanelor și chiar în materie biologică sau pot fi create ca produse secundare ale reacțiilor de combustie [5]. În plus, sunt un fel de materiale unice datorită suprafeței lor uriașe, care depășește contribuțiile aduse de volumul modest al materialului [6]. Mărimea nanoparticulelor poate afecta proprietățile chimice și fizice ale materialelor în vrac. oricum, pe măsură ce dimensiunea particulelor unui material se apropie de scara nanometrică și procentul de atomi de la suprafața unui material crește, caracteristicile sale devin semnificative.

1.3 Metodologie

1.3.1 *Proceduri experimentale*

Prepararea amestecurilor sol-nanomateriale cu un procent diferit de (Nano-MgO și Nano Al_2O_3) și studiul efectelor acestora asupra proprietăților geotehnice ale eșantioanelor de sol, reprezintă obiectivul principal al acestei cercetări. Toate probele de sol tratate au fost pregătite în laborator, Figura 1 prezintă etapele lucrării experimentale și testelor de laborator.



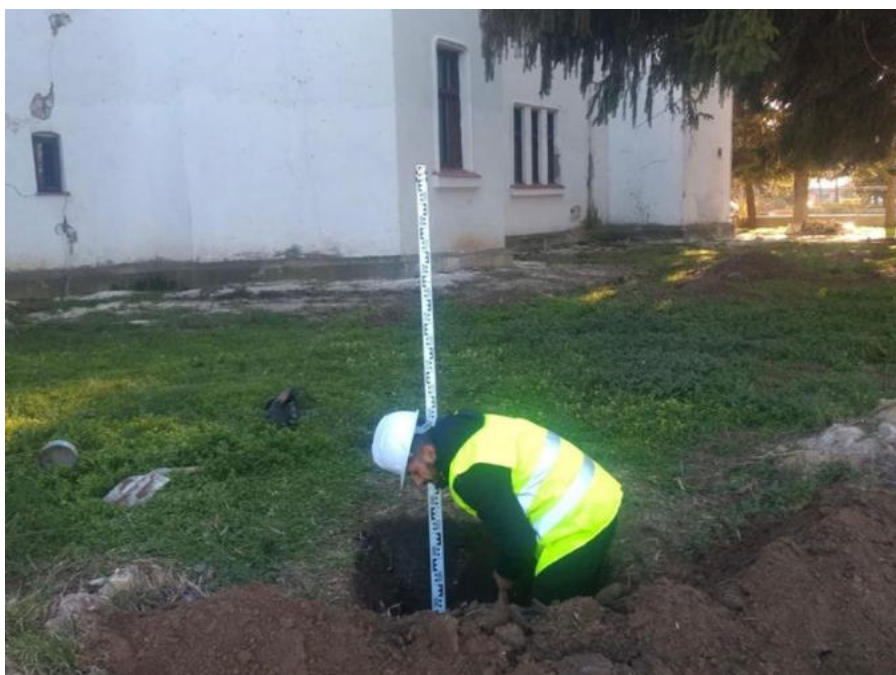
Figură 1 Etapa de preparare a amestecurilor sol- nanomateriale

1.3.2 Proprietăți materiale

În această cercetare au fost utilizate probe de sol colectate din două situri diferite din România. Primul sol a fost colectat din curtea bisericii Adormirea Maicii Domnului, situată în comuna Perișoru, județul Călărași la aproximativ 120 km est de București. Al doilea sol a fost colectat din comuna Vișoara Sud, județul Vaslui situat la aproximativ 300 km în Nordul Bucureștiului. Probele de sol au fost clasificate conform sistemului de clasificare a texturii. Eșantionul de sol este o argilă mălăoasă gălbuie, moale (loess umezit). Figura 2 prezintă locațiile probelor de sol colectate. Nano-Magneziu și Nano-Aluminiu care sunt utilizate în acest studiu au fost furnizate de Skyspring Nanomaterials, Houston, SUA. O pulbere fină albă, cu particulele cu diametrul cuprins între (10 și 50) nm. Toate informațiile furnizate de companie sunt afișate în Tabel 1 de mai jos.



Figură 2 Amplasarea locului de colectare a solului (<http://www.googleearth.com>)



Figură 3 prelevarea de probe de sol.

Nano-Magneziu și Nano-Aluminiu care sunt utilizate în acest studiu au fost furnizate de Skyspring Nanomaterials, Houston, SUA. O pulbere fină albă, cu particulele cu diametrul cuprins între (10 și 50) nm. Toate informațiile furnizate de companie sunt afișate în Tab. 1.1 de mai jos.

Tabel 1 Proprietățile nano-pulberii de oxid de nano-magneziu (așa cum sunt prezentate în fișa tehnică primită de la Skyspring, USA) [7].

Parametru	Valoare / comentariu
Formulă	MgO
Culoare	Alb
Puritate	99.9 %
Densitate în vrac	0.1 g/cm ³
D50	10-30 nm
Suprafață specifică (SSA)	>50 m ² /g
Punct de topire	2.852 °C
Punct de fierbere	3.600 °C la 1.013 hPa
Densitate	0.13-0.16 g/cm ³
Solubilitate în apă	Insolubil

Tabel 2 Properties of nano-aluminum oxide nano powder (as presented in the technical sheet received from Skyspring, USA [7].

Parametru	Valoare / comentariu
Formulă	Al_2O_3
Culoare	Alb
Puritate	99.9 %
Densitate în vrac	3.95 g/cm^3
D50	10-50 nm
Suprafață specifică (SSA)	$\leq 50 \text{ m}^2/\text{g}$

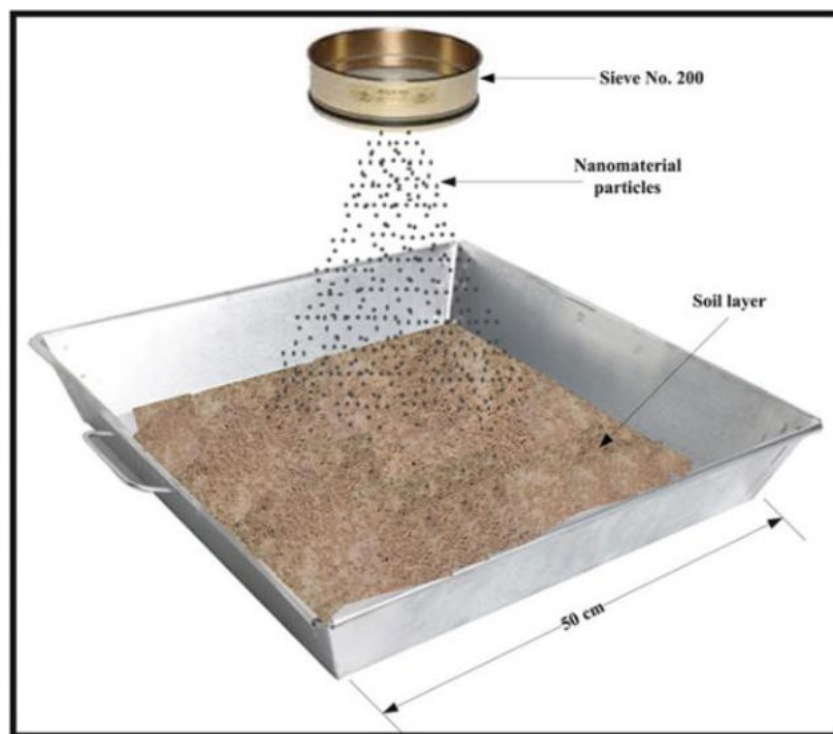
1.3.3 Prepararea amestecurilor sol-nanomateriale

În această cercetare au fost utilizate două tipuri diferite de nanomateriale, și anume Nano-MgO cu procente diferite (0,5%, 0,75%, 1% și 2%) și Nano- Al_2O_3 cu procente (0,5%, 1% și 2). %, acestea au fost adăugate probelor de sol, pentru a studia efectul acestora asupra rezistenței, limitelor de consistență și compresibilității solului, în acest studiu avem trei etape pentru finalizarea lucrărilor experimentale și teoretice:

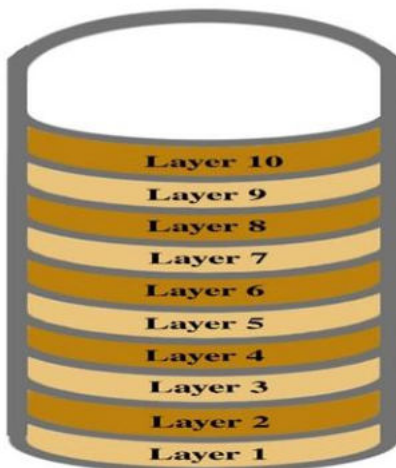
1. Prima fază este identificarea proprietăților indice ale solului moale natural (loess umed, în cazul nostru) includ: conținutul de apă, analiza prin sită, limita lichidă și plastică, conținutul optim de apă, max. densitate uscată, pH. Clasificarea solului a fost conform sistemului de clasificare a texturii. De asemenea, caracteristicile de compresibilitate, rezistența la forfecare și microstructura solului prin microscopia electronică cu scanare (SEM) și difracția cu raze X (XRD).
2. A doua fază o reprezintă probe de sol amestecate cu două tipuri de nanomateriale (Nano-MgO și Nano Al_2O_3) cu procente diferite între (0,5% până la 2%) iar unele probe au fost amestecate cu ciment Portland 2%. Probele de sol amestecate au fost puse într-o pungă de plastic și lăsate timp de cel puțin 48 de ore pentru întărire.
3. Probele de sol tratate și netratate rezultate au fost compactate utilizând procedura modificată a aparatului de testare Proctor după amestecarea cu nanomateriale. Pe probele de sol au fost efectuate multe teste de laborator pentru a obține proprietățile geotehnice.

Cantitatea de nanomaterial necesară pentru fiecare specimen a fost determinată prin înmulțirea procentului de nanomaterial (0,5% până la 2%) cu greutatea totală a probei de sol. Motivul pentru utilizarea unei cantități diferite de nanomateriale (adică, Nano-MgO și Nano Al_2O_3 în acest studiu) este de a observa efectul diferitelor densități și dimensiuni ale particulelor de nanomateriale asupra îmbunătățirii proprietăților geotehnice ale probelor de sol. Există două metode estimate de amestecare a solului cu nanomateriale, prima este de a amesteca nanomaterialele cu cantitatea necesară de apă și de a pune amestecul într-o baie cu ultrasunete timp de 2 ore. [8].

Această metodă nu a fost utilizată în studiul nostru deoarece Nano MgO și Nano Al_2O_3 sunt insolubile în apă și este dificil să se obțină o soluție omogenă în acest caz. A doua metodă a fost probele de sol amestecate cu nanomateriale și apoi adăugați apă [9]. Procesul de amestecare a fost manual, iar probele de sol au fost împărțite în zece straturi după adăugarea cantității adecvate de nano MgO pentru fiecare strat singur și amestecarea cu un mixer cilindric orizontal. Toate procesele de amestecare au fost efectuate în interiorul unei torpede izolate.



Figură 4 pulverizarea nanomaterialelor pe stratul de sol.



Figură 5 Amestecand toate cantitatea într-o oala.

1.4 Teste de laborator

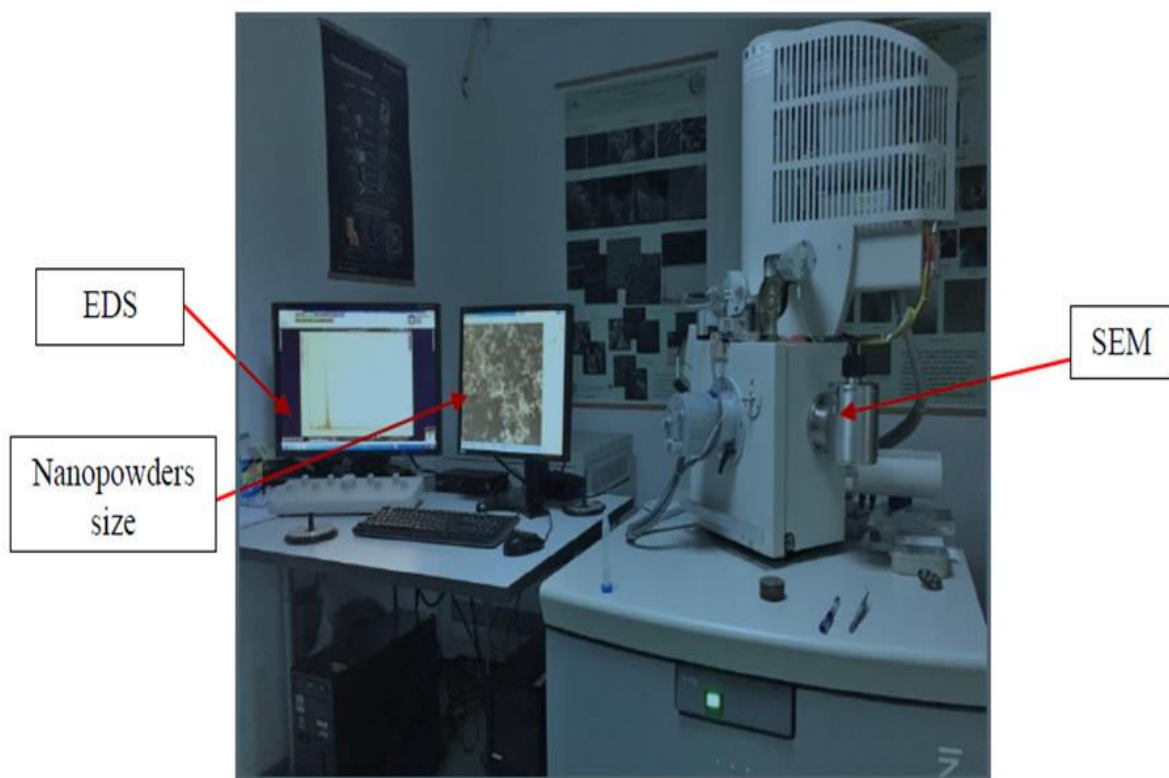
S-au efectuat multe teste de laborator pe probele de sol care au fost obținute din zona de studiu pentru a obține proprietățile fizice, mecanice și chimice ale solurilor. Parametrii de sol utilizați în această cercetare sunt calculați din teste de teren și de laborator, cum ar fi microscopia electronică cu scanare (SEM) pentru a observa modificările microstructurii probelor de sol din cauza adaosului de nano-MgO, difracția cu raze X (XRD) pentru a afla modificările în reacția mineralogică de fază, testul pH, limitele Atterberg (Limita de lichid (LL), limita de plastic (PL) și indicele de plasticitate ($PI=LL-PL$), Testul edometru pentru a determina mărimea și viteza de consolidare și măsurare testul de deformare și rezistență la forfecare (test direct la forfecare) pentru a obține parametrul rezistenței la forfecare.

1.4.1 Efectul nanomaterialelor asupra microstructurii solului.

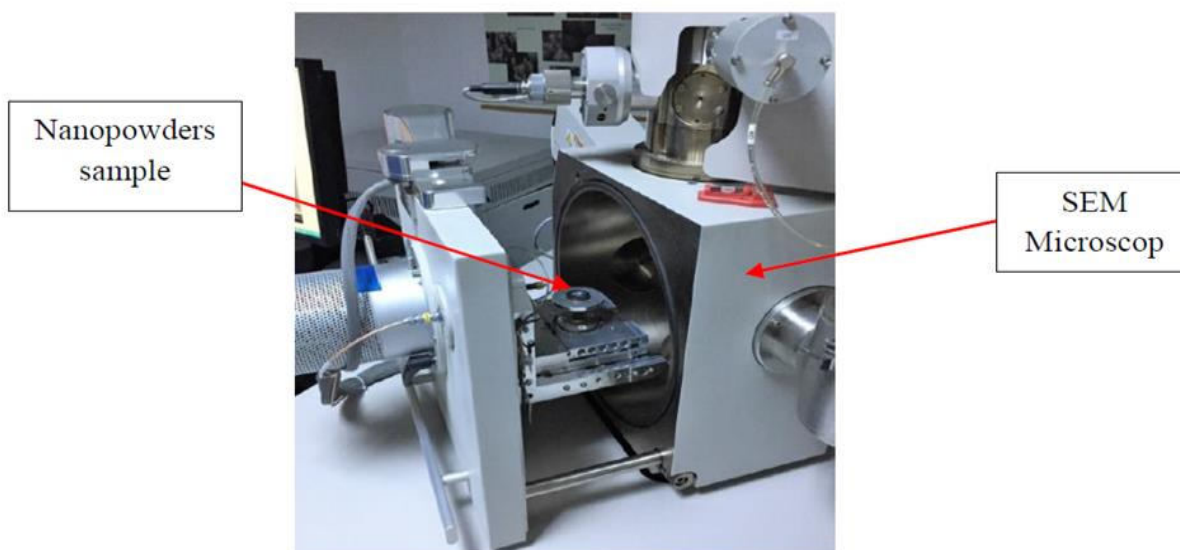
Pentru a investiga efectul aditivilor asupra microstructurii solului (adică Nano-MgO, Nano- Al_2O_3 și ciment în acest studiu), precum și puritatea și dimensiunea nanoparticulelor, au fost efectuate trei teste diferite.

1.4.1.1 Microscopie electronică cu scanare (SEM) și spectroscopie cu raze X cu dispersie de energie (EDS) sau (Edax)

Microscopia electronică cu scanare este un microscop electronic de înaltă rezoluție utilizat pentru măsurarea nanoparticulelor, care poate observa morfologia probelor. După cum se arată în figurile 6 și 7, pulberea nano a fost observată și investigată la diferite mărimi folosind un microscop electronic cu scanare [10]. Câteva miligrame de Nano MgO și Nano- Al_2O_3 sunt adăugate deasupra recipientului de carbon și împinse în interiorul aparatului.

