

UOT 631.44.

KİÇİK QAFQAZ TORPAQLARININ MÜHİT REAKSİYASINI
SU VƏ DUZ MƏHLULLARINDA ƏLAQƏLƏNDİRƏN MODELE.E.MƏMMƏDOV¹, Ç.S.QƏLƏNDƏROV²¹ AMEA Torpaqşünaslıq və Aqrokimya İnstitutu² Bakı Dövlət Universiteti

elton.eldaroglu@gmail.com

Torpaq mühitinin reaksiyasını (pH) təyin etmək üçün istifadə olunan metodlar həlledici məhlulə və onun torpaqla nisbətində əsaslanır. Azərbaycanda pH-ı təyin etmək üçün standart həlledicilərdən (H_2O , KCl və $CaCl_2$) istifadə olunsada bir metoddan digərinə keçmək üçün riyazi formula təklif edən tədqiqatlara rast gəlinmir. Bu tədqiqat işində dağlıq zona torpaqlarında pH-ın H_2O və KCl-la təyin olunmuş qiymətləri müqayisə olunmuş və bir metoddan digərinə keçid modelləşdirilmişdir. Kiçik Qafqazın alçaqdağlıq və ortadağlıq zonalarından ümumilikdə 338 ədəd torpaq nümunəsi toplanmış və laborator şəraitdə analiz olunmuşdur. Nəticələrin təhlili göstərdi ki, pH-ın H_2O və KCl həlledicilərində təyin olunmuş qiymətləri arasında çox güclü ($r=0.95$) korrelyativ əlaqə var. pH-ın H_2O qiymətindən KCl qiymətinə keçmək üçün sadə və çoxhədli xətti reqressiya modelləri təklif olunmuşdur. Təklif olunan modellərin determinasiya əmsali (R^2) və qalıq standart xətası uyğun olaraq 0.89 və 0.90, 0.27 və 0.26 pH vahidi təşkil etmişdir. Xəta yayılmasının təhlili göstərdi ki, onun yayılmasında tədqiqat obyektinin xüsusiyyətlərinə bağlılıq mövcuddur. Ən yüksək mənfi (<-0.8) və müsbət (>0.6) xəta ortadağlıq zonanın torpaqlarında yalnız B qatında müşahidə olunmuşdur. Alçaqdağlıq zonanın torpaqlarında xətalərin böyük əksəriyyəti ($>80\%$) müsbət olduğu aşkar edilmişdir ki, bu hal KCl-un torpağa təsiri ilə əlaqədar ola bilər. Təqdim olunan modellər Kiçik Qafqaz dağlarının torpaqlarında $pH_{(H_2O)}$ -in 4.7-dən 8.4-ə qədər olan qiymətləri aralığında tətbiq oluna bilər. Modeldə təqdim olunan bütün torpaq nümunələrinin coğrafi koordinatları dəqiqliklə müəyyən edildiyi üçün tədqiqat işi regional miqyasda torpaq monitorinqləri üçün baza olmaqla bərabər, dünya torpaq məlumat bazasına inteqrasiya olunmaq üçün də mühüm vasitədir.

Açar sözlər: Torpaq pH-ı, H_2O , KCl, xətti reqressiya modelləri, Kiçik Qafqaz

Torpağın mühit reaksiyası (pH) onun nisbi turşuluğunu və ya qələvliliyini göstərən əsas xassəsidir. Təbii şəkildə torpaq pH-ı torpaqəmələgətirən faktorların qarşılıqlı fəaliyyətini əks etdirir və bu faktorlar arasında torpağın mineraloji və qranulometrik tərkibi, iqlim şəraiti daha mühüm rol oynayır. Torpağın pH-ı zaman və məkan daxilində dəyişkən olmaqla bərabər, azot gübrələri, əhəng, gips, əkin dövriyyəsi və s. tətbiq etməklə onu idarə etmək mümkündür.

Torpaq pH-nın əhəmiyyətini əks etdirən çoxsaylı tədqiqatlar aparılmışdır (Thomas, Jensen 2010, Sharpley 1991). O cümlədən, torpağın mühit reaksiyasının makro və mikroelementlərə (Khadka 2016, Sharpley 1991), torpaq bakteriyalarına (Cho və b. 2016) təsiri öyrənilmişdir. Bu tədqiqatlar göstərmişdir ki, torpaqda qida elementlərinin mənimsənilən formalarının optimal miqdarı pH-ın 6.5-7.5 həddlərində yaranır. Xüsusilə də pH-ın 4-6 qiymətləri aralığında Fe, Cu, Mn və Zn kimi mikroelementlərin mənimsənilən formalarına daha çox rast gəlinir.

