

# ХӨРСНИЙ ДУЛААН ДАМЖУУЛАЛТЫН КОЭФФИЦИЕНТИЙГ ТООЦОХ НЬ

З. Мөнхцэцэг<sup>1</sup>, Г. Чулуунбаатар<sup>1</sup>, Ё. Амарбаясгалан<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Монгол Улсын Их Сургууль, Хэрэглээний шинжлэх ухаан, инженерчлэлийн сургууль

<sup>2</sup>Цэвдэг судлалын салбар, Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн

## Хураангуй

Хөрсний температур нь тухайн газрын гадаргын температур болон хөрсний физик шинж чанараас хамааран газрын гүн рүү ямар зүй тогтолтойгоор шилжиж байгааг физик процесст нь тулгуурлан загварчилж тооцоолсноор хөлдөлт/гэсэлтийн гүн болон газрын гүний температурын орон зайн тархалт, уур амьсгалын өөрчлөлт гэх мэт бусад нөлөөллийг тооцох боломж бүрдэх юм. Үүнд хөрсний дулаан дамжуулах чадвар гол параметруудын нэг бөгөөд түүний хэмжилтийн мэдээ материал дутмаг байдаг билээ. Тиймээс энэхүү судалгаагаар хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициентийг “Van Rooyen & Winterkorn”, “Johansen”, болон “Kersten” нарын аргаар тооцож тооцооллын үр дүнг Улаанбаатараас зүүн урд зүгт 28 км, Налайхын бүсэд өрөмдсөн 2 цооногт хийсэн хөрсний дулаан дамжуулалтын хэмжилтийн утгатай харьцуулж үнэлэв. Хөрсний дулаан дамжуулалт нь түүний механик бүрэлдэхүүн, чийгшилт, нягт зэргээс ихээхэн хамаардаг. Тооцооллын үр дүнгээс хөрсний чийгшилт, нягт нь дулаан дамжуулалтын коэффициентийг тооцоолох чухал үзүүлэлт болж байна.

## Оршил

Хөрсөнд дулаан энергийн тархалт кондуктив, конвектив ба цацаргалтын дулаан солилцооны үндсэн дээр явагддаг. Кондуктив дулаан солилцоо гэдэг нь үргэлжилсэн орчин ба түүний заагууд дээр дулааны энерги молекулын хөдөлгөөнөөр дамжин шилжихийг, конвектив дулаан дамжуулалтын үед газрын хөрсний ан цав, нүх сүвд байгаа ус, агаар, холбоот ус, төрөл бүрийн ууссан бодисууд чөлөөт юмуу эсвэл албадмал байдлаар конвеклох, диффузилэх замаар явагддаг. Харин цацаргалтаар дамжих дулаан солилцоо нь хөрсний ан цав, нүх сүв дэх температурын зөрүүгээр үүсдэг байна (Ганболд, О., Омбоо, З., Цэрэн, Ч, 1988). Энэхүү энергийн тархалт хөрсний физик шинж чанаруудын нэг чухал үзүүлэлт болох дулаан дамжуулах чадвараас хамаарах бөгөөд энэ нь инженер, экологи, уур амьсгал, хөдөө аж ахуй гэх мэт олон салбарт гол мэдээлэл болдог (Lajos, 2008). Дулаан дамжуулах чадвар нь хөрсөнд энерги хэрхэн шилжихийг тодорхойлдог хэмжигдэхүүн юм. Хөрсний дулаан дамжуулах чадварыг хөрсний дээж дээр хэмжилт хийх мөн тооцон бодох замаар тодорхойлж болно.

Хөрсний дулаан дамжуулалтанд чийгшил болон чулуулгийн нягт ихээхэн нөлөөлдөг бөгөөд хоорондоо шууд хамааралтай байдаг байна (Brian, 1997). Өөрөөр хэлбэл чийгшил, нягт нэмэгдэхийн хирээр дулаан дамжуулах чадвар нэмэгдэнэ.

Монгол орны газар нутгийн 63 хувьд олон жилийн цэвдэг алаг цоог байдалтай тархсан байдаг ба ул хөрс, чулуулаг улирлаар гүн хөлдөж гэсдэг байна (Төмөрбаатар, 2004).