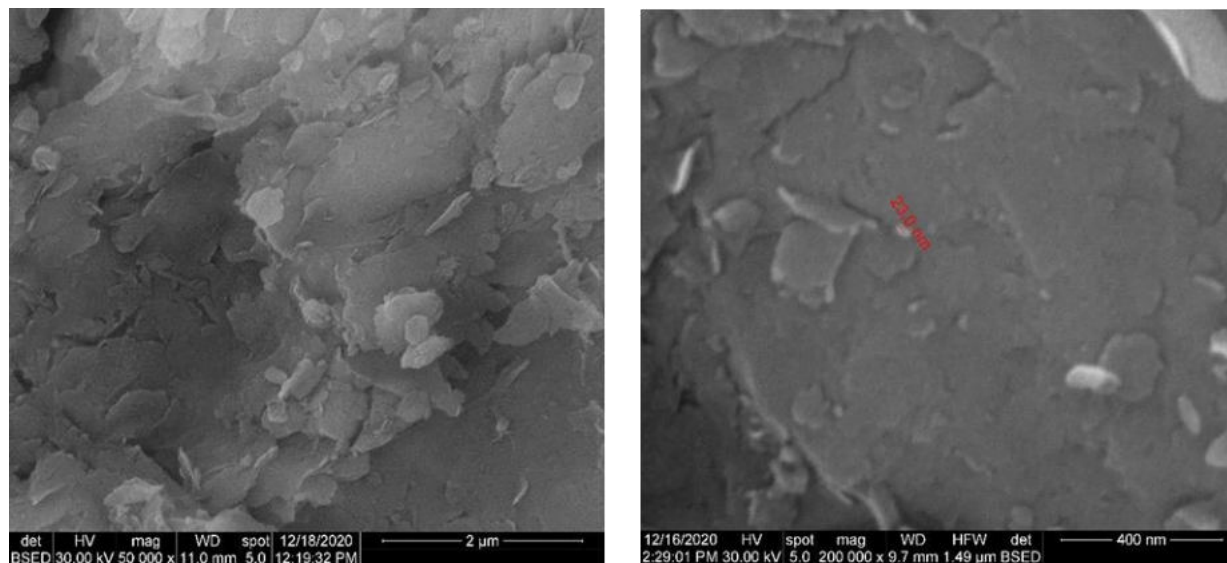


Figură 6 Microscopia electronică cu scanare [11].

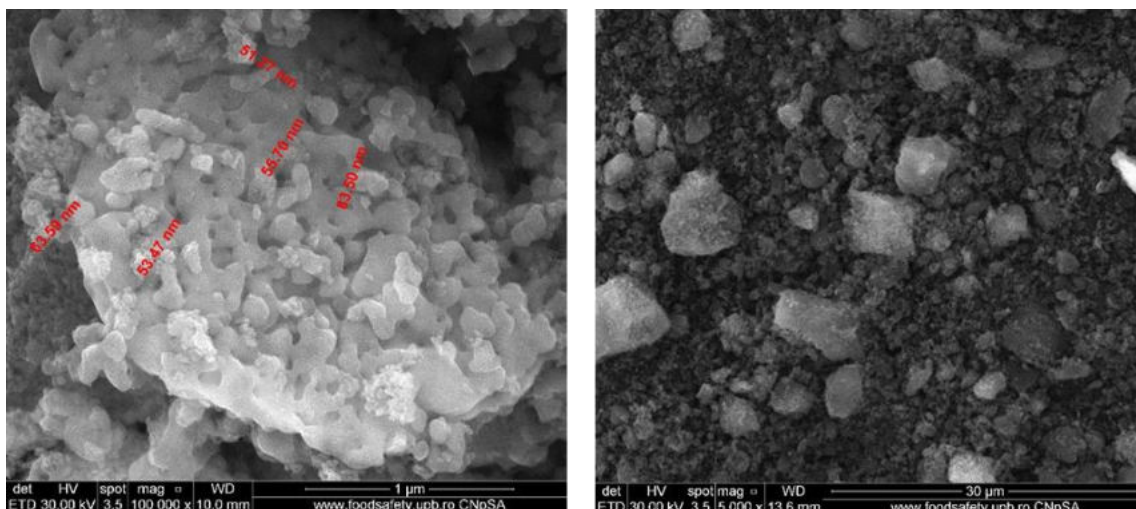


Figură 7 nano pulbere in interiorul SEM.

Imaginile de microscopie electronică cu scanare (SEM) pentru Nano-MgO și Nano Al_2O_3 sunt prezentate în figurile 8 și 9. sunt prezentate la diferite scări de măsură (2 nm, 400nm) și respectiv (1nm, 500nm). Se poate observa că toată dimensiunea particulelor are mai puțin de 100 nm.



Figură 8 masurare SEM pentru Nano-MgO.



Figură 9 Masurare SEM pentru Nano- Al_2O_3

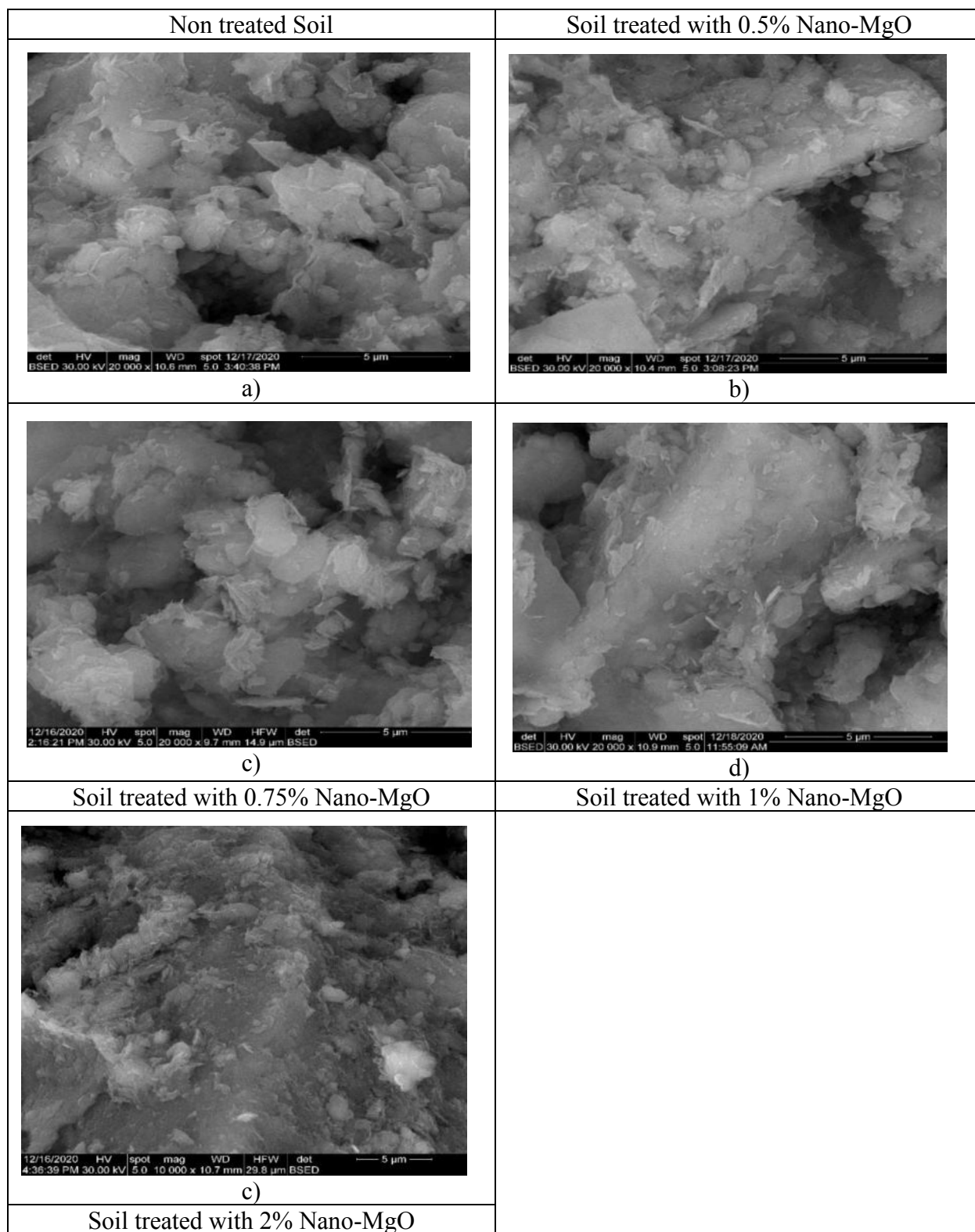
Modificările microstructurii probelor de sol din cauza adăugării de Nano-MgO și Nano- Al_2O_3 pot avea un rol important în îmbunătățirea proprietăților geotehnice ale solului. Prin testul de microscopie electronică prin scanare (SEM), verificăm dacă există o schimbare în structura solului la nivelul microscopului [9], așa cum este ilustrat în figurile (10, 11, 12 și 13). Din rezultatele obținute din SEM am putut observa un mic efect semnificativ asupra interacțiunii Nano-MgO în probele de sol. Pe de altă parte, din rezultatele amestecurilor sol-Nano- Al_2O_3 , putem observa că o modificare vizibilă a microstructurii probelor, care apare în special pe probele de sol amestecate cu 2% Nano- Al_2O_3 . Așa cum este ilustrat în figurile 14(d), 15(d) și 16(d).

În cazul probelor de sol tratate cu 0,5% și 1% Nano- Al_2O_3 , microstructura amestecurilor sol-nano-alumină a indicat că noua fază s-a format prin adăugarea de Nano Al_2O_3 . A existat o interacțiune mică care a constat în unele interacțiuni noi între particulele probelor de sol care au condus la structuri mai compacte, așa cum este ilustrat în figura 14 (a, b), figura 15 (a, b) și figura 16 (a, b).

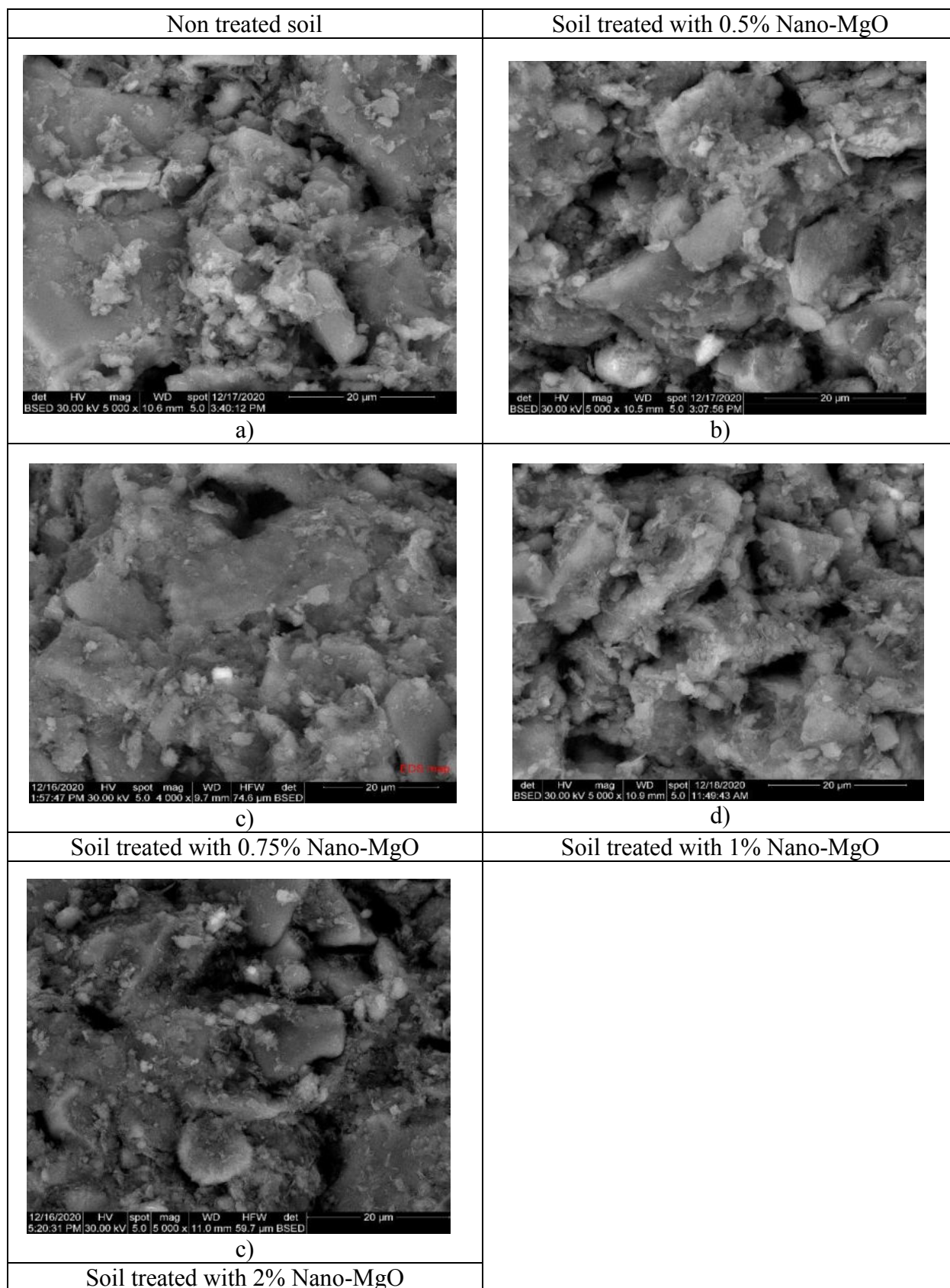
În cazul amestecării cimentului cu probe de sol, formarea interacțiunilor dintre particule poate fi observată clar așa cum este ilustrat în figura 17.

Din punct de vedere al morfologiei, atunci când concentrația de nanoparticule crește în probe, s-au observat distribuții mai uniforme ale dimensiunilor particulelor/aglomeratelor.

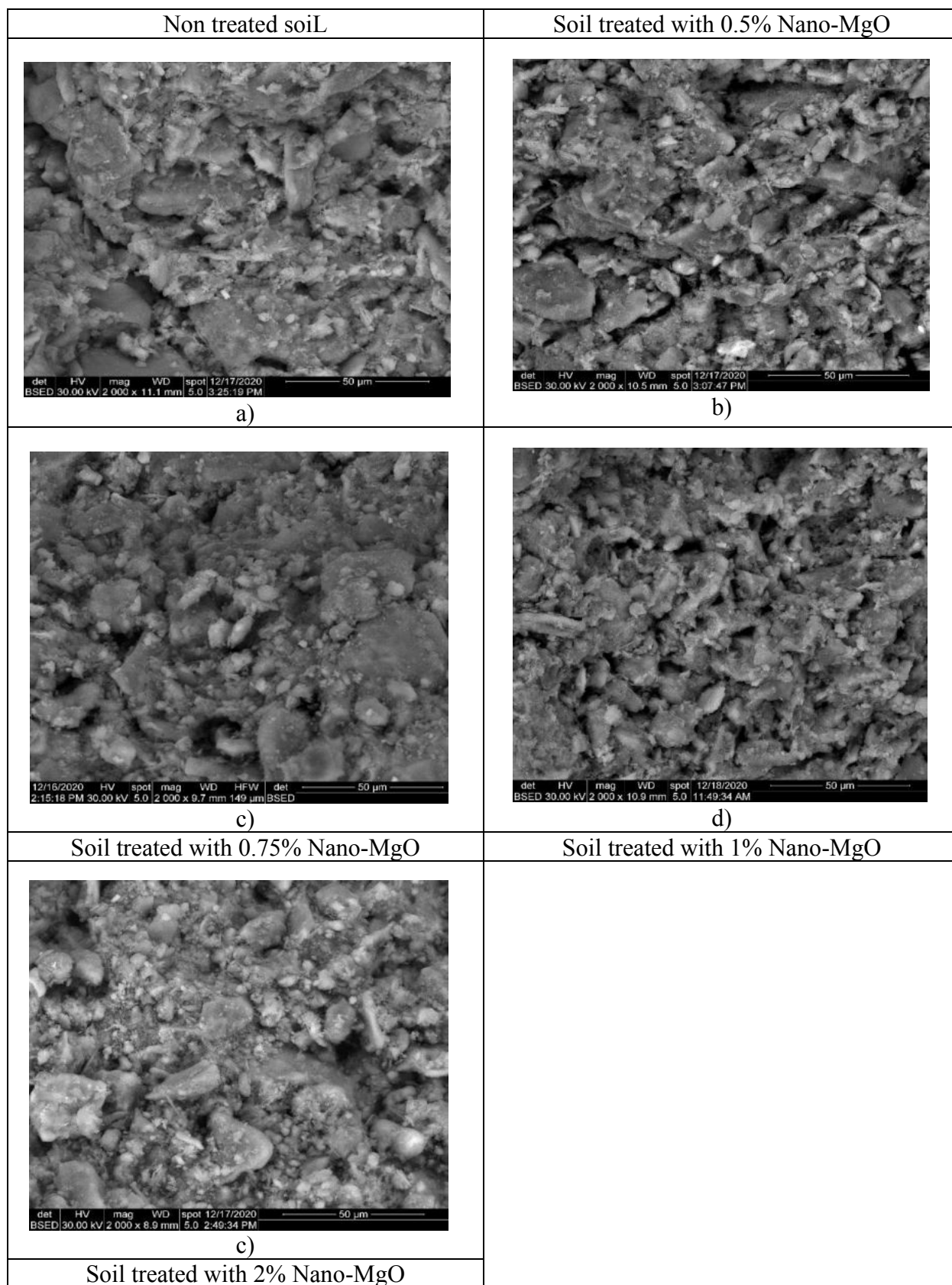
Prin studierea influenței tipului de nanomateriale adăugate asupra probelor de sol s-a observat că adăugarea de Nano-MgO duce la formațiuni de dimensiune mai mică a aglomeratelor și distribuții mai uniforme ale particulelor/aglomeratelor din probele de sol, în comparație cu adăugarea de Nano- Al_2O_3 .