Torpaq pH-nı müəyyən etmək üçün müxtəlif metodlar tətbiq olunur. Bu metodlar əsasən istifadə olunan məhlulə və torpaq-məhlul nisbətində görə bir-birindən fərqlənir. Bir qayda olaraq, distillə olunmuş su (H_2O), 1 mol L^{-1} KCl (KCl) və 0.01 mol L^{-1} $CaCl_2$ ($CaCl_2$) həlledici kimi istifadə olunur. pH-ı adətən KCl və $CaCl_2$ məhlullarında ona görə təyin etməyə üstünlük verirlər ki, torpaq pH-ı elektrolitlərin konsentrasiyasına daha az məruz qalır və daha sabit ölçmə nəticələri təmin edir. Torpağın pH-nı təyin etmək üçün tətbiq edilən müxtəlif metodlar arasındakı əlaqələr bir sıra tədqiqatlarda əks olunmuşdur (Ahern və b. 1995, Brennan və Bolland 1998, Little 1992, Miller və Kissel 2010, Sadovski 2019). Lakin regional və qlobal miqyasda torpaq məlumat bazalarını inteqrasiya etmək üçün bu metodlar arasında uyğunsuzluqlar ortaya çıxır. Bundan əlavə əhəng və gips tətbiqi məqsədilə pH-ın həm su, həm də duz məhlullarında təyin olunması zərurəti yaranır. Bu səbəbdən bir sıra tədqiqatçılar pH-ın H_2O , KCl və $CaCl_2$ məhlullarında təyin olunmuş qiymətləri arasındakı fərqlərin elektrolit konsentrasiyasından asılı olduğunu nəzərə alaraq, müxtəlif modellər təklif etmişlər (Aitken və Moody 1991, Dolling və Ritchie 1985, Minasny və b. 2011). Həmin tədqiqatların nəticələrini müqayisə etsək görərik ki, modelləşdirmələrin dəqiqliyi təkcə tətbiq olunan riyazi modellərlə bağlı olmayıb, həmçinin regiondan asılılıq mövcuddur.

Azərbaycanda torpaq mühitinin reaksiyasını təyin etmək üçün standart həlledicilərdən H_2O , KCl və $CaCl_2$ -dən istifadə olunur. Lakin yerli əbədiyyatlarda bir metoddan digərinə keçmək üçün riyazi formula təklif edən tədqiqatlara rast gəlinmir. Ona görə də bu tədqiqat işində dağlıq zona torpaqlarında pH-ın H_2O və KCl-la təyin olunmuş qiymətləri müqayisə olunmuş və bir metoddan digərinə keçid modelləşdirilmişdir.

Tədqiqatın obyektı və metodikası

Tədqiqat obyektı coğrafi baxımdan Kiçik Qafqazın alçaqdağlıq və ortadağlıq zonasını əhatə edir. Torpaq nümunələri Tovuz və Gədəbəy rayonlarının inzibati ərazində, dəniz səviyyəsindən 750-2020 m yüksəklikləri əhatə edən geniş bir dağlıq qurşaqdan toplanmışdır. Bu zonada dominant torpaq tipləri dağ boz-qəhvəyi, dağ meşə-qəhvəyi, dağ meşə-qonur, dağ qara, dağ çəmən-meşə torpaqlarıdır. Ümumilikdə biri alçaqdağlıq zonada, üçü ortadağlıq zonada yerləşməklə, 4 xarakterik tədqiqat sahəsindən 338 torpaq nümunəsi toplanmışdır. Torpaq nümunələri iki genetik horizontdan: A (312 nümunə) və B (26 nümunə)

qatlarından toplanmışdır. Hər bir torpaq nümunəsinin götürüldüyü yerin coğrafi koordinatları GPS Map 62s cihazı ilə müəyyən edilmişdir.

Qeyd etmək vacibdir ki, Azərbaycanda vahid torpaq coğrafi informasiya bazasının olmaması səbəbindən arxiv məlumatlarından və ya digər tədqiqatçıların məlumatlarından istifadə etmək mümkün olmadığına görə bu tədqiqat işi tamamilə yeni məlumatlar əsasında hazırlanmışdır.

Torpaq nümunələri beynəlxalq qəbul olunmuş standartlara uyğun olaraq laborator şəraitdə analiz olunmuşdur (ISO 10390, 1997). Bütün torpaq nümunələrinin pH göstəricisi torpaq və həlledicinin 1:1 nisbətində həm H₂O, həm də 1mol KCl məhlullarında təyin olunmuşdur.

