

Педотрансфер функц ашиглан хөрсний органик нүүрстөрөгч болон ширхэгийн бүрэлдэхүүнээс хөрсний эзлэхүүн жинг урьдчилан тооцоолох нь

Д.Ихбаяр, Х.Золжаргал, Т.Тэлмэн

*Хөрс судлалын салбар, Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн, ШУА
Ikhbayar1986@gmail.com*

Abstract: Soil bulk density is one of the most important soil physical properties and it is an essential parameter for many soil calculations and models such as carbon stock estimation. However, soil bulk density is frequently missing from the database; therefore, several pedotransfer functions (PTF) were developed to estimate it from available soil properties. The aim of this study is to assess the accuracy of these published PTFs in Mongolian soil. Five PTFs, that use soil organic matter and texture as the main parameters, have been tested in 398 soil samples from the Mongolian Soil Information System (MOSIS-5). Mean percentage error (MPE), root mean square prediction error (RMSPE), and determination coefficient (R^2) were used to assess the prediction accuracy of these 5 PTFs. Organic matter content of soil samples is between 0.02% and 11.3%, and texture is mainly loam and sandy loam. Observed soil bulk density is between 0.44 - 2.18 g/cm³ and an average of 1.25 g/cm³. The MPE results show that all 5 models have a good prediction of soil bulk density (<20%), and the model developed by Tomasella and Hodnett (1998) (PTF-4) have higher prediction accuracy (MPE=2.29%). Also, PTF-4 models forecast accuracy was the highest with PTF-1 on the basis of RMSPE (0.22). Although MPE and RMSPE values show PTF-5 was lower prediction accuracy, R^2 was high with 51.6%. Based on the overall results of validation, PTF-4 have good predictions, could be applied for the soils in Mongolia.

Түлхүүр үгс: Хөрсний эзлэхүүн жин, хөрсний органик нүүрстөрөгч, педотрансфер функц

Оршил

Хөрсний судалгааны үр дүнгийн өгөгдлийг ашиглан, тооцоолж, хөрсний зарим шинж чанарыг урьдчилан таамагладаг функцийг педотрансфер функц (pedotransfer PTF) гэнэ. Анх педотрансфер функц нь хөрсний гидравлик шинж чанарыг урьдчилан таамаглахаар боловсруулагдсан боловч сүүлийн жилүүдэд хөрсний хими, физик, биологийн шинж чанарыг урьдчилан таамаглахаар улам хөгжүүлсээр байна. Олон судлаачид хөрсний голлох шинж чанарын үзүүлэлтүүд дээр тулгуурлан педотрансфер функц ашиглан хөрсний эзлэхүүн жинг тооцоолон гаргасан судалгаа хийсэн байдаг. Хөрсний эзлэхүүн жингийн үзүүлэлт нь хөрсний органик болон үржил шимийн элементүүдийн нөөц, чийгийн нөөц, мөн байгаль орчны хохирол тооцоход гол үзүүлэлт болдог. Иймээс хээрийн судалгааны үед хөрсний эзлэхүүн жингийн дээж

авагдахгүй орхигдох тохиолдол гарах нь тооцоон дээр хүндрэл учруулдаг. Мөн 2000 оноос өмнөх хөрсний ихэнх судалгааны тайланд хөрсний эзлэхүүн жингийн үр дүн бараг байдаггүй нь хөрсний шинж чанарын харьцуулсан судалгаа хийхэд бэрхшээл үүсгэдэг. Энэхүү судалгаагаар лабораторид хийгдсэн шинжилгээний үр дүн дээр үндэслэн, урьд өмнө боловсруулагдсан олон янзын педотрансфер функц ашиглан гаргасан эзлэхүүн жинтэй харьцуулж, манай орны хөрсний онцлогт тохирох загварыг баталгаажуулах, цаашид ашиглах зорилготой. Педотрансфер функц ашиглан хөрсний эзлэхүүн жинг тооцоолж гаргах нь цаг хугацаа хэмнэсэн, үр дүнтэй арга юм.