Ул хөрсний чийгжилт, бүтэц бүрэлдэхүүн адилгүйгээс түүний гэсэлтийн гүн янз бүр байна. Энэхүү судалгаанд Налайхын талбайд өрөмдсөн 50 м-ийн гүнтэй 2 цооногийн хэмжээнд мөнхцэвдэг хөрсний мөсжилт, гэсэлтийн чөлөөт суулт, дулаан техникийн үзүүлэлт болох дулаан дамжуулалт, дулаан багтаамж, улирлын гэсэлтийн гүн, мөнхцэвдгийн зузаан,

байгалийн чийг, гэсгэлэн хөрсний дулаан техникийн үзүүлэлт, эзэлхүүн жин зэргийг тодорхойлсон мэдээ материалыг ашиглав. Аналитик аргаар тооцсон дулаан дамжуулалтын коэффициентийг хэмжилтийн мэдээтэй харьцуулсан болно.

#### Судалгааны талбай, ашигласан мэдээ

Энэхүү судалгаанд 2014.07.06-аас 2014.8.4-ний хооронд Я.Жамбалжав, Ё. Амарбаясгалан (2014) нарын хийсэн өрөмдлөг судалгааны ажлаар 50 м-ийн гүнтэй гурван цооног гаргаж байгалийн чийг 162 дээжинд, эзэлхүүн жин 102 дээжинд, гэсэлтийн чөлөөт суулт 27 дээжинд, хөрсний дулаан техникийн үзүүлэлт болох дулаан дамжуулалт, дулаан багтаамж 151 дээжинд тус тус хийж тодорхойлсон мэдээ материалыг ашиглав. Дулаан дамжуулах чадварыг АНУ-ын DECAGON DEVICES, Inc-д үйлдвэрлэсэн KD2 Pro багажийг TR-1, SH-1 сенсоров хамт ашиглан хээрийн нөхцөлд өрөмдөлтөөр гарч ирсэн дээжинд шууд хэмжих аргаар тодорхойлсон байна (Амарбаясгалан, Ё ба Жамбалжав, Я, 2014). Судалгааны бүсийн хурдасны физик механик шинж чанарыг хээрийн ба суурин лабораторийн аргаар тодорхойлосноос үзвэл 1-р цооног 0-0.5 метрт шавранцар ул хөрсний чийгшил 11.8-10.2%, эзэлхүүн 1.8-2.1 г/см<sup>3</sup> бол түүнээс доош гүнд хайрга, шавранцар чигжээстэй хайрга зонхилж чийгшилт буурч эхэлсэн байна. 2-р цооногийн элсэнцэр шавранцар хөрсний чийгшилт 5-22% бөгөөд эзэлхүүн жин нь 1.7-2.2 г/см<sup>3</sup> байна. 3-р цооногийн хувьд тоосорхог шавранцар, элсэн чигжээстэй хайрга зонхилох бөгөөд чийгшилт 5-22% эзэхүүн жин 1.6-1.9 г/см<sup>3</sup> байна (1 дүгээр хүснэгт).

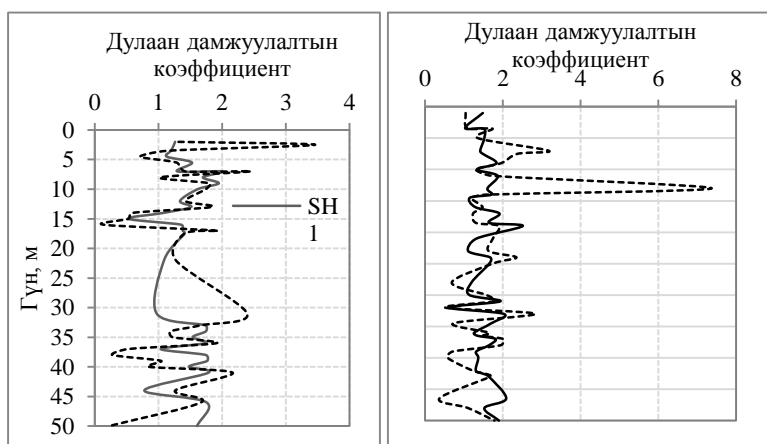
#### 1 дүгээр хүснэгт. Судалгааны муж дахь 3 цооногийн мэдээлэл