Əvvəlcə analiz nəticələrini riyazi-statistik baxımdan təhlil etmək üçün minimum (Min), maksimum (Max), orta qiymət (Mean), median (Median), standart meylətmə (SD), variasiya əmsalı (CV), assimetriklik əmsalı (S) və eksesi (E) hesablanmışdır (İsmayılov 2005). Variasiya əmsalı %-lə ifadə olunur və üç sinifə təsnif edilir: 20%-dən kiçik, 20-50% və 50%-dən böyük olduqda uyğun olaraq zəif, mülayim və güclü dəyişkənlik kimi təsnifatlaşdırılır (Amean 1984).

pH_(H₂O) və pH_(KCl)-un təyini olunmuş qiymətləri arasında əlaqə modelləşdirmək ($y=f(x)$), yəni pH_(H₂O) qiymətindən pH_(KCl) qiymətinə keçmək üçün sadə xətti reqressiya

$$y=ax+b$$

və çoxhədli xətti reqressiya funksiyası isə

$$y=ax^2+bx+c$$

formulaları ilə tətbiq olunmuşdur.

Burada, $y=pH_{(KCl)}$, $x=pH_{(H_2O)}$, a , b və c əmsallar, f xətti reqressiya funksiyasıdır.

Analiz nəticələrinin riyazi-statistik təhlili və modelləşdirilməsi R statistik proqramında yerinə yetirilmişdir.

Təhlil və müzakirə

Dünya Ərzaq və Kənd Təsərrüfatı Təşkilatı (FAO) və ABŞ-ın Kənd Təsərrüfatı Departamenti (USDA Soil Survey Staff, 1993) torpaqların mühit reaksiyasını qiymətləndirmək üçün qəbul etdiyi və həmçinin Azərbaycanda tətbiq olunan qradasiyalar cədvəl 1-də müqayisəli şəkildə göstərilmişdir. FAO və USDA-nın qəbul etdiyi qradasiyalar bir-birindən cüzi fərqlənir və dünyanın əksər böyük ölkələrində istifadə olunur.

Azərbaycanda qəbul olunmuş qradasiya digər iki qradasiyadan sinif sayına və pH-ın sinifdaxili həddlərinə görə fərqlənir (Məmmədov 2007). Bir qayda olaraq, Beynəlxalq və yerli təsnifatlar arasında fərq həmin təsnifatların coğrafi əhatə dairəsi ilə əlaqədərdir. Azərbaycanda qəbul olunmuş təsnifat ölkə ərazisində torpaqların pH göstəricilərinin maksimum və minimum qiymətlərinə uyğunlaşdırılmışdır. Bu təsnifata əsasən tədqiqat obyektinin torpaqları şiddətli turş və şiddətli qələvi sinifləri istisna olmaqla digər bütün sinifləri əhatə edir.

Tədqiqat obyektinin coğrafi əhatəsinin genişliyi və torpaqların müxtəlifliyi səbəbindən pH-ın qiymətləri həm H₂O, həm də KCl məhlullarında geniş həddə dəyişir. pH_(H₂O)-nın minimum qiyməti 4.71, maksimum qiyməti 8.30, orta qiyməti isə 6.50 təşkil edir (cədvəl 2). Bu göstəricilər pH_(KCl) üçün təxminən

Cədvəl 1

Torpaq pH göstəricisinin beynəlxalq və yerli qradasiyaları

FAO		USDA		Azərbaycan	
Qradasiya adı	Qradasiya qiyməti	Qradasiya adı	Qradasiya qiyməti	Qradasiya adı	Qradasiya qiyməti
Şiddətli turş	<3.0	Ultra turş Şiddətli	<3.5	Şiddətli turş	<4.5
Çox güclü turş	3.0-4.0	turş Çox güclü	3.5-4.4	Turş	4.6-5.0
Güclü turş	4.1-5.0	turş Güclü turş	4.5-5.0	Zəif turş	5.1-5.5
Mülayim turş	5.1-6.0	Mülayim turş	5.1-5.5	Neytrala yaxın	5.6-6.0
Zəif turş	6.1-6.9	Zəif turş	5.6-6.0	Neytral	6.1-7.1
Neytral	7.0	Neytral	6.1-6.5	Zəif qələvi	7.2-7.5
Çox zəif qələvi	7.1-7.5	Zəif qələvi	6.6-7.3	Qələvi	7.6-8.5
Zəif qələvi	7.6-8.1	Mülayim qələvi	7.4-7.8	Şiddətli qələvi	>8.5
Mülayim qələvi	8.2-8.6	Güclü qələvi	7.9-8.4		
Qələvi	8.7-8.9	Şiddətli qələvi	8.5-9.0		
Güclü qələvi	9.0-10.0		>9.0		
Şiddətli qələvi	10.1-11.0				