Судлагдсан байдал

Хөрсний эзлэхүүн жин, хөрсний шинж чанаруудын хоорондын хамаарлыг шууд

тайлбарлах боломжгүй ч, хөрсний ширхэгийн бүрэлдэхүүн, органикийн агууламжтай холбож тайлбарлаж болно [Canarache.,1990]. Органикийн агууламж харьцангуй их хөрсний дээд үе давхаргад хөрсний эзлэхүүн жин 0.8-1.2 гр/см³, хөрсний доод үе давхаргуудад 1.4-1.6 гр/см³ хооронд хэлбэлздэг [Vasiliniuc & Patrice., 2015]. Хөрсний хими болон физик үзүүлэлтүүдээс эзлэхүүн жинг урьдчилан таамаглан олдог маш олон загваруудыг боловсруулсан байдаг [Curtis & Post, 1964; Adams, 1973; Alexander, 1980; Huntington, 1989; Manrique & Jones, 1991, Tomasella & Hodnett, 1998; Benites et al; 2007]. Adams (1973) болон Tomasella, Hodnett (1998) нарын педотрансфер функц нь органикийн агууламж өндөртэй ойн хөрсөнд зориулагдсан функц ба органикийн агууламж багатай хөрсөнд сул хамаарлыг үзүүлсэн. Manrique (1991), Alexander (1980) нар олон хэвшинжийн хөрснүүдтэй томоохон мэдээллийн сан дээр суурилж, 19 загвараар харьцуулан хөрсний эзлэхүүн жинг урьдчилан тооцоолсон нь үр дүнтэй судалгаа болсон. Manrique болон Jones нарын педотрансфер функц нь дитерминацийн коэффициент 0.5-0.6, дундаж алдаа 0.11-0.17 гр/см³ байв. Судлаачдын судалгааны үр дүнгээс харахад хөрсний эзлэхүүн жин нь органик нүүрстөрөгчийн агууламж, болон хөрсний ширхэгийн бүрэлдэхүүнээс хамаардаг (Adams, 1973; Manrique & Jones, 1991, Federer et al., 1993; Tomasella & Hodnett, 1998) мөн хөрсний гүн болон хөрсний хэвшинж, газар ашиглалт, ургамалжилтаас хамаардаг (Alexander, 1980; Manrique & Jones, 1991,) болохыг харуулсан байдаг.

Хөрсний үржил шимийн чухал үзүүлэлт болох ялзмагтай хөрсний эзлэхүүн жин нь 30-50% хамааралтай байсан ба органик ихтэй хөрсөнд бага утгыг заасан [Ruehlmann & Korschens., 2009].

Судалгааны аргазүй

Хөрсний мэдээллийн сан: Монгол орны хөрсний мэдээллийн сангаас [MOSIS., 2018] хөрсний бүлэг, хэвшинж бүрээс төлөөлөл болгон 398 үе давхаргын эзлэхүүн жин, ялзмаг, органик нүүрстөрөгч, ширхэгийн бүрэлдэхүүний дүнг сонгон авсан.

Лабораторийн задлан шинжилгээний арга: Хөрсний мэдээллийн санд байгаа хөрсний эзлэхүүн жин нь лабораторид цилиндрийн аргаар (core method) хийгдсэн үр дүн юм. Энэ арга нь олон улсад хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг. Хээрийн нөхцөлд эзлэхүүн жинг тусгай зэвэрдэггүй төмрөөр хийсэн тодорхой эзлэхүүнтэй цилиндрийн тусламжтайгаар авч лабораторид 105⁰С –д 6-10 цаг хатаах шүүгээнд хийн хатааж, жингийн аргаар тооцоолдог арга юм. Хөрсний органик нүүрстөрөгч, ялзмагийг И.В.Тюрины аргаар, ширхэгийн бүрэлдэхүүнийг олон улсын арга болох гидрометрийн аргаар (hydrometer method) тодорхойлсон.