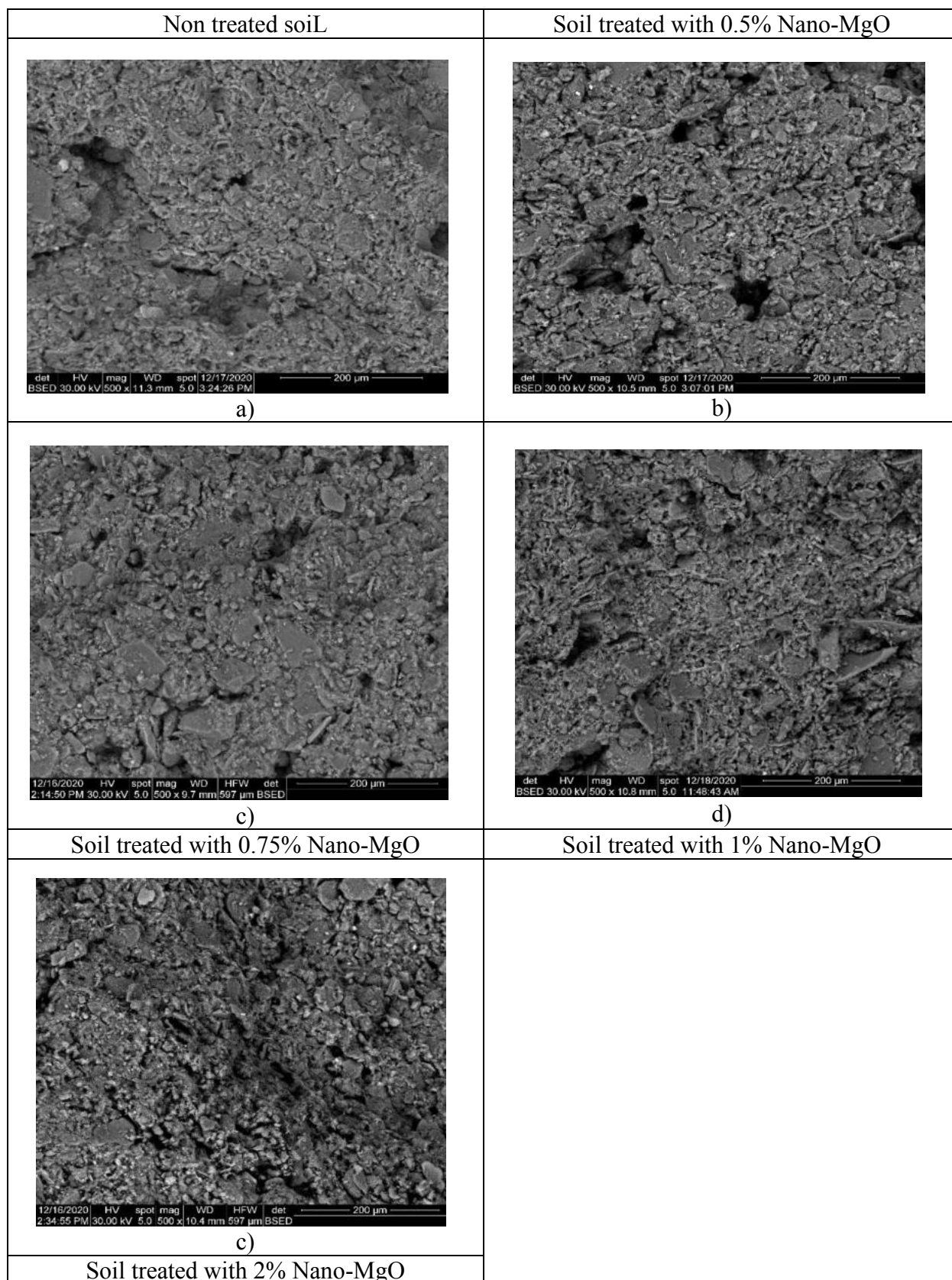
Figură 10 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol cu o masuratoare de 5 μm



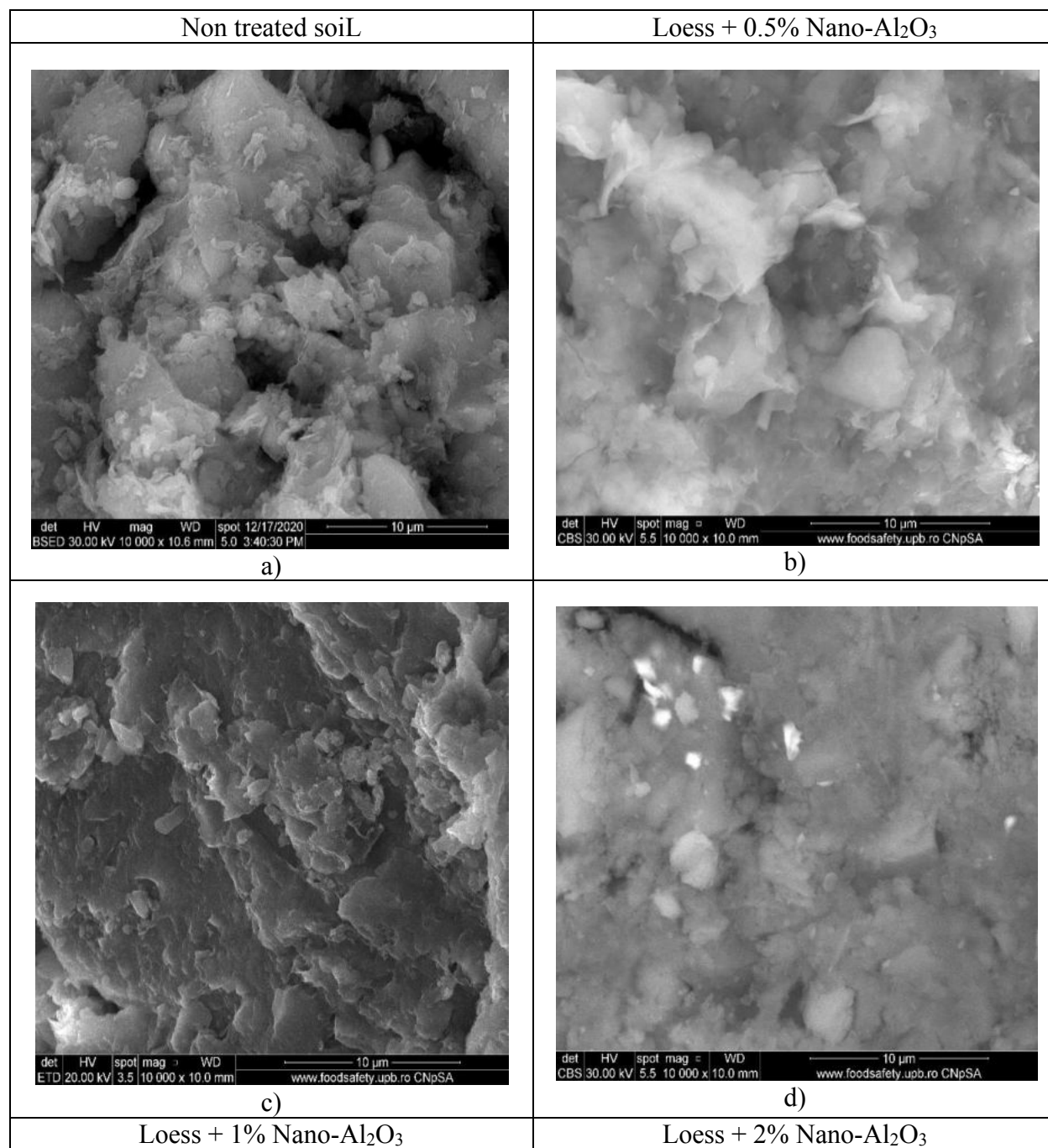
Figură 11 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol cu o masuratoare de 20 µm



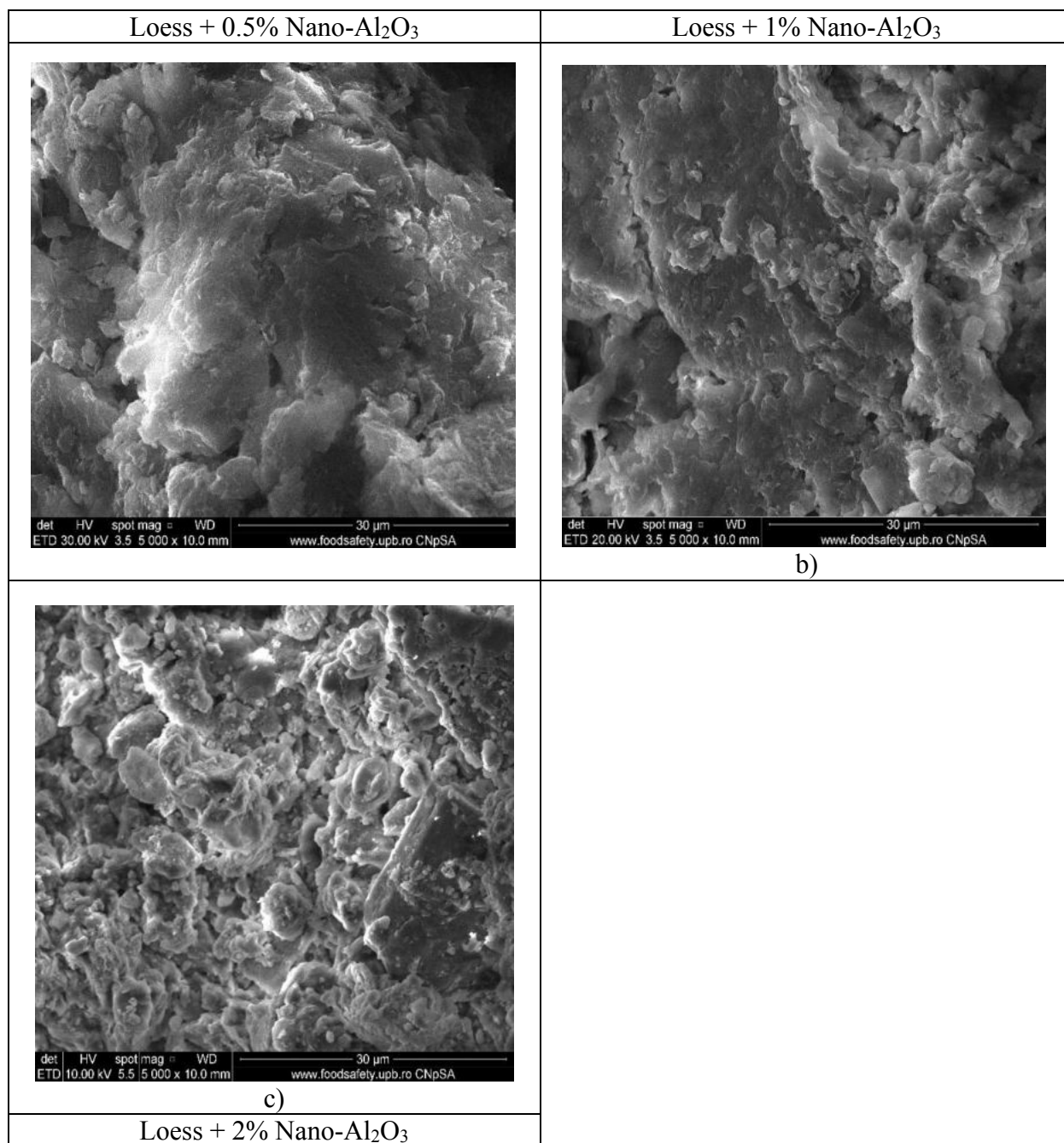
Figură 12 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol cu o masuratoare de 50 μm



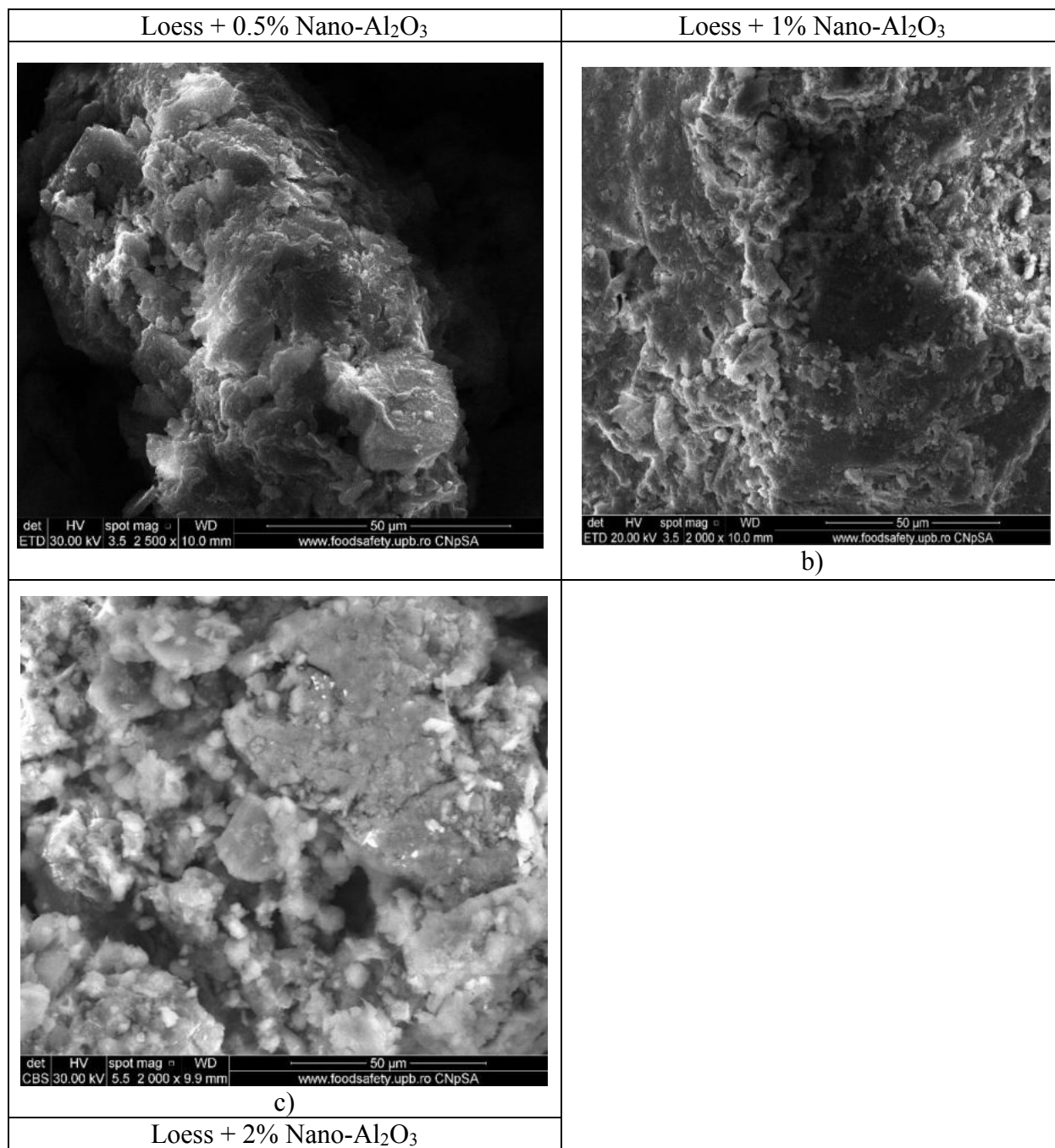
Figură 13 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol cu o masuratoare de 200 μm



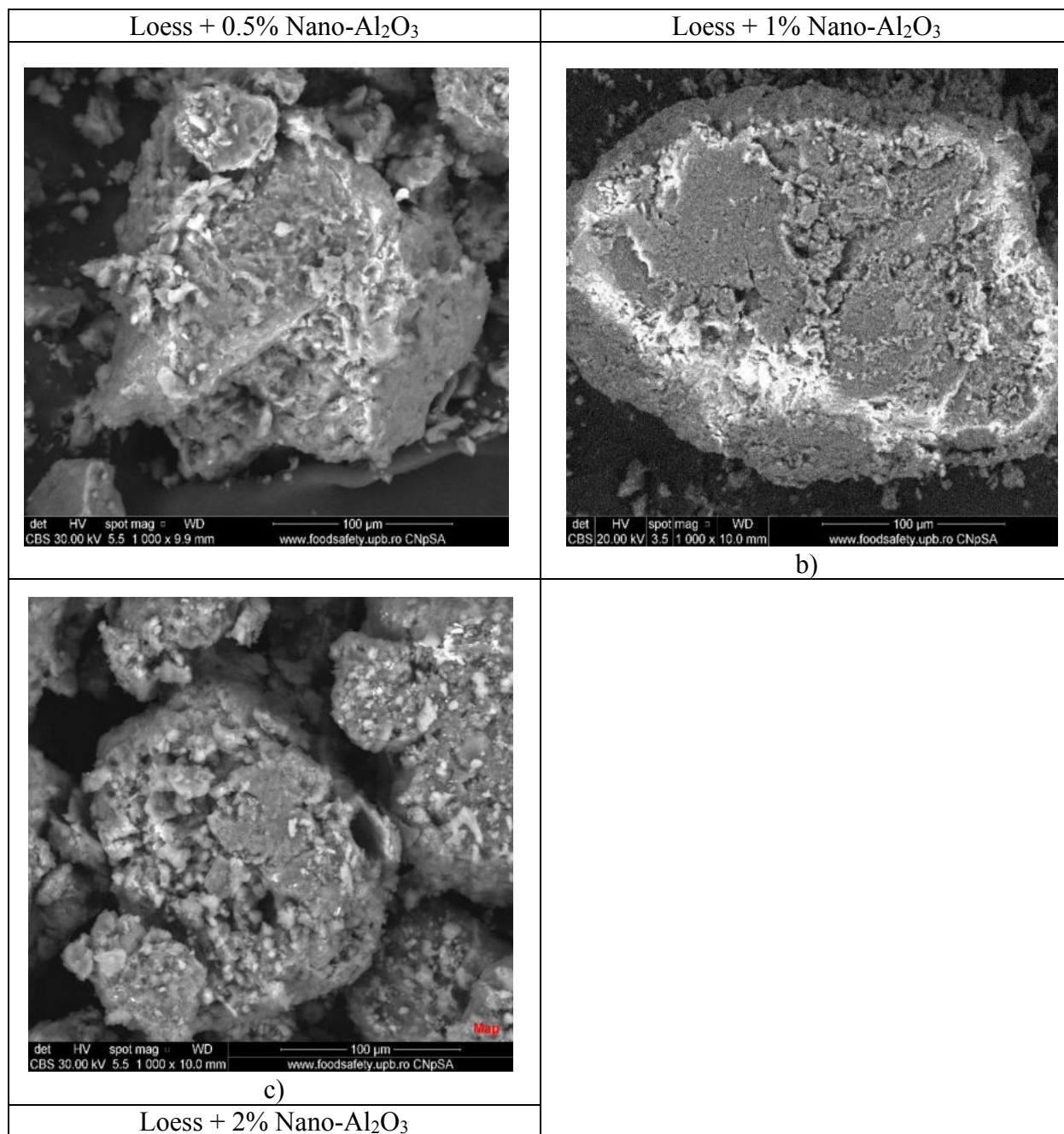
Figură 14 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol cu o masuratoare de 10 μm