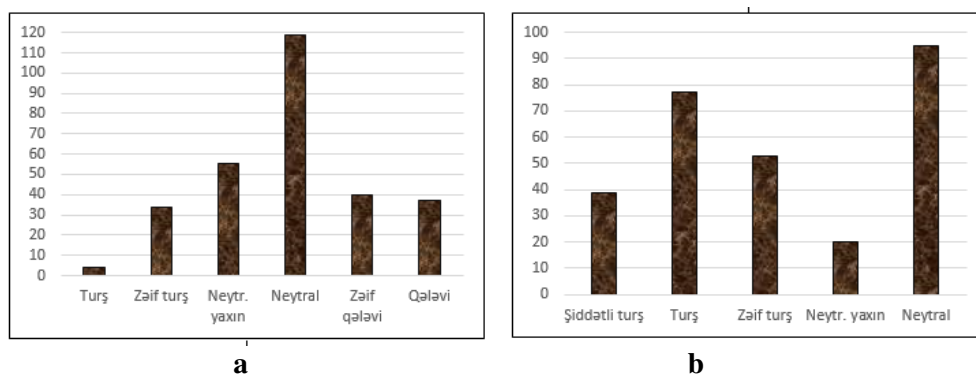
bir vahid aşağı olmaqla uyğun olaraq, 3.57, 6.94 və 5.42 təşkil edir. Hər iki məhlulda pH-ın SD qiymətləri çox oxşar olub, orta qiymətdən zəif yayınmaları göstərir. Analoji hal variasiya əmsalının (CV) qiymətlərində də əks olunmaqla, zəif dəyişkənlikləri göstərir. Assimmetriklilik (S) qiymətləri göstərir ki, pH həm H₂O, həm də KCl məhlullarında təxminən assimmetrik paylanmışdır. Lakin əkses (E) qiymətlərinin mənfi olması müşahidələrin zəif pikləşməsini göstərir. Tədqiqat obyektinin torpaqlarının pH göstəricisinin siniflər üzrə paylanması histoqramı şəkil 1-də göstərilmişdir. pH_(H₂O)-ın siniflər üzrə paylanmasına nəzər salsaq görərik ki, ümumi nümunə sayının 35%-i neytral, 16%-i neytrala yaxın, 12%-i isə zəif qələvi sinifində cəmləşmişdir (şəkil 1a). Bu üç sinif birlikdə ümumi müşahidə sayının 63%-ni təşkil edir. Torpaq nümunələrində pH_(KCl) qiymətləri isə əsasən turş (25%), zəif turş (24%) və neytral (29%) siniflərində cəmləşmişdir (şəkil 1b). Bu üç sinif birlikdə ümumi nümunələrin 78%-ni təşkil etmişdir. Histoqramda ifadə olunmuş pH qiymətlərinin paylanma nisbəti tədqiqat obyektinin torpaqları üçün xarakterik hesab olunur (Babayev və b. 2006).

Cədvəl 2

Analiz nəticələrinin riyazi-statistik təhlili

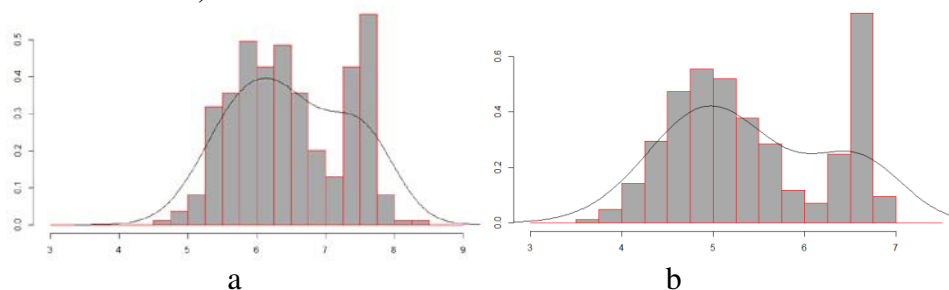
	Min	Max	Mean	Median	SD	CV	S	E	N
pH _(H₂O)	4.71	8.30	6.50	6.42	0.80	12	0.10	-1.15	338
pH _(KCl)	3.57	6.94	5.42	5.23	0.83	15	0.26	-1.15	338