Педотрансфер функц: Хөрсний педотрансфер функц ашиглан боловсруулсан тооцооллын олон янзын загваруудаас дараах нийтлэг ашигладаг 5 загварыг сонгон хөрсний эзлэхүүн жинг бодуулж үзсэн (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Хөрсний педотрансфер функцууд, тэгшитгэл

Педотрансфер функцууд (алгоритм)		Код
Adams, 1973	$Bd = 100 / [(OM / 0.224 + (100 - OM) / 1.27)]$	PTf-1
Alexander, 1980	$Bd = 1.66 - 0.308 \times OC^{0.5}$	PTf-2
Manrique & Jones, 1991	$Bd = 1.510 - 0.113 \times OC$	PTf-3
Tomasella and Hodnett, 1998	$Bd = 1.578 - 0.054 \times OC - 0.006 \times S - 0.004 \times C$	PTf-4
Hollis et al., 2012	$Bd = 0.38502 + (1.04817 \times \exp(-0.070638 \times OC) + (0.00090 \times N) - (0.000715 \times C)$	PTf-5

PTf-1. Чулуугүй, бүтэцгүй чандруулаг хөрсний органик болон эллювийн давхаргын органикийн агууламжийг хөрсний эзлэхүүн жинтэй хамааруулж бодуулсан функц.

PTf-2. Өндөр уулын органикийн агууламж багатай, чулууны агууламжтай Калифорний 721 хөрсний шинжилгээний үр дүнгээс бодуулж гаргасан функц.

PTf-3. АНУ, Пуэрто-Рико болон бусад улс орнуудын янз бүрийн хэвшинжийн 12000 орчим хөрсний мэдээллийг ашиглан гаргасан функц.

PTf-4. Хөрсний органикийн агууламж, шаврын агууламж нэмэгдэх тусам хөрсний эзлэхүүн жин буурдаг гэсэн зүй тогтол дээр үндэслэн Бразилийн 113 хөрсний үе давхаргын мэдээллээс бодуулж гаргасан функц.

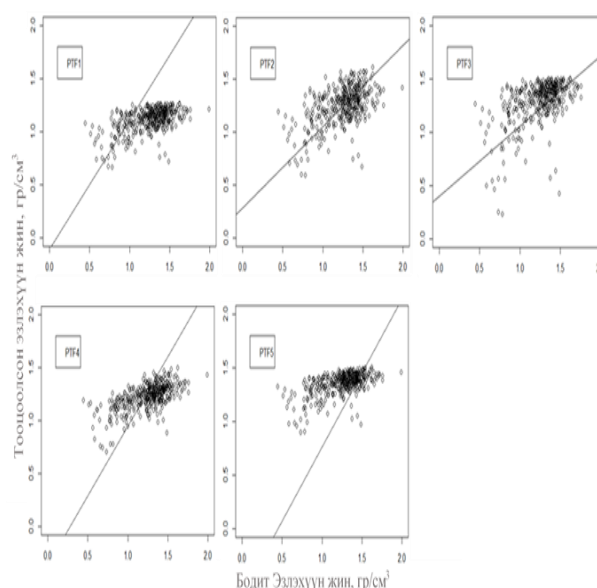
PTf-5. Tomasella, Hodnett нар Амазоны сав газрын хөрсний органик нүүрстөрөгч, элс, тоос, шаврын агууламж болон хөрсний бусад үзүүлэлтүүдтэй хөрсний эзлэхүүн жинг хамааруулж сайн тооцсон функц.

Педотрансфер функцуудын тооцооллын үнэмшлийг шалгах үзүүлэлтүүд: Хөрсний эзлэхүүн жинг тооцоолсон педотрансфер функцуудын үнэмшлийг шалгахдаа таамаглалын алдааны квадрат дунджийн язгуур (RMSPE), хувиар тооцсон дундаж алдаа (MPE), дитерминацын коэффициент (R^2) аргуудыг ашигласан.

$$MPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{a_t - f_t}{a_t} \right) \quad (1)$$

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(a_t - f_t) - MPE]^2} \quad (2)$$

Энд: a_t – лабораторид шинжилж тогтоосон бодит эзлэхүүн жингийн утга, f_t педотрансфер функцаар тооцоолсон эзлэхүүн жингийн утга. MPE болон RMSPE-н утгууд бага байх тусам педотрансфер функцуудын тооцооллын нарийвчлал сайн байна харин R^2 утга их байх тусам тооцооллын үнэмшил их байна [Benites et al., 2007].