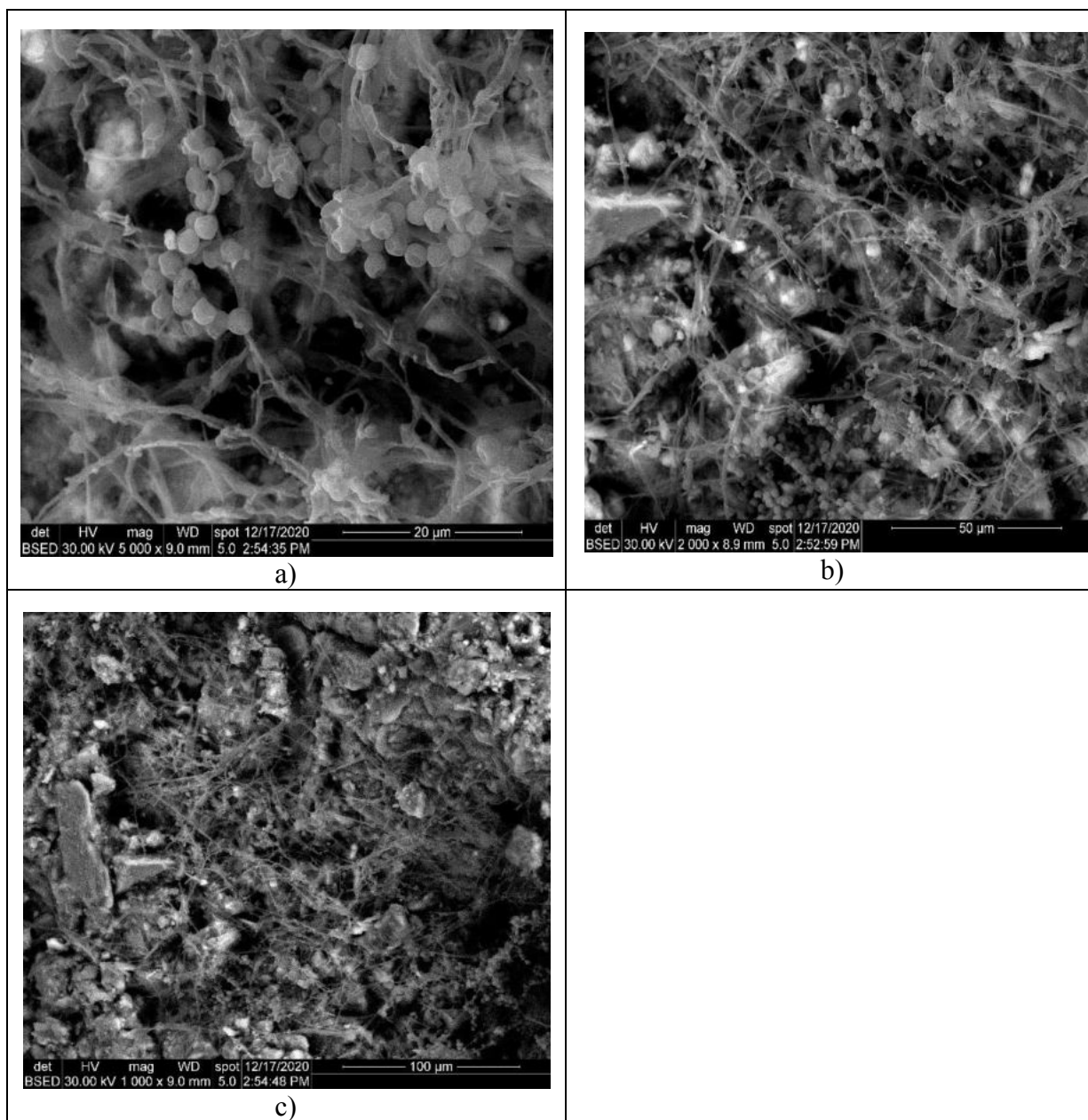
Figură 15 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol cu o masuratoare de 30 μm



Figură 16 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol cu o masuratoare de 50 µm



Figură 17 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol cu o masuratoare de 100 μm



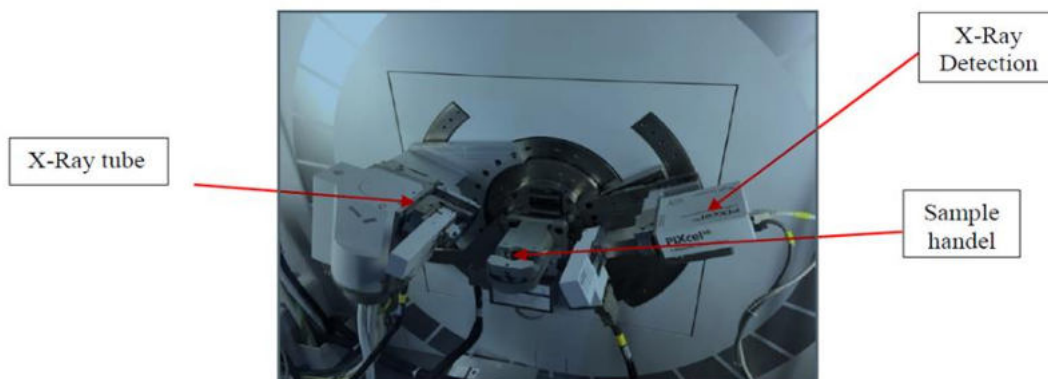
Figură 18 Microscopia electronică cu scanare pe probe de sol tratat cu 2% ciment a) cu o masura 20 µm, b) cu o masura de 50 µm , c) cu o masura de 100 µm

1.4.1.2 Difrakție cu raze X (XRD)

Difrakția cu raze X este o tehnică analitică rapidă care poate fi utilizată pentru a determina faza unei structuri cristaline, precum și dimensiunea celulei., așa cum se arată în figura 19, razele X monocromatice și o probă cristalină sunt interferența constructivă a difrakției cu raze X. Partea difrakției cu raze X constă din trei elemente de bază, care sunt tubul cu raze X, un suport pentru probă și detector de raze X [12].așa cum este ilustrat în figura 3.20.

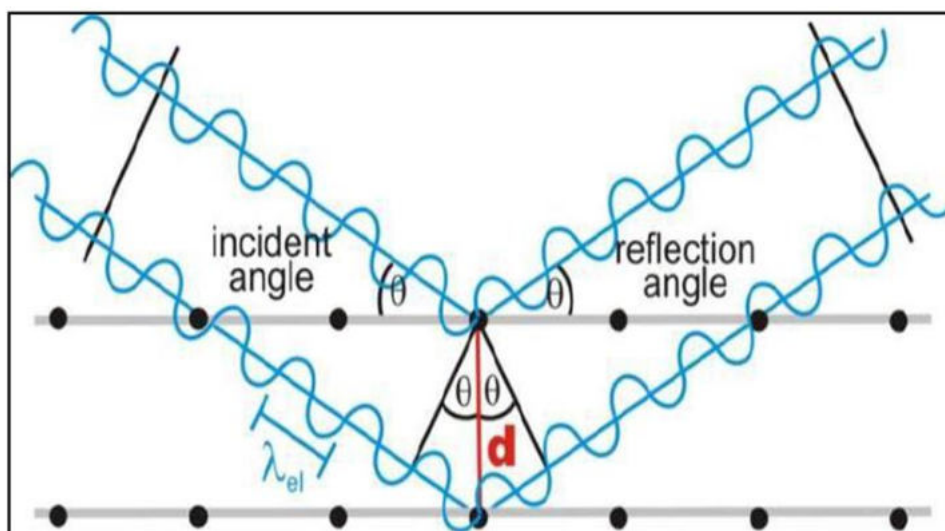


Figură 19 Difrakția cu raze X .



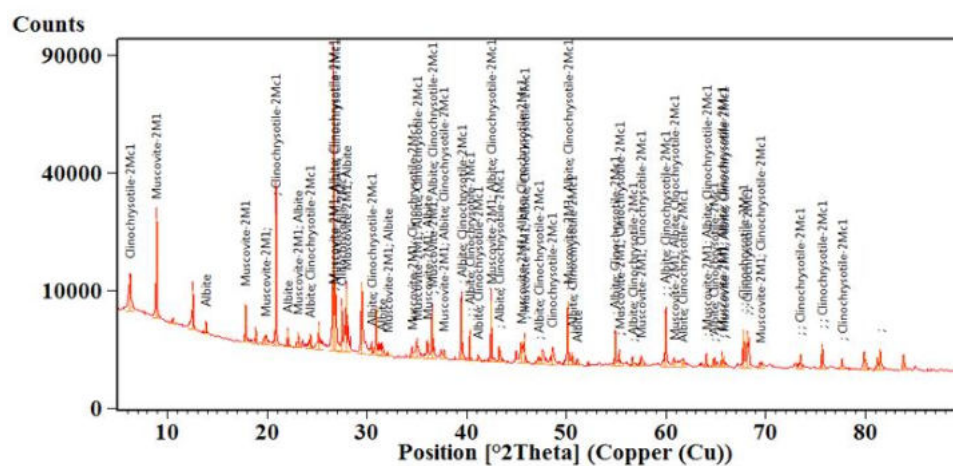
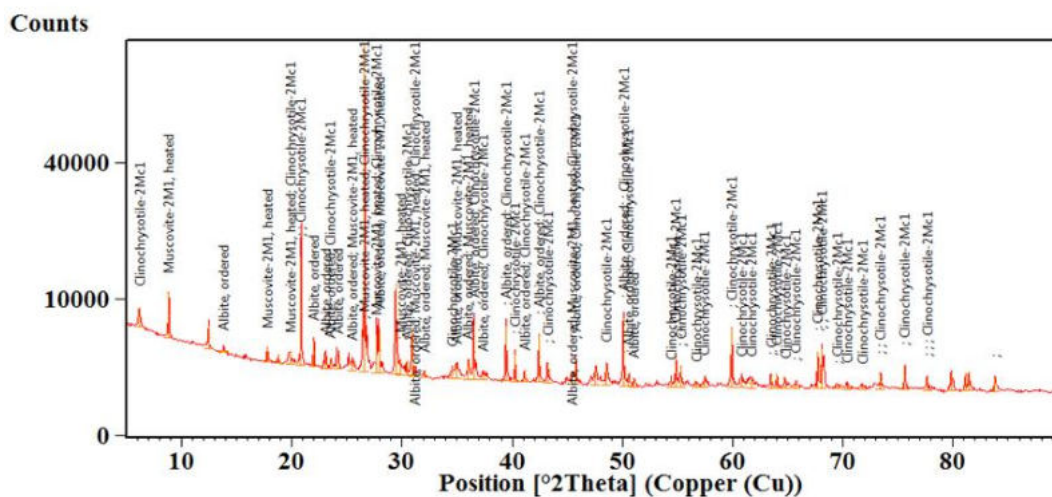
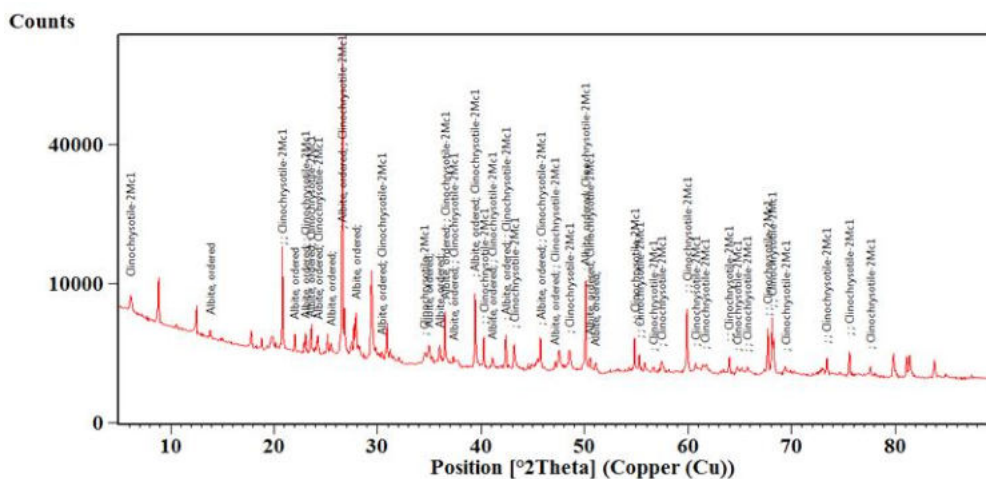
Figură 20 Difracția cu raze X [13]

O interacțiune puternică are loc atunci când razele incidente cu proba produc interferențe constructive, respectând legea lui Bragg [14].



Datele detaliate care au fost obținute din modelul de difracție cu raze X (XRD) pentru probele de sol tratate cu Nano-MgO, pot fi consultate în figura 22 și enumerate în tabelele de la 3 la 7, iar probele de sol tratate cu Nano-Al₂O₃ pot fi găsite în figura 23 și enumerate în tabelele de la 8 la 11.

Rezultatele arată că probele de sol tratate cu nanomateriale au noi vârfuri în comparație cu solul natural.



Tabel 3 Analiza al solului netratat

Non-treated Soil	Peak	Formula from diffractogram
	2	Clinochrysotile-2Mc1
	8	Muscovite-2M1, heated
	12	Albite, calcian
	17	Muscovite-2M1, heated
	18	Albite, calcian
	19	Muscovite-2M1, heated
	21	Quartz, syn, Clinochrysotile-2Mc1
	22	Albite, calcian
	23	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	24	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	27	Quartz, syn, Albite, calcian, Muscovite-2M, heated, Clinochrysotile-2Mc1
	28	Albite, calcian, Muscovite-2M1, heated
	29	Albite, calcian, Muscovite-2M1, heated
	30	Albite, calcian, Muscovite-2M1, heated
	31	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	32	Albite, calcian
	35	Clinochrysotile-2Mc1
	37	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	39	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	40	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	41	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	42	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	43	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	45	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	46	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	47	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	49	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	50	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	55	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	58	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	60	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	61	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	62	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	64	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	67	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	69	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	70	Clinochrysotile-2Mc1
	74	Quartz, syn, Clinochrysotile-2Mc1
	76	Quartz, syn, Clinochrysotile-2Mc1
	78	Quartz, syn, Clinochrysotile-2Mc1
	80	Quartz, syn
	82	Quartz, syn
	84	Quartz, syn

Tabel 4 Analiza al solului tratat cu 0.5% Nano-MgO.

Soil samples +0.5% Nano-MgO	Peak	Formula from diffractogram
	2	Clinochrysotile-2Mc1
	8	Muscovite-2M1, heated
	14	Albite, ordered
	17	Muscovite-2M1, heated
	19	Muscovite-2M1, heated, Clinochrysotile-2Mc1
	21	Clinochrysotile-2Mc1
	22	Albite, ordered
	23	Albite, ordered
	24	Albite
		, ordered, Clinochrysotile-2Mc1
	25	Albite, ordered, Muscovite-2M1, heated
	26	Muscovite-2M1, heated, Clinochrysotile-2Mc1
	28	Muscovite-2M1, heated, Clinochrysotile-2Mc1
	29	Muscovite-2M1, heated
	31	Albite, ordered, Muscovite-2M1, heated, Clinochrysotile-2Mc1
	35	Clinochrysotile-2Mc1
	37	Albite, ordered, Muscovite-2M1, heated
	39	Albite, ordered, Clinochrysotile-2Mc1
	40	Clinochrysotile-2Mc1
	42	Albite, ordered, Clinochrysotile-2Mc1
	46	Albite, ordered, Muscovite-2M1, heated, Clinochrysotile-2Mc1
	49	Clinochrysotile-2Mc1
	50	Albite, ordered, Clinochrysotile-2Mc1
	55	Clinochrysotile-2Mc1
	60	Clinochrysotile-2Mc1
	61	Clinochrysotile-2Mc1
	62	Clinochrysotile-2Mc1
	64	Clinochrysotile-2Mc1
	65	Clinochrysotile-2Mc1
	66	Clinochrysotile-2Mc1
	68	Clinochrysotile-2Mc1
	69	Clinochrysotile-2Mc1
	70	Clinochrysotile-2Mc1
	74	Clinochrysotile-2Mc1
	76	Clinochrysotile-2Mc1
	80	Clinochrysotile-2Mc1

Tabel 5 Analiza al solului tratat cu 0.75% Nano-MgO.

Soil samples +0.75% Nano-MgO	Peak	Formula from diffractogram
	2	Clinochrysotile-2Mc1
	8	Muscovite-2M1
	14	Albite
	18	Muscovite-2M1
	20	Muscovite-2M1
	21	Albite
	23	Muscovite-2M1, Albite
	24	Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	27	Muscovite-2M1, Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	28	Clinochrysotile-2Mc1
	29	Muscovite-2M1
	30	Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	31	Albite
	33	Muscovite-2M1, Albite
	35	Muscovite-2M1, Clinochrysotile-2Mc1
	37	Muscovite-2M1, Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	38	Muscovite-2M1, Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	39	Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	40	Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	43	Muscovite-2M1, Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	44	Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	46	Muscovite-2M1, Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	48	Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	49	Clinochrysotile-2Mc1
	50	Muscovite-2M1, Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	55	Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	57	Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	58	Muscovite-2M1, Clinochrysotile-2Mc1
	60	Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	61	Muscovite-2M1, Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	62	Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	67	Muscovite-2M1, Albite, Clinochrysotile-2Mc1
	68	Muscovite-2M1, Clinochrysotile-2Mc1
	70	Clinochrysotile-2Mc1
	73	Clinochrysotile-2Mc1
	75	Clinochrysotile-2Mc1
	78	Clinochrysotile-2Mc1

Tabel 6 Analiza al solului tratat cu 1% Nano-MgO.