Tədqiqat obyektı, torpaqlarının pH göstəricisinə görə spesifik əlamətlərindən biri də pH-ın historqamında ikipikli paylanmanın müşahidə olunmasıdır. Belə ki, həm $pH_{(H_2O)}$ həm də $pH_{(KCl)}$ paylanmasında aydın nəzərə çarpan iki pik mövcuddur. Bu piklərdən biri $pH_{(H_2O)}$ -nın 5.8-6.5, digəri isə 7.2-7.8 qiymətləri intervalına düşür (şəkil 2a). Eyni piklər $pH_{(KCl)}$ histoqram paylanmasında da müşahidə olunur (şəkil 2b). İkinci pik dağətəyi zonadan



Şəkil 1. pH göstəricisinin siniflər üzrə paylanması histoqramı

toplanmış nümunələri xarakterizə edir. Bu hal böyük etimalla karbonatlı torpaqəmələgətirən süxurlarla əlaqədərdir. Dağətəyi zonada torpaq profilində səthdən başlayaraq karbonatların olması həm torpaqdaxili bioloji yolla, həm də torpaqəmələgətirən süxurlarla əlaqədar olaraq formalaşır. Karbonatlığın torpağın mühit reaksiyasına təsiri öncəki tədqiqat işində müəyyən edilmişdir (Sadiqi, Məmmədov 2018).



Şəkil 2. pH göstəricisinin histoqramı
(ordinat oxunda ehtimal sıxlığı göstərilmişdir)

Dünyanın bir sıra ölkələrində aparılmış oxşar tədqiqatlara nəzər salsaq görürük ki, pH-ın su və duz məhlullarında təyin olunmuş qiymətləri arasında həm xətti (Bruce və b. 1989, Conyers və Davey 1988, Davies 1971, Van 1981), həm də qeyri-xətti (Aitken və Moody 1991, Little 1992) əlaqələr aşkar olunmuşdur. Ahem və b. (1995) öz tədqiqatlarında təklif etdiyi xətti regressiya modelinin proqnoz gücü 93.2% olduğu halda, modelə $pH_{(H_2O)}$ -nın ikinci və üçüncü kvantitini daxil etməklə onun proqnoz gücü 94.1%-ə çatmışdır.

Ümumiyyətlə, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ və $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ metodları arasındakı fərq yalnız həlledicinin tərkibindən asılı olduğu üçün, bu iki metodla əldə olunan göstəricilər arasında güclü əlaqənin olması normal haldır (Brennan və Bolland 1998). Bizim tədqiqat timsalında $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ və $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ qiymətləri arasında çox güclü korrelativ əlaqə olması müəyyən edilmişdir. Pirson korrelyasiya əmsalı $r=0.95$ təşkil etmişdir və bu göstərici bir sıra tədqiqatlarla müqayisə oluna bilər (Little 1992, Sadovski 2019).

Beləliklə, ümumilikdə 338 ədəd nümunənin analizləri əsasında $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ üçün aşağıdakı reqressiya bərabərlikləri əldə edilmişdir:

Sadə xətti reqressiyanın qarşılıqlı korrelyasiya əmsalı: $R^2=0.8978$ olmaqla,

$$\text{pH}_{(\text{KCl})}=0.9879*\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}-1.0027$$

Çoxhədli xətti reqressiyanın isə $R^2=0.9030$ olmaqla,

$$\text{pH}_{(\text{KCl})}=0.1015*(\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})})^2-0.34071*\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}+3.2798$$

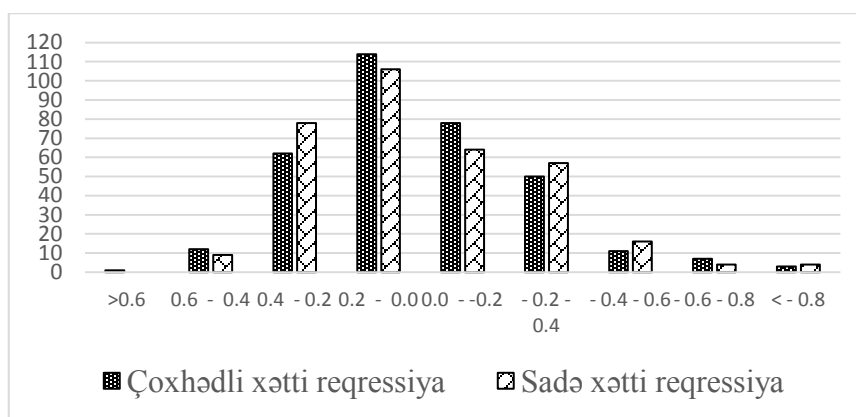
Sadə xətti reqressiyanın qalıq standart xətası 0.27, çoxhədli xətti reqressiyanınkı isə 0.26 pH vahidi təşkil etmişdir. Göründüyü kimi, birinci model $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ -in müşahidə məlumatlarındakı dəyişkənliyin 89.78%-ni, ikinci model isə 90.30%-ni özündə əks etdirir. Hər iki model aralarındakı cüzi dəqiqlik fərqi ilə $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ -i təyin etmək üçün kifayət qədər dəqiq hesab olunur.