Гүн /метр/	Ул хөрсний зүсэлтийн бичиглэл: Цооног-1
0.00 - 05	Ургамлын үндэстэй хар хүрэн өнгийн шавранцар
0.5 - 1.8	Шаргал өнгийн элсэн чигжээстэй хайрга
1.8 - 2.3	Улаан хүрэн өнгийн шавранцар чигжээстэй хайрга
2.3 - 4.5	Улаан хүрэн өнгөтэй шавар /2.5 м –ээс хөлдүү илрэв/. Массив текстуртай
4.5 – 8.0	Хүрэн бор элсэнцэр чигжээстэй хайрга /5.0 - 5.5 м-ийн хооронд массив криотекстуртай шавранцарын үетэй, 7.0 -7.3 м-ийн хооронд шаргал өнгийн шаврын үетэй /массив текстуртай/
8.0 -10.0	Шаргал өнгийн элсэн чигжээстэй торлог текстуртай хайрга, мөсний зузаан 3.0 – 6.0 мм, 9.5 м-т 15 см зузаантай массив текстуртай шаварын бичил үетэй, 10.0 -10.5 м: 20 см-т 1 ширхэг 1-2 мм орчим мөсний судал үе бүхий бага зэрэг хайргатай саарал өнгийн шавар
10.5 – 11.0	Хөлдүү массив текстуртай хайргатай шаргал өнгийн бүдүүн ширхэгтэй элс
11.0 – 13.0	Шаргал өнгийн элсэн чигжээстэй массив криотекстуртай хайрга
13.0 -15.0	Саарал өнгийн элсэнцэр /массив криотекстуртай, шаргал өнгийн элсэн чигжээстэй хайрга/ 14.5 -14.8 м-т бор саарал өнгөтэй шавар, 14.8-15.0 м-т шаргал өнгийн элсэн чигжээстэй, массив текстуртай хайрга
15.0 – 31.0	Хөх саарал өнгийн хайргатай нягт массив текстуртай шавар элс, хайрга үелэж явна
31.0 – 31.5	Усны үе
31.5 - 39.0	Шавранцар элсэнцэр чигжээстэй хайрга
39 – 46.0	Шавранцар чигжээстэй хайрга, хайргатай шавранцарын үетэй, хөлдүү нь үл мэдэгдэнэ.

Гүн /метр/	Ул хөрсний зүсэлтийн бичиглэл: Цооног-3
0.0 – 2.0	Ургамалт үетэй хүрэн бор өнгөтэй тоосорхог шавранцар
2.0 - 3.0	Хүрэн өнгөтэй шавранцарт бичил үеүдтэй тоосорхог элсэн чигжээстэй хайрга