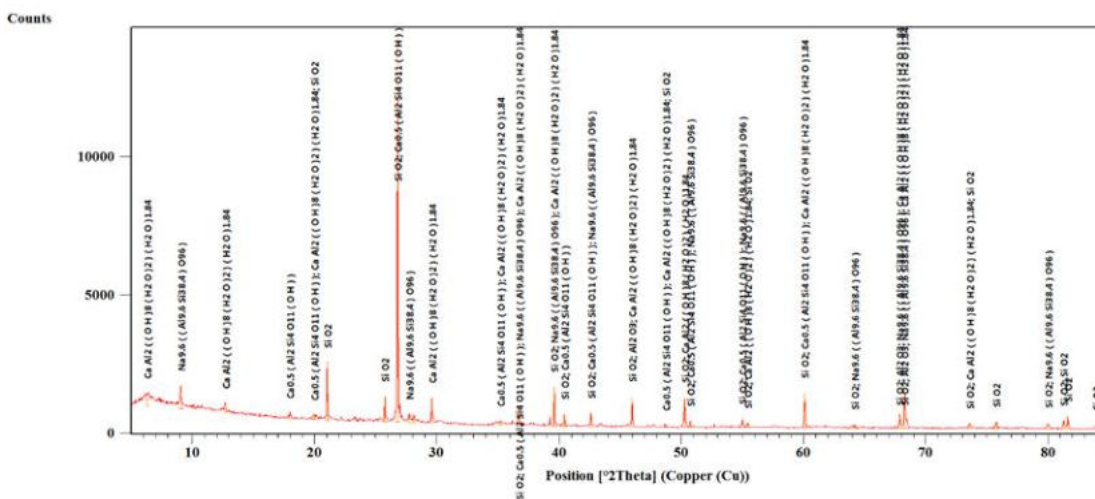
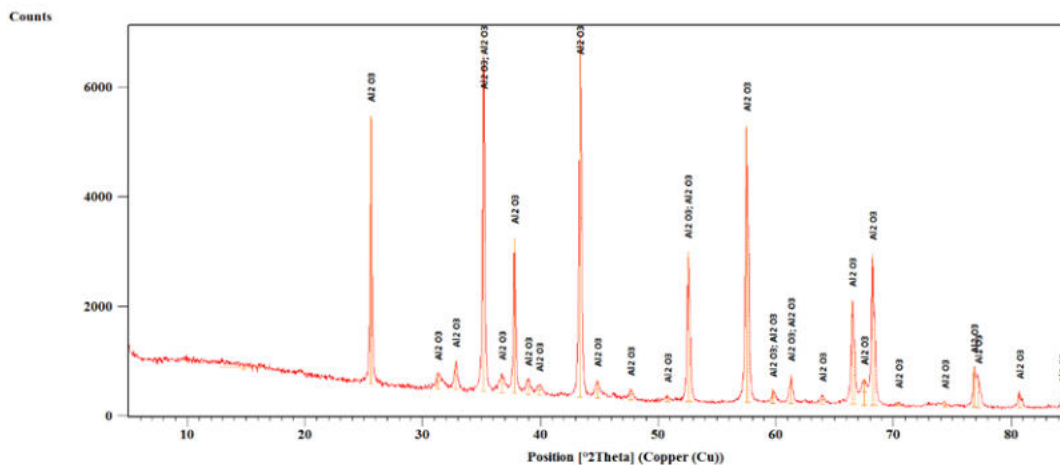
Soil samples +1% Nano-MgO	Peak	Formula from diffractogram
	2	Clinochrysotile-2Mc1
	8	Muscovite-2M1, heated
	18	Muscovite-2M1, heated
	20	Clinochrysotile-2Mc1 Muscovite-2M1, heated
	21	Clinochrysotile-2Mc1
	23	Clinochrysotile-2Mc1
	24	Muscovite-2M1, heated
	27	Clinochrysotile-2Mc1, Muscovite-2M1, heated
	28	Muscovite-2M1, heated
	29	Muscovite-2M1
	35	Clinochrysotile-2Mc1
	36	Clinochrysotile-2Mc1, Muscovite-2M1, heated
	37	Clinochrysotile-2Mc1
	39	Clinochrysotile-2Mc1
	40	Clinochrysotile-2Mc1
	41	Clinochrysotile-2Mc1
	42	Clinochrysotile-2Mc1
	43	Clinochrysotile-2Mc1
	45	Clinochrysotile-2Mc1, Muscovite-2M1, heated
	48	Clinochrysotile-2Mc1
	49	Clinochrysotile-2Mc1
	50	Clinochrysotile-2Mc1
	55	Clinochrysotile-2Mc1
	57	Clinochrysotile-2Mc1
	58	Clinochrysotile-2Mc1
	60	Clinochrysotile-2Mc1
	64	Clinochrysotile-2Mc1
	68	Clinochrysotile-2Mc1
	70	Clinochrysotile-2Mc1
	73	Clinochrysotile-2Mc1
	76	Clinochrysotile-2Mc1
	78	Clinochrysotile-2Mc1

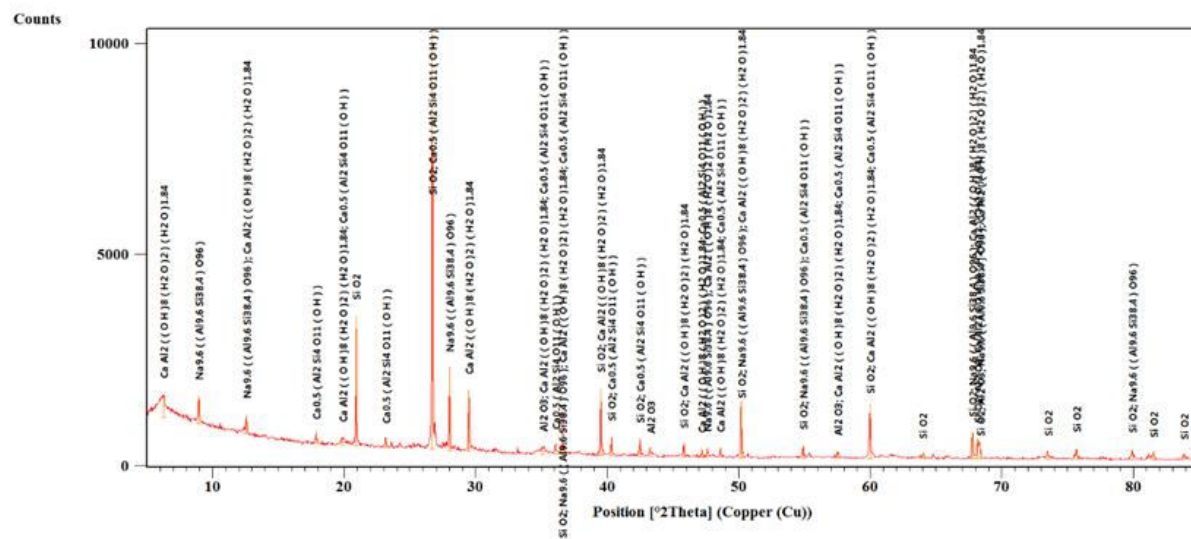
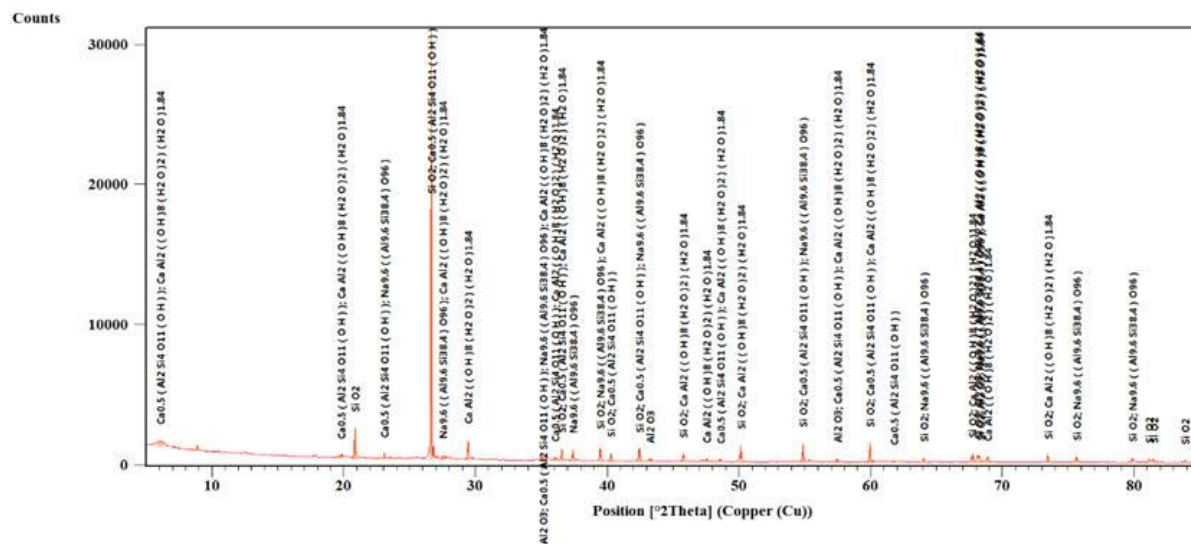
Tabel 7 Analiza al solului tratat cu 2% Nano-MgO.

Soil samples +2% Nano-MgO	Peak	Formula from diffractogram
	2	Clinochrysotile-2Mcl
	8	Muscovite-2M1, heated
	14	Albite, calcian
	18	Muscovite-2M1, heated
	19	Albite, calcian
	20	Muscovite-2M1, heated
	21	Quartz, syn, Clinochrysotile-2Mcl
	22	Albite, calcian
	23	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mcl
	24	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mcl
	26	Quartz, syn, Albite, calcian, Muscovite-2M1, heated, Clinochrysotile-2Mcl
	28	Albite, calcian, Muscovite-2M1, heated
	30	Albite, calcian, Muscovite-2M1, heated
	31	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mcl
	32	Albite, calcian
	34	Clinochrysotile-2Mcl
	35	Albite, calcian, Muscovite-2M1, heated, Clinochrysotile-2Mcl
	37	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mcl, Muscovite-2M1, heated
	38	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mcl
	39	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mcl
	40	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mcl
	41	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mcl
	43	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mcl
	44	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mcl
	46	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mcl

	48	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	49	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	50	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	55	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	58	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	60	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	61	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	62	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	64	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	65	Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	66	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	68	Quartz, syn, Albite, calcian, Clinochrysotile-2Mc1
	69	Quartz, syn, Clinochrysotile-2Mc1
	70	Clinochrysotile-2Mc1
	74	Quartz, syn, Clinochrysotile-2Mc1
	76	Quartz, syn, Clinochrysotile-2Mc1
	78	Quartz, syn, Clinochrysotile-2Mc1
	80	Clinochrysotile-2Mc1
	81	Clinochrysotile-2Mc1
	83	Clinochrysotile-2Mc1

Solul netratat și solul tratat cu (0,5%, 0,75%) Nano-MgO așa cum se arată în tabelele 3, 4 și 5 conțin trei faze cristaline, Clinochrisotil-2Mc1 este un mineral silicat fibros are o formulă chimică $\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ și are unele dintre proprietățile fizice care îl fac de dorit pentru utilizarea în materialele de construcție, Muscovite-2M1 este un mineral filosilicat hidratat de aluminiu cu formula $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F},\text{OH})_2$ și albitul este un mineral feldspat plagioclaz cu formula $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$. Se găsește de obicei în rocile felsice [15]. În cazul solului tratat cu 1% Nano-MgO, probele constau din două faze cristaline, prima este Clinochrysotil-2Mc1 și Moscovit-2M1. Pe de altă parte, probele de sol care au fost tratate cu 2% Nano-MgO conțin din trei faze cristaline, așa cum se menționează în cazul solului tratat cu (0,5% și 0,75%) Nano-MgO.





Tabel 8 Analiza pentru nano- Al_2O_3

Nano- Al_2O_3	Peak	Formula from diffractogram
	25	Al_2O_3
	31	Al_2O_3
	33	Al_2O_3
	35	Al_2O_3 , Al_2O_3
	36	Al_2O_3
	38	Al_2O_3
	39	Al_2O_3
	40	Al_2O_3
	43	Al_2O_3
	45	Al_2O_3
	48	Al_2O_3
	51	Al_2O_3
	53	Al_2O_3 , Al_2O_3
	58	Al_2O_3
	60	Al_2O_3 , Al_2O_3
	62	Al_2O_3 , Al_2O_3
	64	Al_2O_3
	67	Al_2O_3
	68	Al_2O_3
	69	Al_2O_3
	70	Al_2O_3
	74	Al_2O_3
	77	Al_2O_3
	81	Al_2O_3
	84	Al_2O_3

Tabel 9 Analiza al solului tratat cu 0.5% Nano-Al₂O₃

Soil samples +0.5 %Nano-Al ₂ O ₃	Peak	Formula from diffractogram
	4	Ca Al ₂ ((OH)8 (H ₂ O)2) (H ₂ O)1.84
	8	Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆)
	14	Ca Al ₂ ((OH)8 (H ₂ O)2) (H ₂ O)1.84
	18	Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	20	Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Ca Al ₂ ((OH)8 (H ₂ O)2) (H ₂ O)1.84, Si O ₂
	21	Si O ₂
	26	Si O ₂
	27	Si O ₂ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	28	Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆)
	30	Ca Al ₂ ((OH)8 (H ₂ O)2) (H ₂ O)1.84
	35	Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Ca Al ₂ ((OH)8 (H ₂ O)2) (H ₂ O)1.84
	37	Si O ₂ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆), Ca Al ₂ ((OH)8 (H ₂ O)2) (H ₂ O)1.84
	39	Si O ₂ , Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆), Ca Al ₂ ((OH)8 (H ₂ O)2) (H ₂ O)1.84
	41	Si O ₂ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	43	Si O ₂ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆)
	46	Si O ₂ , Al ₂ O ₃ , Ca Al ₂ ((OH)8 (H ₂ O)2) (H ₂ O)1.84
	49	Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Ca Al ₂ ((OH)8 (H ₂ O)2) (H ₂ O)1.84, Si O ₂
	50	Si O ₂ , Ca Al ₂ ((OH)8 (H ₂ O)2) (H ₂ O)1.84
	51	Si O ₂ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆)
	55	Si O ₂ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆)
	56	Si O ₂ , Ca Al ₂ ((OH)8 (H ₂ O)2) (H ₂ O)1.84, Si O ₂
	60	Si O ₂ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Ca Al ₂ ((OH)8 (H ₂ O)2) (H ₂ O)1.84
	64	Si O ₂ , Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆)
	68	Si O ₂ , Al ₂ O ₃ , Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆), Ca Al ₂ ((OH)8 (H ₂ O)2) (H ₂ O)1.84
	69	Si O ₂ , Al ₂ O ₃ , Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆), Ca Al ₂ ((OH)8 (H ₂ O)2) (H ₂ O)1.84
	74	Si O ₂ , Ca Al ₂ ((OH)8 (H ₂ O)2) (H ₂ O)1.84, Si O ₂
	76	Si O ₂
	80	Si O ₂ , Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆)

	82	Si O2 Si O2
	85	Si O2

Tabel 10 Analiza al solului tratat cu 1% Nano-Al₂O₃

Soil samples +1% Nano-Al ₂ O ₃	Peak	Formula from diffractogram
	4	Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	8	Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆)
	14	Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆), Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	18	Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	20	Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84} , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	21	Si O ₂
	23	Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	27	Si O ₂ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	28	Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆)
	30	Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	35	Al ₂ O ₃ , Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84} , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	37	Si O ₂ , Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆), Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84} , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	39	Si O ₂ , Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	41	Si O ₂ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	43	Si O ₂ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	46	Si O ₂ , Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	47	Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84} , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	48	Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆), Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	49	Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84} , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	50	Si O ₂ , Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆), Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	55	Si O ₂ , Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆), Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	57	Al ₂ O ₃ , Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84} , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	60	Si O ₂ , Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84} , , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	64	Si O ₂
	68	Si O ₂ , Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆), Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	69	Si O ₂ , Na _{9.6} ((Al _{9.6} Si _{38.4}) O ₉₆), Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	74	Si O ₂
	76	Si O ₂

	80	Si O ₂ , Na _{9.6} ((Al _{19.6} Si _{38.4}) O ₉₆)
	82	Si O ₂
	85	Si O ₂

Tabel 11 Analiza al solului tratat cu 2% Nano-Al₂O₃

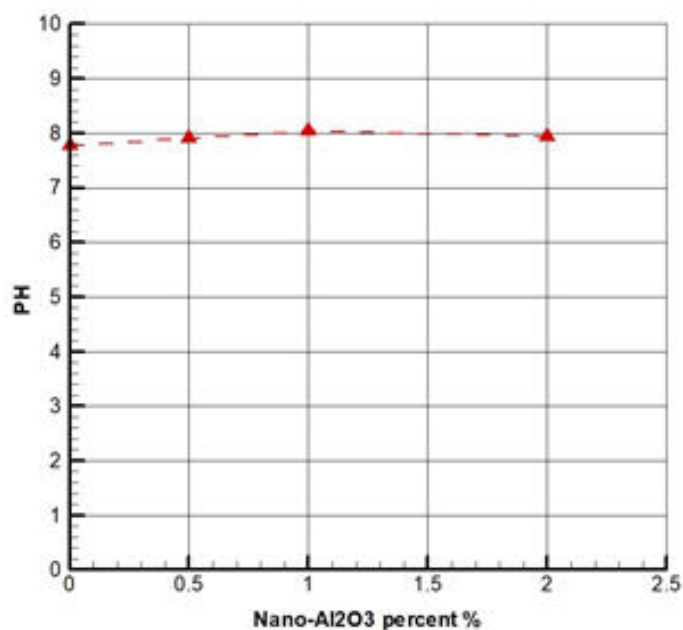
Soil sample +2 %Nano-Al ₂ O ₃	Peak	Formula from diffractogram
	2	Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	20	Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	21	Si O ₂
	23	Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Na _{9.6} ((Al _{19.6} Si _{38.4}) O ₉₆)
	26	Si O ₂ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	27	Na _{9.6} ((Al _{19.6} Si _{38.4}) O ₉₆), Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	29	Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	35	Al ₂ O ₃ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Na _{9.6} ((Al _{19.6} Si _{38.4}) O ₉₆), Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	36	Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	37	Si O ₂ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	38	Na _{9.6} ((Al _{19.6} Si _{38.4}) O ₉₆)
	39	Na _{9.6} ((Al _{19.6} Si _{38.4}) O ₉₆), Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	40	Si O ₂ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	43	Si O ₂ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Na _{9.6} ((Al _{19.6} Si _{38.4}) O ₉₆)
	44	Al ₂ O ₃
	46	Si O ₂ , Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	48	Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	49	Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	50	Si O ₂ , Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	55	Si O ₂ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Na _{9.6} ((Al _{19.6} Si _{38.4}) O ₉₆),
	58	Al ₂ O ₃ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	60	Si O ₂ , Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH)), Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	62	Ca _{0.5} (Al ₂ Si ₄ O ₁₁ (OH))
	64	Si O ₂ , Na _{9.6} ((Al _{19.6} Si _{38.4}) O ₉₆)
	67	Si O ₂ , Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	68	Si O ₂ , Na _{9.6} ((Al _{19.6} Si _{38.4}) O ₉₆), Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}
	69	Ca Al ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}

	23	Albite Ordered, Clinochrysotile-2Mc1
	24	Albite Ordered, Clinochrysotile-2Mc1
	25	Albite Ordered, Clinochrysotile-2Mc1
	27	Albite, Ordered, Muscovite-2M1 heated, Clinochrysotile-2Mc1
	28	Albite, Ordered, Muscovite-2M1 heated
	29	Muscovite-2M1, heated
	30	Albite Ordered, Clinochrysotile-2Mc1
	31	Albite Ordered, Clinochrysotile-2Mc1
	33	Albite Ordered, Clinochrysotile-2Mc1
	34	Albite Ordered, Clinochrysotile-2Mc1
	35	Albite Ordered, Muscovite-2M1, heated
	37	Albite Ordered, Muscovite-2M1, heated
	38	Albite Ordered, Clinochrysotile-2Mc1
	39	Albite Ordered, Clinochrysotile-2Mc1
	40	Albite Ordered, Clinochrysotile-2Mc1
	41	Clinochrysotile-2Mc1
	42	Clinochrysotile-2Mc1
	43	Albite Ordered, Muscovite-2M1, heated, Clinochrysotile-2Mc1
	44	Clinochrysotile-2Mc1
	46	Albite Ordered, Clinochrysotile-2Mc1
	47	Albite Ordered, Clinochrysotile-2Mc1
	48	Clinochrysotile-2Mc1
	50	Albite Ordered, Clinochrysotile-2Mc1
	51	Albite Ordered
	53	Clinochrysotile-2Mc1
	55	Clinochrysotile-2Mc1
	56	Clinochrysotile-2Mc1
	57	Clinochrysotile-2Mc1
	58	Clinochrysotile-2Mc1
	60	Clinochrysotile-2Mc1
	61	Wustite, Clinochrysotile-2Mc1
	62	Clinochrysotile-2Mc1
	63	Clinochrysotile-2Mc1
	64	Clinochrysotile-2Mc1
	67	Clinochrysotile-2Mc1
	68	Clinochrysotile-2Mc1
	70	Clinochrysotile-2Mc1
	71	Clinochrysotile-2Mc1
	72	Clinochrysotile-2Mc1
	74	Clinochrysotile-2Mc1
	75	Wustite, Clinochrysotile-2Mc1
	76	Clinochrysotile-2Mc1
	78	Wustite, syn, Clinochrysotile-2Mc1

În cazul probelor de sol tratate cu ciment apare o nouă fază cristalină (wustite) pe lângă fazele caracteristice solului.