Xəta yayılmasının təhlili göstərdi ki, onun yayılmasında tədqiqat obyektinin xüsusiyyətlərinə bağlılıq mövcuddur. Xətalərin yayılmasında özünə-məxsusluq dağətəyi və ortadağlıq zonaların oxşar qruplaşma nümayiş etdirməsindən ibarətdir. Ümumilikdə, xətalərin 57%-i müsbət, 43%-i mənfi olmaqla, -0.90-dan 0.52-yə qədər olan diapazonu əhatə edir. Ən yüksək mənfi xəta (<-0.8) ortadağlıq zonada 4 torpaq nümunəsində yalnız B qatında müşahidə olunmuşdur. Uyğun olaraq, ən yüksək müsbət xətalər da ortadağlıq zonanın torpaqlarına məxsusdur. Ortadağlıq zonadan toplanmış torpaq nümunələrində xətalərin qeyd olunan formada yayılması torpaq tiplərinin, torpaqəmələgətirən süxurların və topoqrafik şəraitin müxtəlifliyi ilə əlaqədərdir. Hər bir torpaq tipi oxşar torpaqəmələgəlmə rejimi və proseslərini əks etdirdiyi üçün pH-ın tiplər üzrə dəyişməsi kifayət qədər təfəssilatlə tədqiq olunmuşdur. Alçaqdağlıq zonanın torpaqlarında xətalərin böyük əksəriyyəti (>80%) müsbət və qismən kiçik olduğu aşkar edilmişdir. Bu hal KCl-un torpağa təsiri ilə əlaqədər ola bilər.

Sadə xətti və çoxhədli xətti reqressiya modellərində xətalərin müxtəlif qradasiyalar üzrə paylanması histqramı (şəkil 3) göstərir ki, onun 50%-i -0.2 və +0.2 intervalına düşür. Sadə xətti reqressiya modelində +0.6-dan böyük xəta olmadığı halda, çoxhədli xətti reqressiya modelində +0.6-dan böyük olan bir

neçə xəta müşahidə olunmuşdur. Ümumilikdə, xətlərin paylanmasına görə hər iki model oxşar xüsusiyyətlərə malikdir.

Beləliklə, bu tədqiqat işində təqdim olunan modellər Kiçik Qafqaz dağlarının torpaqlarında A və B horizontlarında $pH_{(H_2O)}$ -in 4.7-dən 8.4-ə qədər olan qiymətləri aralığında tətbiq oluna bilər. Modeldə təqdim olunan bütün torpaq nümunələrinin coğrafi koordinatları dəqiqliklə müəyyən edildiyi üçün bu tədqiqat işi regional miqyasda torpaq monitorinqləri üçün baza olmaqla bərabər, dünya torpaq məlumat bazasına inteqrasiya olunmaq üçün də mühüm vasitədir.



Şək. 3. Xətlərin müxtəlif qradasiyalar üzrə yayılması histqramı
(ordinat oxunda təkrarlanma sayı göstərilmişdir)

Nəticə

Kiçik Qafqazın alçaqdağlıq və ortadağlıq zonası torpaqlarının mühit reaksiyasının su (H_2O) və duz (KCl) məhlullarında təyin olunmuş qiymətləri arasında çox güclü xətti korrelyativ əlaqə mövcuddur. Torpaq pH-nın H_2O -da təyin olunmuş qiyməti əsasında duz məhlulundakı qiymətini təyin etmək üçün sadə və ikinci sıra çoxhəddli xətti reqressiya modelləri təklif olunmuşdur. Bu modellərin determinasiya əmsalları və qalıq standart xətası uyğun olaraq 0.89, 0.90 və 0.26, 0.27 pH vahidi təşkil etməklə, regional miqyasda tətbiq oluna bilər. Xətlərin yayılmasına görə ortadağlıq və alçaqdağlıq zonalar arasında spesifik qruplaşma aşkar olunmuşdur. Beləliklə, modelləşdirmənin dəqiqliyi təkcə tətbiq olunan riyazi modellərlə bağlı olmayıb, həmçinin regiondan asılılıq mövcuddur. Ona görə də torpaq tiplərinə əsasən qruplaşdırma analizlərinin aparılması və bütün torpaq profilini əhatə edən modelin inkişaf etdirilməsi tövsiyə olunur.