Зураг 1. Бодит эзлэхүүн жин, 5 янзын функц ашиглан тооцоолон гаргасан эзлэхүүн жингийн хамаарал

Судалгааны үр дүн

Хөрсний мэдээллийн сангаас сонгон авсан хөрснүүдийн ширхэгийн бүрэлдэхүүнд дундаж утга элс (2-0.05мм) 54.75%, тоос (0.05-0.002мм) 31.86%, шавар (<0.002мм) 13.39% буюу ширхэгийн бүрэлдэхүүний нэршилээр хөнгөн шавранцар байна.

Монгол орны говь цөл, хээр, уулын хээр, голын татам, ой тайга, өндөр уулын бүх бүлгийн хөрсний төлөөллийг харуулахыг зорьсон бөгөөд сонгон авсан хөрснүүдийн органикийн агууламж 0,022-11,336% хооронд, эзлэхүүн жин 0.44-2.18 гр/см³ хооронд байна (Хүснэгт 2).

Судалгаанд ашигласан педотрансфер функцуудын үнэмшлийг 3 шалгуур үзүүлэлтүүдээр шалган хооронд нь харьцуулан харууллаа (Хүснэгт 3). Хувиар тооцсон дундаж алдаа (MPE) Tomasella болон Hodnett (1998) нарын функцын хувьд хамгийн бага буюу 2.29% байна. Харин Hollis et al., (2012) нарын педотрансфер функц хамгийн их 13.17% байна.

Хүснэгт 2. Хөрсний статистик үзүүлэлтүүд

Статистик утга	Элс, % (2-0.05мм)	Тоос, % (0.05-0.002мм)	Шавар, % (< 0.002мм)	Органик нүүсртөрөгч, %	Эзлэхүүн жин, гр/см ³
Min	13.27	2.05	4.94	0.022	0.44
Max	84.97	60.72	26.01	11.336	2.18
Mean	54.75	31.86	13.39	1.933	1.25
Median	2.42	1.40	54.24	12.105	1.31
St dev	11.99	9.48	4.29	1.746	0.25

Хүснэгт 3. Педотрансфер функцуудын үнэмшлийг шалгах үзүүлэлтүүдийн харьцуулалт. (n=378)

№	Алгоритм	MPE, %	RMSPE	R ² , %
PTf-1	$Bd = 100 / [(OM / 0.224 + (100 - OM) / 1.27)]$	7.29	0.22	48.7
PTf-2	$Bd = 1.66 - 0.308 \times OC^{0.5}$	3.94	0.23	48.4
PTf-3	$Bd = 1.510 - 0.113 \times OC$	6.85	0.25	46.5
PTf-4	$Bd = 1.578 - 0.054 \times OC - 0.006 \times S - 0.004 \times C$	2.29	0.22	59.2
PTf-5	$Bd = 0.38502 + (1.04817 \times \exp(-0.070638 \times OC) + (0.00090 \times N) - (0.000715 \times C))$	13.17	0.29	51.6

MPE-н шалгуурын хувьд 20%-с бага тохиолдолд сайн таамаглал гэж үздэг [Lewis., 1982] ба энэ судалгаанд ашигласан 5 хувилбарын педотрансфер функцууд MPE шалгуурын хувьд бүгд сайн таамагласан ангилалд багтаж байна.

Таамаглалын алдааны квадрат дунджийн язгуур (RMSPE)-н утгууд бүх педотрансфер функцуудын хувьд ойролцоо утгатай (0.22-0.29) байна.