1.4.1.3 Testul pH-ului

Efectul Nano- Al_2O_3 asupra p-ului a fost investigat pentru a evalua reacția chimică a nanomaterialului pe cel tratat. Probe de sol, așa cum se arată în figura 32. Rezultatele au arătat că există o modificare foarte mică a valorii pH-ului solurilor tratate.

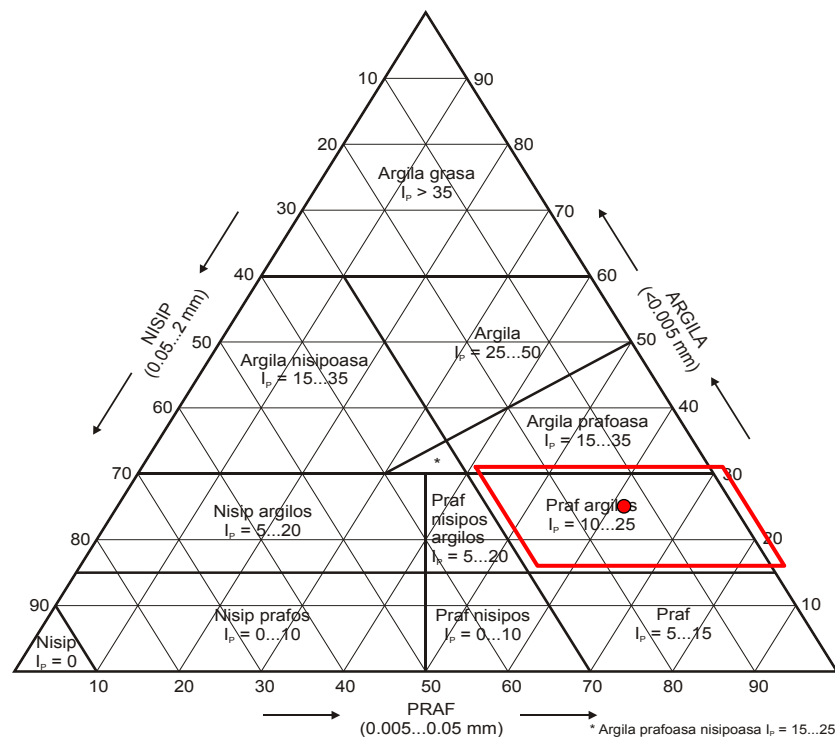


Figură 32 valorii pH-ului solurilor tratate cu procente diferite de Nano- Al_2O_3

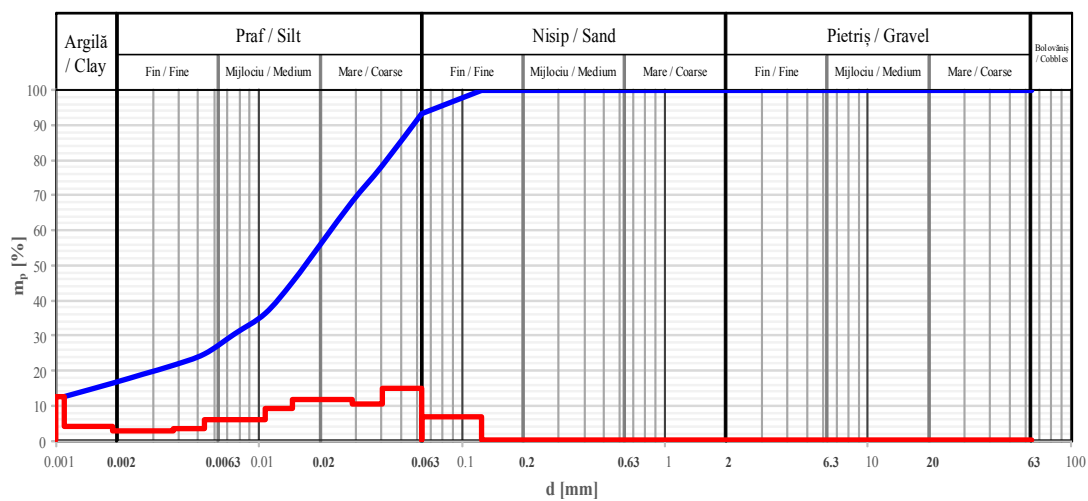
1.4.2 Efectul nanomaterialului asupra proprietăților fizice și mecanice ale solului

1.4.2.1 Clasificare și distribuție granulometrică

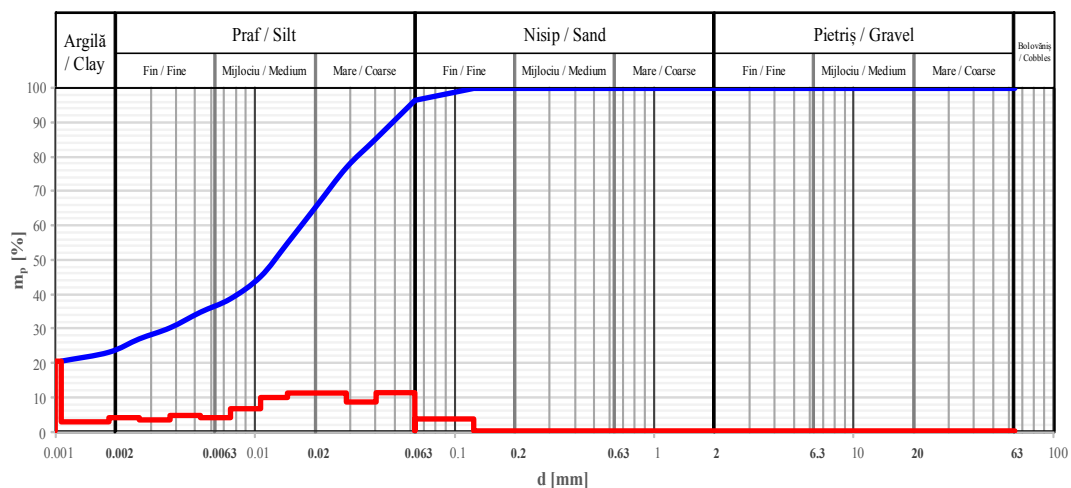
Toate probele de sol au fost clasificate conform sistemului de clasificare a texturii. Rezultatele distribuției granulometrice în conformitate cu (STAS 1913/5-1985) [16], au arătat că eșantionul natural de sol este format din 61% nămol, 24% argilă și 15% nisip.



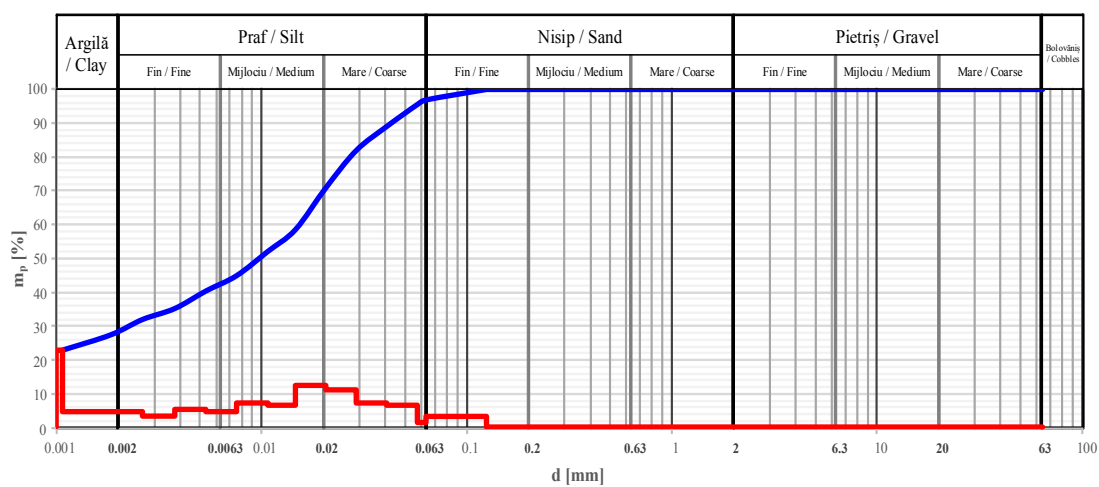
Figură 33 Sistem de clasificare a texturii (loess)



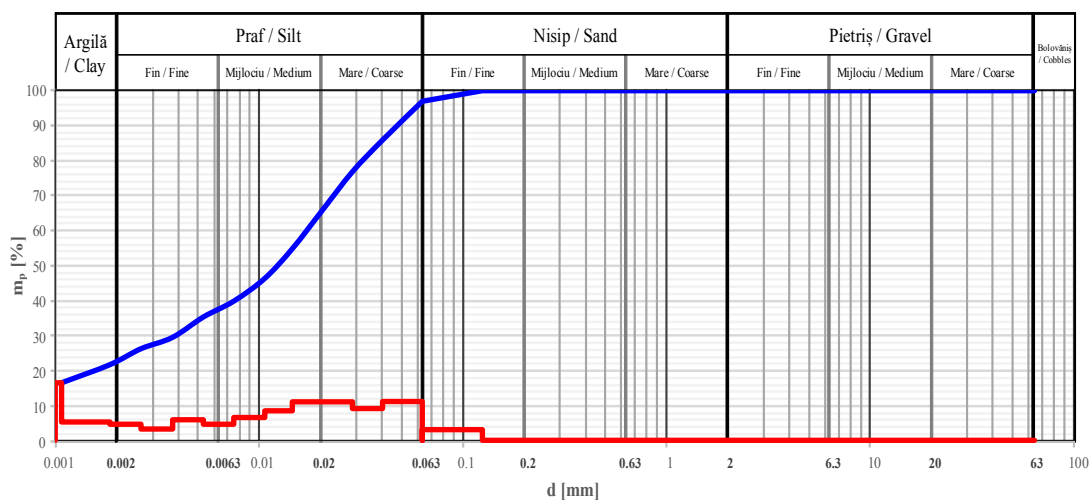
Figură 34 Granulometrie pentru sol netratat.



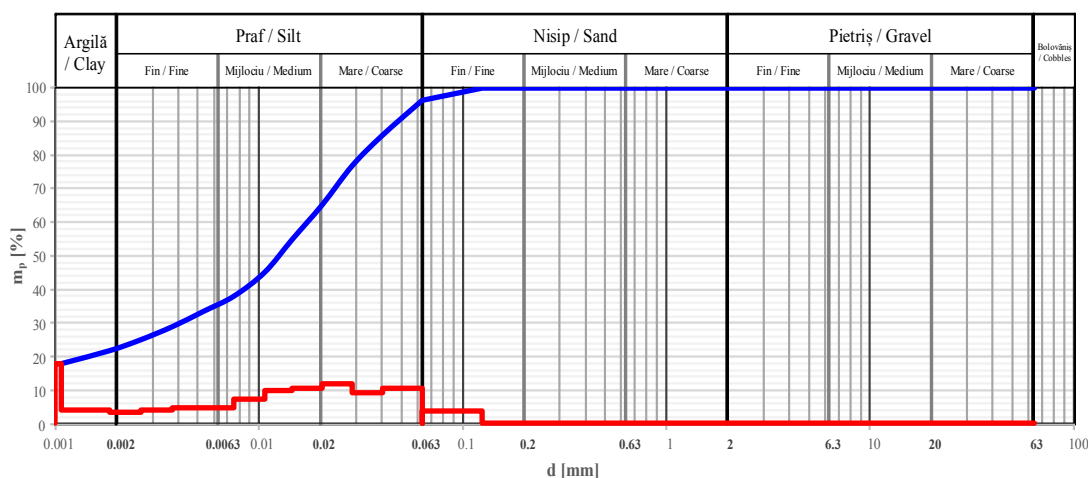
Figură 37 Granulometrie pentru sol tratate cu 0.5% Nano-MgO.



Figură 36 Granulometrie pentru sol tratate cu 0.75% Nano-MgO



Figură 35 Granulometrie pentru sol tratate cu 1% Nano-MgO



Figură 38 Granulometrie pentru sol tratate cu 2% Nano-MgO

1.4.2.2 Limita Atterberg

Limita de lichid (LL), limita de plastic (PL) și indicele de plasticitate ($PI=LL-PL$) al probelor de sol tratate cu (0,5%, 0,75%, 1% și 2%) Nano-MgO, Nano- Al_2O_3 cu procente (0,5%, 1% și 2%) și 2% ciment au fost determinate conform (STAS 1913/4-1986) [17]. Adăugarea de Nano-MgO și Nano- Al_2O_3 la probele de sol are un efect mic asupra limitelor Atterberg. Aceste mici scăderi ale valorii limitelor lichide și ale limitelor plastice, așa cum se arată în figura 32 a și b. Datorită modificării conținutului de apă din cauza aditivilor. Pe de altă parte, se constată o creștere a valorii indicelui de consistență la creșterea adaosului de Nano-MgO și Nano- Al_2O_3 a, până la atingerea cantității optime de nanomateriale. După care adăugarea unei cantități mai mari de Nano-MgO va afecta negativ proprietățile solului și va duce la scăderea valorii indicelui de consistență din cauza formării de goluri din cauza aglomerării particulelor de nanomaterial în sol, cantitatea optimă a fost mai mică decât de 1% nano-MgO față de greutatea uscată a solului. ca urmare, adăugarea de nanomateriale și ciment înconjoară clasta de argilă din sol și lucrează pentru a le lega și a umple porii mici și a îmbunătăți matricea de argilă, reducând astfel golurile și conținutul de apă [18]. Acest lucru oferă unele indicații privind îmbunătățirea proprietăților solului.



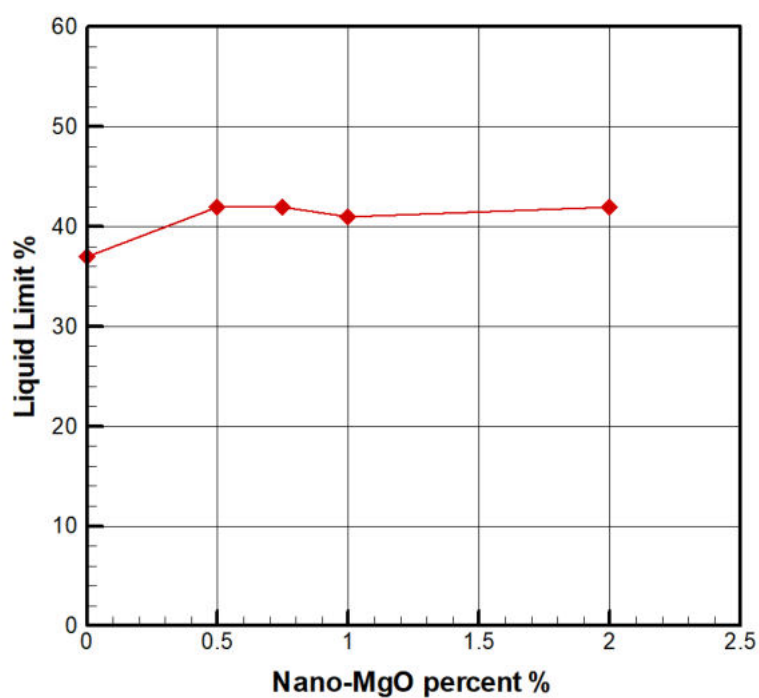
Figură 39 Limitele Atterberg pentru sol tratat cu procente diferite de Nano-MgO.



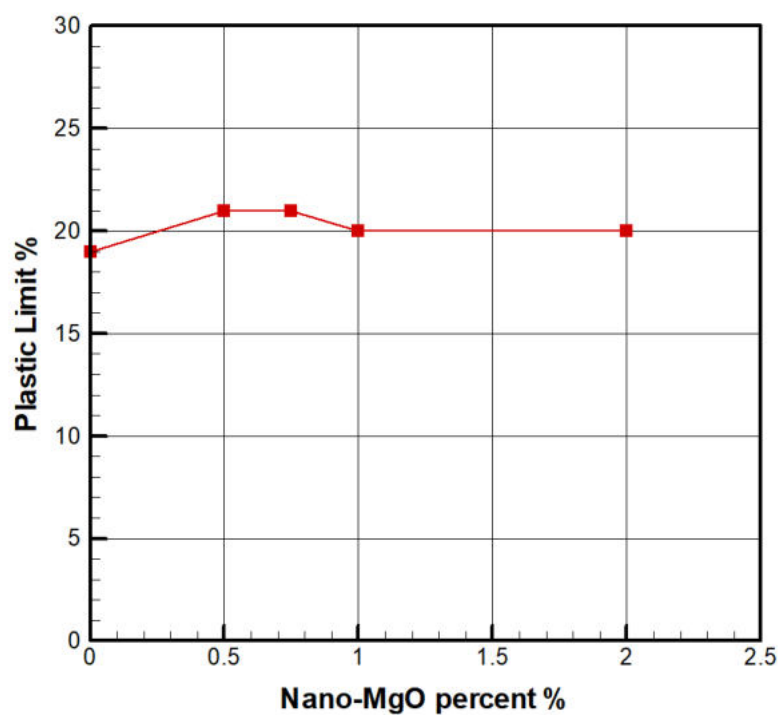
Figură 40 Limitele Atterberg.

Tabel 13 Indicele de plasticitate pentru sol tratat cu procente diferite de Nano-MgO.