ƏDƏBİYYAT

1. Ahern, C.R., Baker D.E., Aitken R.L. (1995). Models for Relating pH Measurements in Water and Calcium Chloride for a Wide Range of pH, Soil Types and Depths // *Plant Soil* 171, pp.47-52.
2. Aitken, R.L., Moody P.W. (1991). Interrelations between Soil pH Measurements in Various Electrolytes and Soil Solution pH in Acidic Soils // *Aust. J. Soil Res.*, 29, pp.483-491.
3. Amean, O. (1984). Surface Soil Variability of a Map Unit on Niger River Alluvium // *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, pp.1289-1293.
4. Babayev M.P., Həsənov V.H., Cəfərova Ç.M. Azərbaycan torpaqlarının müasir təsnifatı (Azərbayc. və Rus dillərində). Bakı: Elm, 2006, 359 s.
5. Brennan R. F., Bolland M.D.A. (1998). Relationship between pH Measured in Water and Calcium Chloride for Soils of Southwestern Australia // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29:17-18, pp.2683-2689.
6. Bruce, R.C., Warrell L.A., Bell L.C., Edwards D.G. (1989). Chemical Attributes of Some Queensland Acid Soils. II. Relationships between Soil and Soil Solution Phase Compositions // *Aust. J. Soil Res.* 27, pp.335-351.
7. Cho S.J., Kim M.H., Lee Y.O. (2016). Effect of pH on Soil Bacterial Diversity // *Journal of Ecology and Environment*, 40:10, pp.1-9.
8. Conyers M.K., Davey B.G. (1988). Observations on Some Routine Methods for Soil pH Determination // *Soil Sci.* 145, pp.29-36.
9. Davies, B.E. (1971). A Statistical Comparison of pH Values of Some English Soils after Measurement in Both Water and 0.01 M Calcium Chloride // *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35, pp.551-552.
10. Dolling P.J., Ritchie G.S.P. (1985). Estimates of Soil Solution Ionic Strength and the Determination of pH in Western Australian Soils // *Aust. J. Soil Res.*, 23, pp.309-314.
11. İsmayılov A. Torpaq ekoloji sistemin tədqiqində riyazi statistika və modelləşdirmə. Bakı, 2005, 296 s.
12. Khadka D. 2016, The Relationship between Soil pH and Micronutrients, Western Nepal // *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, Vol.4, Issue 5, ISSN, pp.2319-1473.
13. Little I.P. 1992, The Relationship between Soil pH Measurements in Calcium Chloride and Water Suspensions // *Aust. J. Soil. Res.*, 30, pp.587-592.
14. Məmmədov Q.Ş. Torpaqşünaslıq və Torpaq coğrafiyasının əsasları. Bakı: Elm, 2007, 658 s.
15. Minasny B., McBratney, A.B., Brough, D.M., Jacquier, D. (2011). Models Relating Soil pH Measurements in Water and Calcium Chloride that Incorporate Electrolyte Concentration // *European Journal of Soil Science*, 62, 5, pp.728-732.
16. Miller R.O., Kissel D.E. (2010). Comparison of Soil pH Methods on Soils of North America. *Nutrient Management & Soil & Plant Analysis* Vol.74, 1, pp.310-316.
17. Sadiqi M.N., Məmmədov E.E. Dağlıq zona kənd təsərrüfatı istifadəsində olan torpaqların fiziki-kimyəvi və münbitlik göstəriciləri arasındakı əlaqələrin xarakteristikası // *Torpaqşünaslıq və Aqrokimya Jurn.*, SNN 2222-7882, cild 23, N 1-2. 2018, s. 130-136.
18. Sadovski A.N. (2019). Study on pH in Water and Potassium Chloride for Bulgarian Soils // *Eurasian Journal of Soil Science*, 8 (1), pp.38-41.
19. Sharpley A.N. (1991). Effect of Soil pH on Cation and Anion Solubility // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 22(9), pp.827-841.
20. Soil Survey Staff, *Soil Survey Manual. Chapter 3 Examination and Description of Soil Profiles* / Ditzler C., Scheffe K., Monger H.C. (Eds.), (1993). United States Department of Agriculture (USDA) Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C. USA.
21. Thomas L. Jensen. (Fall 2010). Soil pH and the Availability of Plant Nutrients. Scientific Staff of the International Plant Nutrition Institute (IPNI) *Plant Nutrition TODAY* No2.