Эдгээрээс хамгийн бага буюу сайн тооцоолсон хувилбар нь PTf-1 болон PTf-4 ба адилхан 0.22 утгатай байна. MPE-тай адилаар RMSPE-н утга PTf-5 хувилбар дээр хамгийн их буюу 0.29 байна. Дитерминацын коэффициентын утгуудыг авч үзэхэд PTf-4 хувилбар дээр хамгийн их 59.2% байгаа бол PTf-3 хувилбар дээр хамгийн бага байна. Бусад үнэмшлийн шалгуур үзүүлэлтээр

хамгийн тааруу таамагласан хувилбар болох РТf-5 шалгуур дитерминацын коэффициентын утга бусад хувилбараасаа их 51.6% байна.

Үнэмшлийн шалгуур үзүүлэлтүүдээс үзэхэд РТf-4 хувилбар бусад педотрансфер функцуудын хувилбаруудаас хамгийн үнэмшил сайтай гэж үнэлэгдэж байна.

Хэлэлцүүлэг

Педотрансфер функц ашиглан хөрсний эзлэхүүн жинг тооцохдоо Монгол орны бүх хэвшинжийн хөрсөнд хэрэглэх боломжгүй юм.

Монгол орны хөрсний онцлог бол чулууны агууламж ихтэй хөрс байдаг. Чулуу болон органикийн агууламжаас хөрсний эзлэхүүн жин шууд хамаардаг. Тиймээс тухайн хөрсний хими, физик шинж чанарын онцлогоос хамаарч педотрансфер функцийг болгоомжтой ашиглах хэрэгтэй.

Цаашид хөрсний органик, ширхэгийн бүрэлдэхүүнээс гадна хөрсний гол үзүүлэлт болох чулууны агууламжийг тооцсон Монгол орны хөрсний онцлогт тохирсон хөрсний педотрансфер функцын тэгшитгэл боловсруулж хөгжүүлэх хэрэгтэй.

Дүгнэлт

Хөрсний органик нүүрстөрөгч болон ширхэгийн бүрэлдэхүүнээс хөрсний эзлэхүүн жинг урьдчилан тооцоолдог 5 янзын алгоритм тэгшитгэлээс тооцон гаргасан хөрсний эзлэхүүн жинг лабораторид хэмжсэн хөрсний эзлэхүүн жингийн дүнтэй харьцуулав.

Үнэмшлийн шалгуур үзүүлэлтүүдээс үзэхэд РТf-4 [Tomasella & Hodnett., 1998] хувилбар бусад педотрансфер функцуудын хувилбараас хамгийн

үнэмшил сайтай гэж үнэлэгдэж байна. Хөрсний органикийн агууламж өндөртэй хөрс, эсвэл органикийн агууламж ихтэй хөрсний дээд үе давхаргад РТf-4 хувилбарыг түлхүү ашиглаж эзлэхүүн жинг тооцох нь илүү тохиромжтой.

Талархал

Энэхүү судалгааны ажлыг доктор О.Батхишигийн удирдаж буй “Хөрсний органик нүүрстөрөгчийн өөрчлөлт, түүнд нөлөөлөх хүчин зүйлс” суурь судалгааны төслийн хүрээнд гүйцэтгэв. Тус судалгааг хийж гүйцэтгэхэд тусалсан салбарынхаа хамт олонд талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН БҮТЭЭЛ

1. Alexander, E.B., 1980. Bulk densities of California soils in relation to other soil properties. Soil Science Society of America Journal, 44, 689-692.
2. Benites, V.M., Machado, P.L.O.A., Fidalgo, E.C.C., Coelho, M.R. & Madari, B.E., 2007. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. Geoderma, 139, 90-97
3. Canarache, A., 1990. Physics of agricultural soils (in Romanian). Ed. Ceres, Bucureşti. 268 pp.
4. Ionuț vasiliniuc¹ & Cristian valeriu patriche. 2015. Validating soil bulk density pedotransfer functions using a Romanian dataset. Carpathian journal of earth and environmental sciences, no. 2, p. 225 – 236
5. Vinícius m. Benites, Pedro l.o.a. Machado, Elaine c.c. Fidalgo. 2007. Pedotransfer functions for

estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. Science direct. P 90-97

6. Ruehlmann, J. & Korschens M., 2009. Calculating the effect of soil organic matter concentration on soil bulk density. Soil. Sci. Soc. Am. J., 73, 876-885.