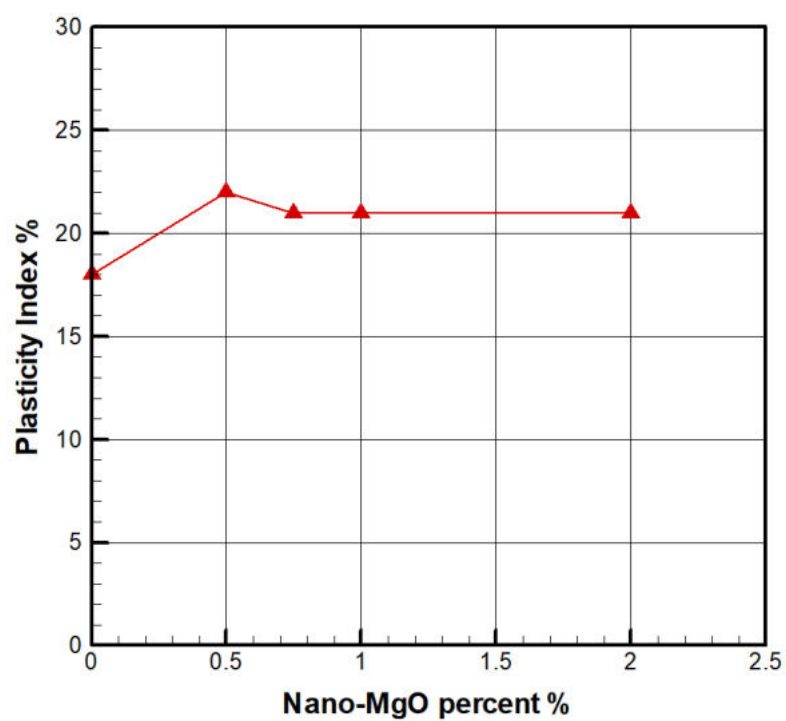
Type and percent of additive	Sol netratat	0.5% nanomgo	0.75% nanomgo	1% nanomgo	2% nanomgo
Plasticity Index	18	22	21	21	21



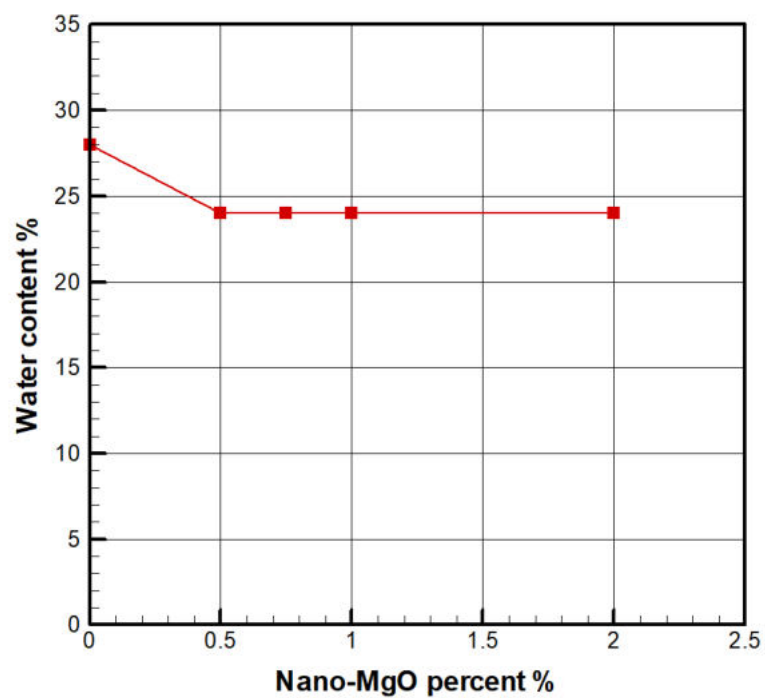
Figură 41 Efectul Nano-Mgo asupra limitei superioare de plasticitate pe sol tratat cu procente diferite de Nano-Mgo



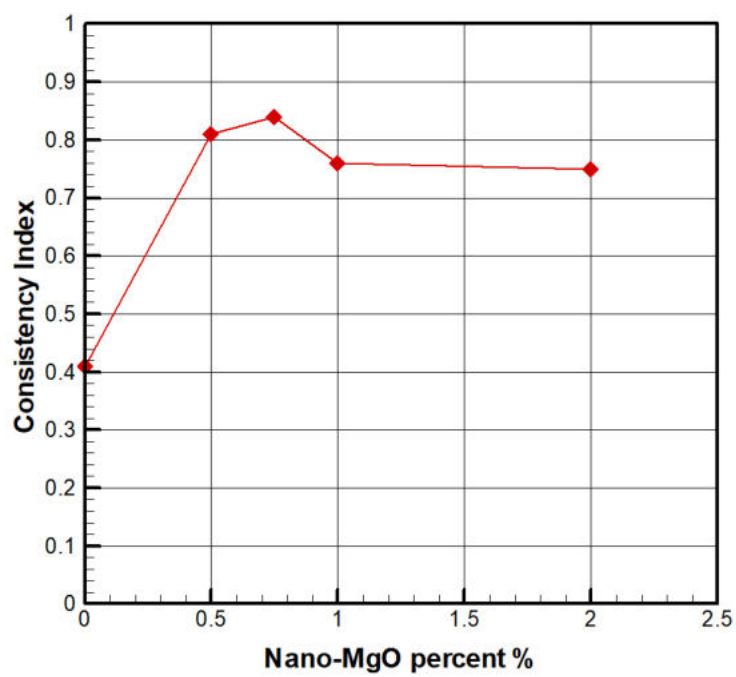
Figură 42 Efectul Nano-Mgo asupra limitei inferioare de plasticitate pe sol tratat cu procente diferite de Nano-Mgo



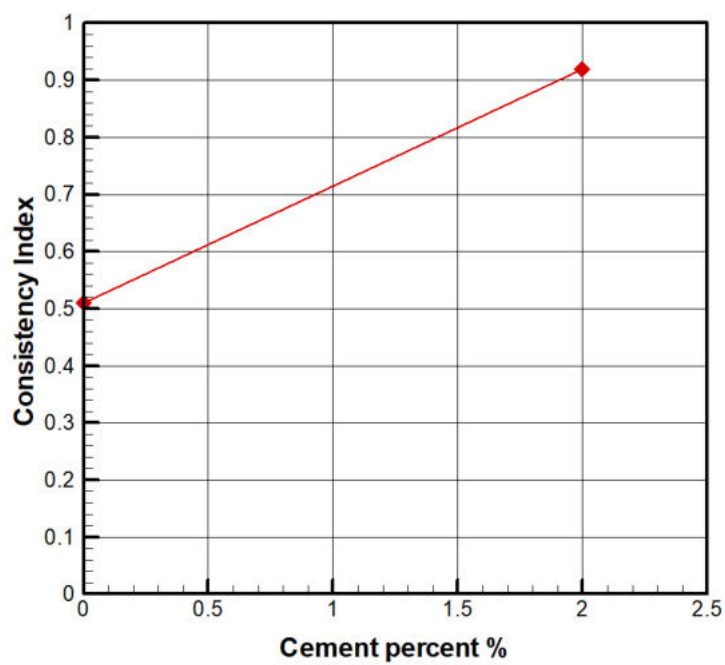
Figură 43 Indicele de plasticitate pe sol tratat cu procente diferite de Nano-Mgo



Figură 44 Efectul Nano-Mgo asupra conținutului de apa pe sol tratat cu procente diferite de Nano-Mgo.



Figură 45 Indicele de consistență a solului tratat cu procente diferite de Nano-Mgo



Figură 46 Indicele de consistență a solului tratat cu un procent de 2% ciment.

1.4.2.3 Testul edometrului

Testul edometrului se realizează prin aplicarea diferitelor sarcini pe o probă de sol pentru a determina mărimea și viteza de consolidare și măsurarea deformației. Eșantionul de sol va fi încărcat și descărcat, iar rezultatele obținute în acest test vor fi folosite pentru a prezice despre deformația care va avea loc în teren [19].

Eșantionul de sol este plasat într-un inel metalic care împiedică orice deplasare laterală și permite probei să se comprima sau să se umfle vertical, în funcție de sarcina aplicată și instalat în aparatul edometru, drenajul vertical este permis în timpul pietrei poroase de pe partea superioară și fundul probei și presiunea unidimensională sunt supuse, în timp ce modificările de grosime sunt înregistrate în timp [20].

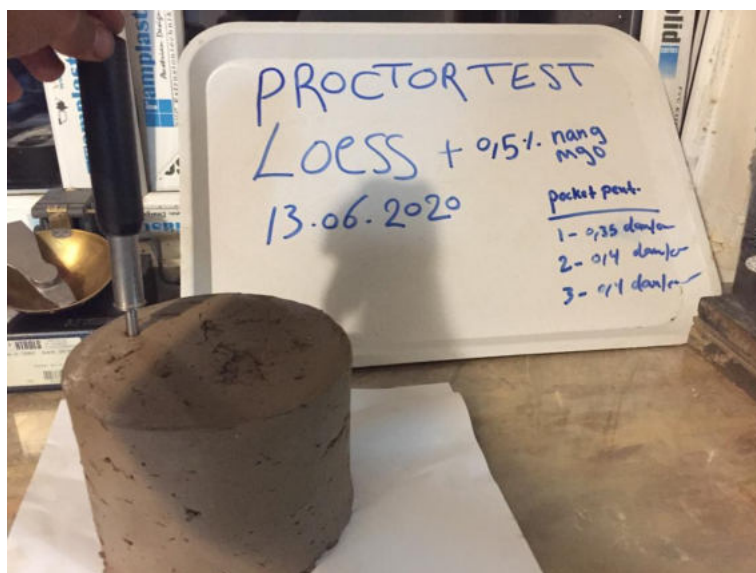
Probele de sol prelevate din zona de studiu au fost compactate folosind o procedură Proctor modificată și testate conform (STAS 1913/13-83) [21]. Testul edometrului a fost efectuat conform (STAS 8942/1-89) [22]. Au fost efectuate teste de compresie pentru a studia influența aditivilor (adică, Nano-MgO, Nano-Al₂O₃ și ciment în acest studiu) în îmbunătățirea compresibilității solurilor. Rezultatele arată că există o oarecare îmbunătățire, iar parametrul de compresibilitate a probelor de sol crește odată cu creșterea cantității de Nano-MgO. și Nano-Al₂O₃ așa cum se arată în figurile 33 și 35. dar există o îmbunătățire mult mai mare când comparăm solul netratat cu solul amestecat cu 2% ciment, așa cum se arată în figura 34.

Tabel 14 Modul edometru E_{oed} (kPa) a probelor de sol tratate cu procente diferite de Nano-MgO

Tip și procent aditiv	Sol netratat	0.5% Nanomgo	0.75% nanomgo	1% nanomgo	2% nanomgo	2% ciment
Modul edometru E _{oed} (kPa)	4080	5900	6490	7870	9660	11000

Tabel 15 Modulul edometru al probelor de sol tratate cu procente diferite de Nano- Al₂O₃

Tip și procent aditiv	Sol netratat	0.5% Nano-Al ₂ O ₃	1% Nano- Al ₂ O ₃	2% Nano- Al ₂ O ₃
Modul edometru E _{oed} (kPa)	12000	12195	13423	21000



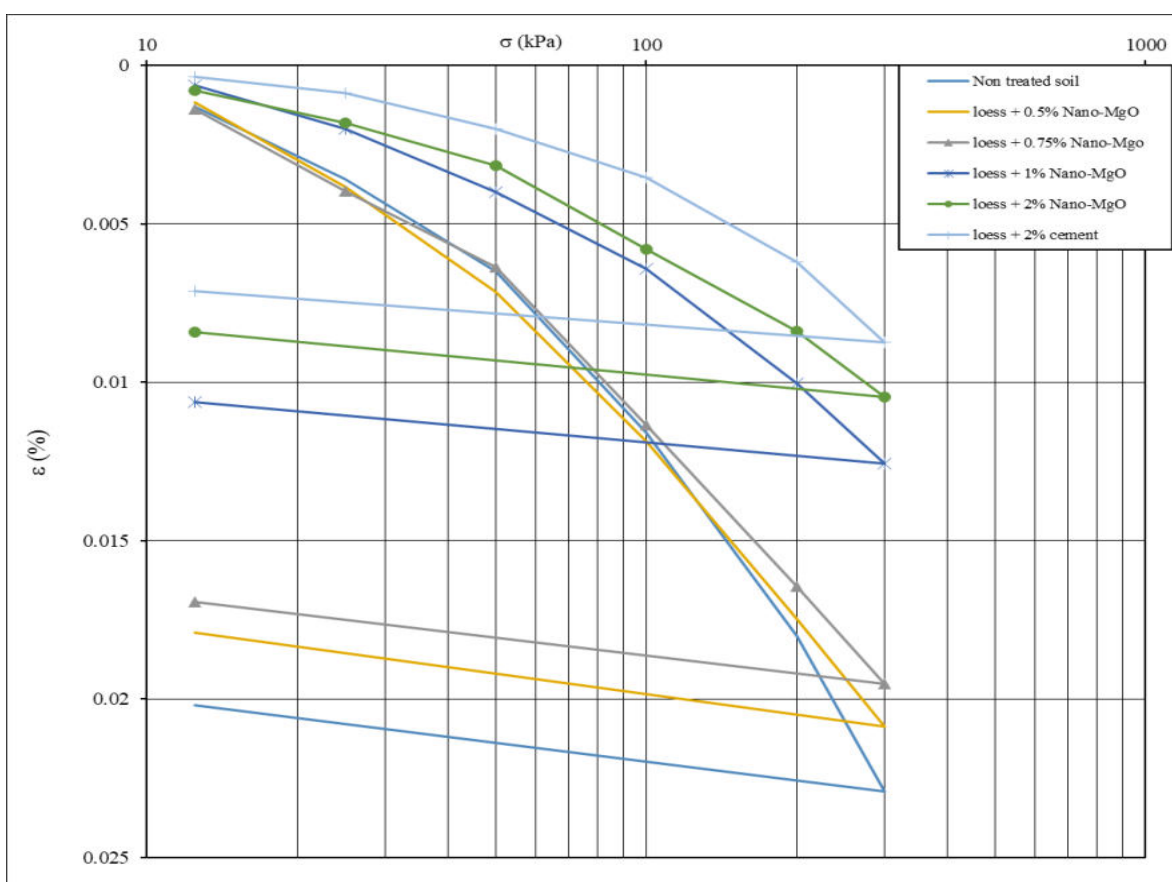
Figură 47 Probe de sol tratate cu 0,5% Nano-Mgo după compactare



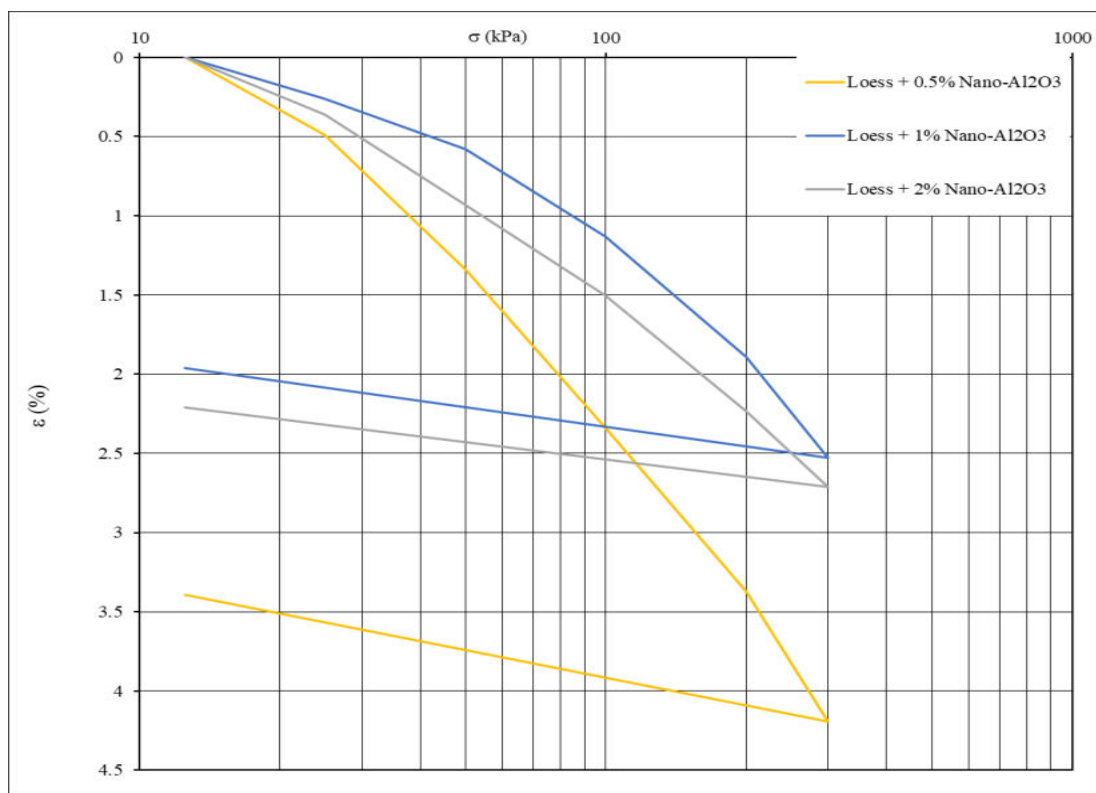
Figură 48 Teste edometru



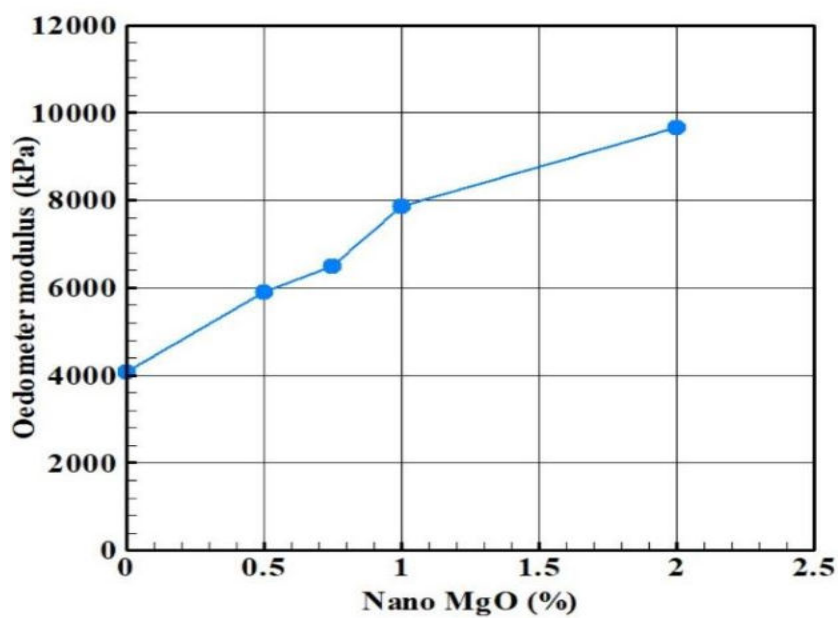
Figură 49 Teste edometru pentru sol tratat cu procente diferite de nanomateriale.