22. Van L.W. (1981). Conversion of Organic Soil pH Values Measured in Water, 0.01 M CaCl₂ or in KCl // Can. J. Soil. Sci., 61, pp.577-579.

**МОДЕЛЬ, СВЯЗАННАЯ С ИЗМЕРЕНИЕМ pH ПОЧВЫ В РАСТВОРАХ
ХЛОРИДА КАЛИЯ И ВОДЫ. ТЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ:
МАЛЫЙ КAVKAZ**

Э.Э.МАМЕДОВ, Ч.С.ГАЛАНДАРОВ

РЕЗЮМЕ

Измерения pH почвы всегда основаны на типе раствора и его соотношении с массой почвы. Хотя в Азербайджане применяются стандартные решения (H₂O, KCl vs CaCl₂), свидетельства, связанные с различными методами измерения, отсутствуют. Поэтому в этом исследовании сравнивались и смоделировали измерения pH почвы в H₂O и KCl в горных почвах. Сравнения и моделирование были основаны на измерениях 338 образцов почвы, собранных из предгорных и средних горных поясов Малого Кавказа. Это исследование показало очень сильную корреляцию ($r=0,95$) между значениями pH образцов почвы, определяемыми в растворах H₂O и KCl. Чтобы преобразовать значение pH почвы из одного в другое, были установлены простые и полиномиальная модель второго порядка линейной регрессии с коэффициентом определения (R^2) 0,89 и 0,90 соответственно. Остаточная стандартная ошибка простых и полиномиальный линейных регрессионных моделей составляла 0,27 и 0,26 соответственно. Анализ распространения ошибок показал, что самые высокие и самые низкие отрицательные и положительные ошибки объяснялись образцами грунта, собранными из подповерхностного горизонта (B) в среднем горном поясе. Большинство ошибок (>80%) были ниже и положительны для образцов почвы из предгорной полосы, которые могут быть связаны с влиянием KCl на почву. Представленные модели действительны для кавказских почв с диапазоном pH_(H₂O) 4,7-8,4. Поскольку мы определили географические координаты всех мест выборки, это исследование является важным инструментом мониторинга почв и интеграции в базу данных мировых почв.

Ключевые слова: pH почв, H₂O, KCl, модель линейной регрессии, Малый Кавказ

**MODEL RELATING SOIL PH MEASUREMENTS IN
WATER AND POTASSIUM CHLORIDE SOLUTIONS
CASE STUDY: THE LESSER CAUCASUS**

E.E.MAMMADOV, Ch.S.GALANDAROV

SUMMARY

Soil pH measurements are always based on the type of solution and its ratio to soil mass. Although, standard solutions (H₂O, KCl vs CaCl₂) are applied in Azerbaijan, evidences relating different measurement methods are not available. Therefore, this study compared and modelled soil pH measurements in H₂O and KCl in mountainous soils. Comparisons and modeling were based on measurements of 338 soil samples collected from foothill and mid-mountainous belts of the Lesser Caucasus. This study found very strong correlation ($r=0.95$) between pH values of soil samples determined in H₂O and KCl solutions. In order to convert soil pH value from one to another, simple and second order of polynomial linear regression

equations have been established with coefficients of determination (R^2) 0.89 and 0.90 respectively. Residual standard error of simple and polynomial linear regression models was 0.27 and 0.26 respectively. Analyses of error propagation showed that highest and lowest negative and positive errors were attributed by the soil samples collected from subsurface horizon (B) in the mid-mountainous belt. Majority of errors (>80%) were lower and positive for the samples from foothill belt, which may be related to the effect of KCl on soil. The presented models are valid for Caucasian soils with $pH_{(H_2O)}$ range of 4.7-8.4. As we determined geographical coordinates of all sample locations, this study is an important tool for soil monitoring and integration to world soil database.

Key words: Soil pH, H_2O and KCL solutions, linear regression models, The Lesser Caucasus

Redaksiyaya daxil oldu: 12.12.2018-ci il
Çapa imzalandı: 02.05.2019-cu il