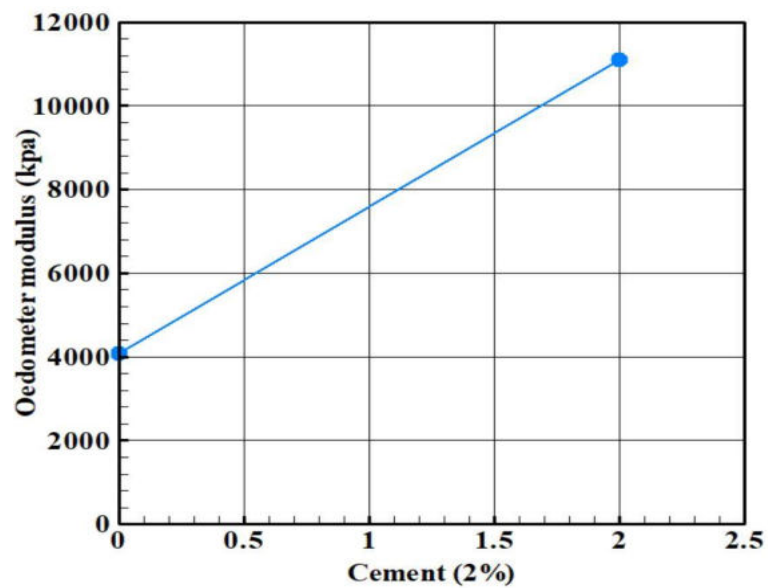
Figură 50 Curbe edometrice pentru probe de sol prelevate din Perișoru, tratate cu procente diferite de Nano-Mgo.



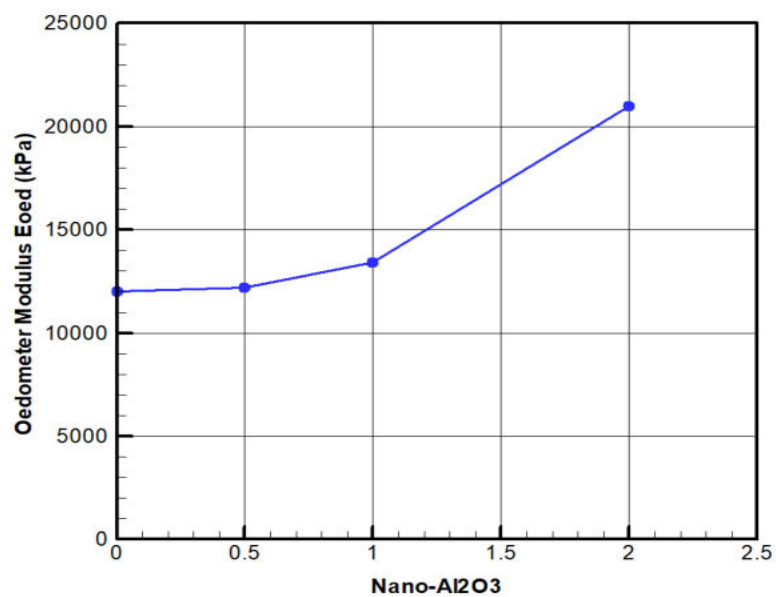
Figură 51 Curbe edometrice pentru probe de sol prelevate din Viișoara Sud, tratate cu procente diferite de Nano-Al₂O₃



Figură 52 Modul edometru E_{oed} (kPa) a probelor de sol tratate cu procente diferite de Nano-MgO



Figură 53 Modul edometru Eoed (kPa) a probelor de sol tratat cu 2% ciment.



Figură 54 Modulul edometru al probelor de sol tratate cu procente diferite de Nano- Al₂O₃.

1.4.2.4 Test de forfecare directă

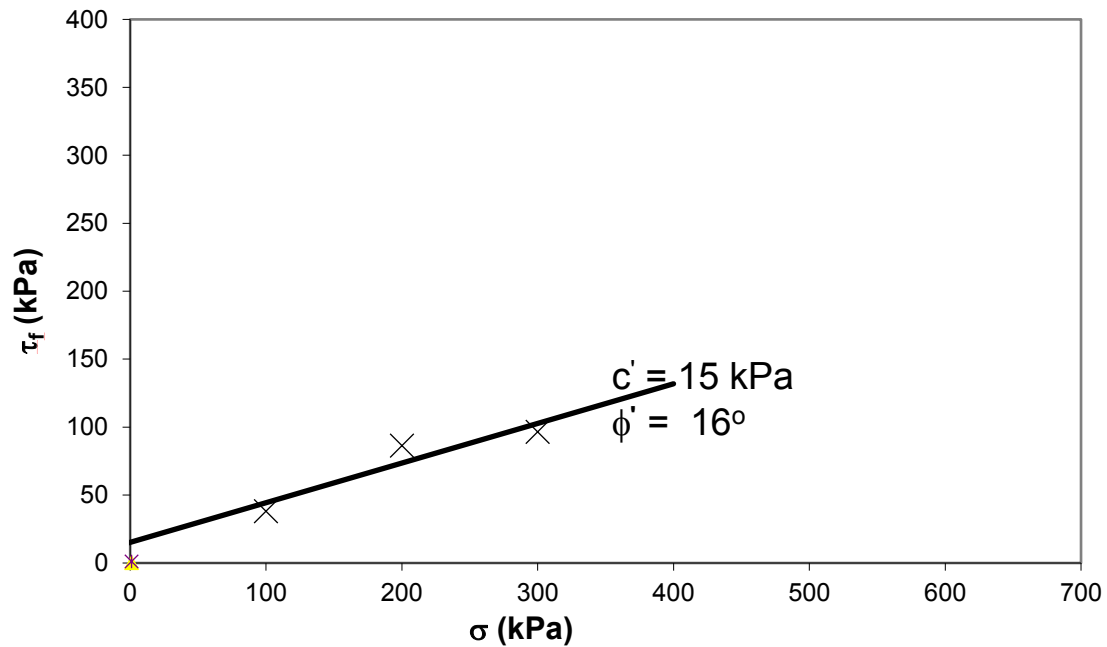
Testele de forfecare directă consolidată drenată (CD) au fost efectuate conform ([23]. pentru a determina parametrii efectivi de rezistență la forfecare unghiul de frecare (ϕ') și coeziunea (c') pentru probe netulburate sau remoldate.

Rezistența solului depinde de rezistența acestuia la sollicitările de forfecare și este alcătuit din două componente de frecare (datorită frecării dintre particule) și coezive (datorită aderenței dintre particulele de sol), ceea ce reprezintă un interes major în proiectarea diferite structuri geotehnice. Aditivii chimici au un efect puternic asupra unghiului de frecare [24], care crește odată cu creșterea cantității de nanomateriale așa cum se arată în Tabelul 16 de mai jos:

Tabel 16 Rezultatele testelor de forfecare directă pentru probele de sol tratate cu un procent diferit de Nano-MgO

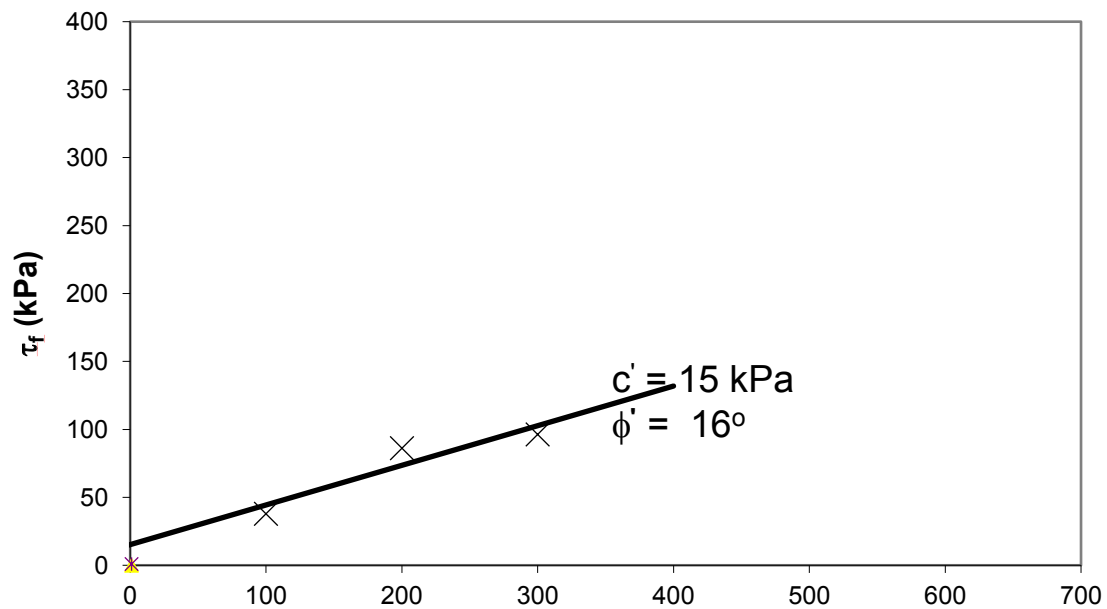
Tip și procent aditiv	Unghi de frecare (ϕ')°	Coeeficient de coeziune (c')
Sol netratat	16°	15
0.5 % Nano-Mgo	16°	15
0.75% Nano-Mgo	19°	14
1% Nano-Mgo	20°	20
2 % Nano-Mgo	22°	28

Normal Stress versus Shear stress for soil treated with 0.5% Nano-MgO

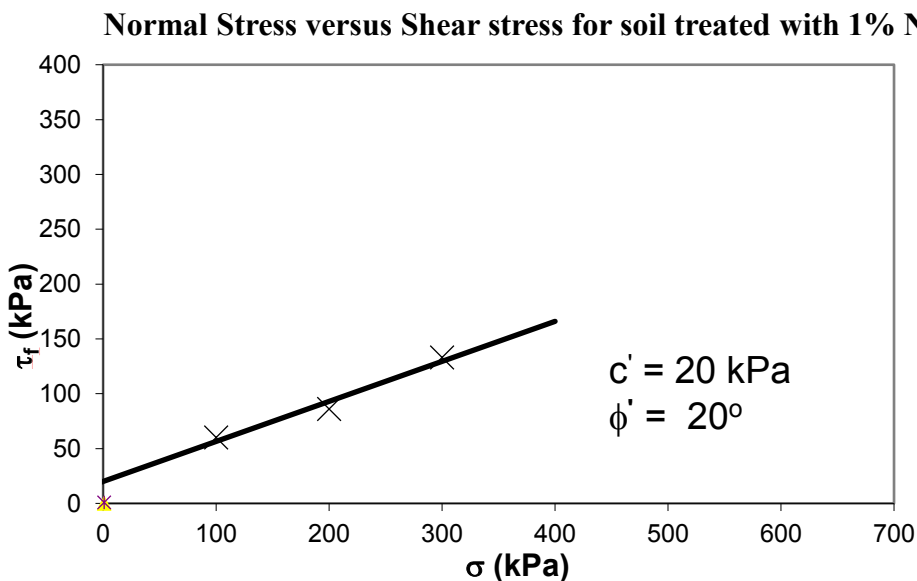


Figură 55 Teste de forfecare directă pentru sol tratat cu 0,5% Nano-Mgo.

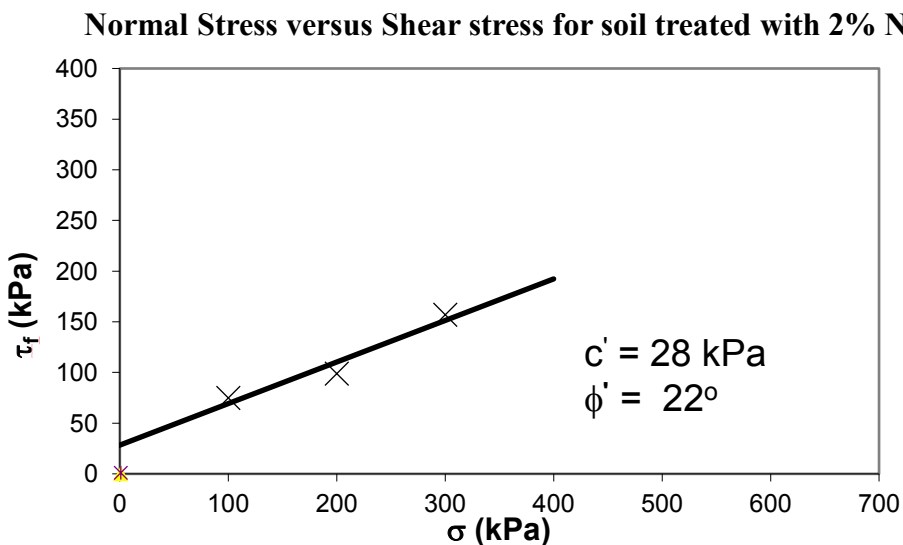
Normal Stress versus Shear stress for soil treated with 0.75% Nano-MgO



Figură 56 Teste de forfecare directă pentru sol tratat cu 0,75% Nano-Mgo.



Figură 57 Teste de forfecare directă pentru sol tratat cu 1% Nano-MgO.



Figură 58 Teste de forfecare directă pentru sol tratat cu 2% Nano-MgO.

1.5 Concluzie

Acest studiu a investigat experimental efectul diferitelor tipuri de nanomateriale asupra proprietăților geotehnice ale solurilor colectate din două situri diferite din România. În această cercetare au fost utilizate două tipuri diferite de nanomateriale, și anume Nano-MgO cu procente diferite (0,5%, 0,75%, 1% și 2%) și Nano-Al₂O₃ cu procente (0.5%, 1%, și 2%).

Îmbunătățirea proprietăților solului folosind nanomateriale depinde de tipul și cantitatea acestor materiale. Nanomaterialele insolubile, cum ar fi nano-MgO, prezintă un efect chimic mic asupra solului, deoarece rezultatele microscopiei electronice cu scanare au arătat, prin urmare, utilizarea oxidului de nano-magneziu a avut un efect mic asupra proprietăților solului.

Din analiza rezultatelor obținute cu SEM, putem observa că o modificare vizibilă a microstructurii probelor, are loc în special pe probele de sol amestecate cu 2% Nano Al_2O_3 .

În cazul a 0,5% și 1%, microstructura amestecurilor sol-nano-alumină a indicat că noua fază formată prin adăugarea de Nano Al_2O_3 a avut o interacțiune mică și a constatat din unele noi legături între particulele probelor de sol.

Rezultatele au arătat că a existat un efect mic asupra limitelor Atterberg, există mici scăderi ale valorii limitei de lichid și a limitei plastice, parametrul de compresibilitate a solului a crescut odată cu creșterea cantității de nanomateriale adăugate pentru ambele soluri, De asemenea, s-a observat că rezistența la forfecare a solului a crescut odată cu creșterea cantității de nanomateriale.

Ca urmare, putem concluziona că nanomaterialele pot ajuta la îmbunătățirea proprietăților geotehnice ale solului, dar, din punct de vedere tehnic, au avut un impact redus asupra proprietăților geotehnice ale solului. De asemenea, din punct de vedere economic, în comparație cu alți aditivi chimici obișnuiți precum cimentul, sunt o opțiune costisitoare. Ele pot funcționa bine ca aditivi la tehnologiile de amestecare a cimentului.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Ivasuc, Tatiana, Ernest Olinic, Ioana Siminea, „Remarks on main methods of expansive soils improvement,” *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM 2*, p. 769, 2014.
- [2] Commission, European,, Recommendation on the Definition of a Nanomaterial, 2016..
- [3] Toumey, Christopher P., „Reading Feynman into nanotechnology: A text for a new science.,” *Techné: Research in Philosophy and Technology* , vol. 12.3, pp. 133-168, 2008.
- [4] [Interactiv]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Nanoparticle..>
- [5] Srinivas, V., „What are the Uses and Applications of Nanoparticles?,” *American Journal of Preventive Medicine and Public Health*, vol. 7.6, 2021..
- [6] Capek, I., „Chapter 1 Nanotechnology and nanomaterials,” *Studies in Interface Science; Nanocomposite Structures and Dispersions; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands*, 23,, pp. 1-69, 2006.
- [7] <https://ssnano.com/nanopowders-micron-powders>, [Interactiv].
- [8] Wei, Dongguang, Rajesh Dave, and Robert Pfeffer., „Mixing and characterization of nanosized powders: an assessment of different techniques,” *Journal of Nanoparticle Research* , vol. 4.1, pp. 21-41, 2002.
- [9] Taha, Mohd Raihan, Omer Muhie Eldeen Taha., „Influence of nano-material on the expansive and shrinkage soil behavior,” *Journal of Nanoparticle Research*,, vol. 14(10), pp. 1-13., 2012.
- [10] Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C., „Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis,” *Springer*, 2017.
- [11] b. k. f. u. t. S. Scanning electron microscope A to Z.
- [12] Barbara, L. Dutrow, and M. C. Christine., „https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/XRD.html,” 2015.
- [13] Barbara, L. Dutrow, and M. C. Christine., „https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/XRD.html,” 2015.
- [14] Henry, Darrell, et al, „X-ray reflection in accordance with Bragg's Law.,” *Integrating Research and Education*, 2012.
- [15] [Interactiv]. Available: <http://www.wikipedia.org>.
- [16] STAS 1913/5-1985, Teren de fundare. Determinarea granulozitatii..
- [17] S. 1913/4-1986, Determinarea Limitelor De Plasticitate, Romania, 1986.
- [18] Z. H. Majeed, M. R. Taha, I. T. Jawad., „Stabilization of soft soil using nanomaterials,” *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol*, 8, no. 4., p. pp. 503–509, 2014.
- [19] Suddepong, A., Chai, J., Shen, S., & Carter, J., „Deformation behaviour of clay under repeated one-dimensional unloading–reloading.,” *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 52.8, pp. 1035-1044, 2015.
- [20] 8942/1-1989, STAS, „Teren de fundare. Determinarea compresibilitatii pamanturilor prin incercarea in”.
- [21] STAS1913/13-83., „Determination of compaction characteristics - Proctor test (in Romanian)”.

- [22] STAS 8942/1-89. , „Determination of soil compressibility by edometer test (in Romanin)”.
[23] STAS 8942, 2-1982) .
[24] A.Chirica, R.mlenajek., „Mechanical behavior of structured clays improved by chemical treatment.,” *Engineering Geology and the Enviroment*, 1997.