3.2 – 5.5	Хүрэн бор өнгийн ганц нэг хайрга агуулсан шавар 3,4 м орчим хөлдүү байв. Хөлдүү хөрс нь массив текстуртай. Гэвч 4 м-ээс доош гэсгэн болж ирэв. 5,5 м –ээс элсэн чигжээстэй маш нягт хайргатай
5.5 - 6.5	Шаргал өнгийн элсэн чигжээстэй хайрга
6.5- 12.5	Шаргал өнгийн шавранцар чигжээстэй хайр, хайрга, (хөлдүү байх боломжтой гарч ирэхдээ гэсэж гарч ирнэ) 10-15 см орчим зузаантай хөх саарал өнгөтэй шаварт бичил үетэй. Энэ үед хөлдүү харагдахгүй
12.5 – 14.0	Хөлдүү хөх саарал өнгийн шавранцар чигжээстэй хайрга. (хөлдүү 2 ширхэг моноклит дээж авав.) Мөсний үе харагдахгүй. Хайргатай хөх саарал өнгийн шаврын бичил үеүдтэй
14.0 – 16.0	Шаргал өнгийн шавранцар чигжээстэй хайр, хайрга
16.0 – 17.0	Хатуу консисгенцтэй хөх саарал шавар. Хөлдүү гэсгэн нь үл мэдэгдэнэ
17.0 – 18.0	Бага зэрэг хайрга агуулсан хүрэн бор өнгийн шавранцар
18.0 – 18.5	Хайрга төст саарал өнгөтэй шавранцар.
18.5 – 20.8	Хайрга агуулсан улаан хүрэн өнгөтэй тоосорхог элс.
20.8 – 22.0	Хөх саарал шавар
22.0 - 23.0	Хайргатай бор саарал өнгийн шавранцар, улаан хүрэн өнгийн хайргатай тоосорхог шавранцарт үетэй
23.0 – 23.5	Шаргал өнгийн элсэнцэр чигжээстэй хайрга
23.5 - 25.0	20 см орчим бүдүүн ширхэгтэй элсний үетэй хайргатай. Шаргал өнгийн хатуу консисгенцтэй шавранцар
25.0 – 26.0	Саарал өнгийн элс, шавранцар, хайрга үелсэн
26.0 – 30.0	Саарал өнгийн шаврын бичил үетэй, улаан өнгийн элсэнцэр чигжээстэй хайр, хайрга.
30.0 – 35.0	Ганц нэг хайрга агуулсан бор саарал өнгийн хатуу шавар. 32.0 – 34.0 м- ийн хооронд хайргын агууламж нэмэгдэнэ
35.0 – 39.0	Хөх саарал өнгөтэй шавар, элс хайргатай. (хайрга сөөлжилнө)
39.0 – 40.0	Улаан хүрэн өнгийн элсэн чигжээстэй хайрга
40.0 – 46.5	Хөх саарал өнгийн элс, элсэнцэр шавранцар чигжээстэй хайрга
46.5 – 48.0	Шаргал өнгийн тоосорхог элсэн чигжээстэй хайрга, 10 см хүрэн бор өнгийн шаварт үетэй
48.0 – 50.0	Хөх саарал өнгийн элсэнцэр чигжээстэй хайрга

Дулаан дамжуулалтын коэффициентийг TR-1 болон SH-1 сенсоруудад хэмжиж тогтоосон байна. Дээрх 2 цооногуудад газрын гадаргаас 50 м хүртэлх гүнд хэмжилтийг хийж гүйцэтгэжээ (1 дүгээр зураг).



**1 дүгээр зураг.** Судалгааны гурван цооногт газрын гадаргаас 0-50 м-т SH1 болон TR1 сенсороор хэмжсэн дулаан дамжуулалтын коэффициентийн утга

## Судалгааны арга зүй

### Хэмжилтийн мэдээнд хийсэн анализ

Судалгаанд авч ашиглаж буй 2 цооногийн ул хөрсний дулаан дамжуулалтыг хоёр багажаар хэмжиж тодорхойлсон учир хэмжилтийн хоёр дүнг хоорондоо төсөөтэй эсэхийг таамаглалаар шалгав. Өөрөөр хэлбэл нэг хэмжигдэхүүнийг хэмжсэн тул түүнийг нэг эх олонлог гэж үзнэ. Таамаглалыг хүлээн авах эсвэл няцаах шийдвэрийг өгдөг дүрмийг таамаглал шалгах шинжүүр гэж нэрлэнэ (Бямбажав, 1999). Энд таамаглал шалгах шинжүүрт  $F$  шалгуурыг авч үзэв.

$$H_0: \sigma_1 = \sigma_2 \quad H_a: \sigma_1 \neq \sigma_2$$

Хоёр түүврийн аль их утгатай стандарт хазайлтыг багад нь харьцуулж босго утгатай харьцуулснаар таамаглалыг хүлээн авах эсвэл няцаана (Moore, DS., McCabe, GP and Craig, BA, 2009).

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$$

### Дулаан дамжуулалтыг тооцох тухай

Хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициентийг тооцдог хэд хэдэн аргууд байдаг байна. Үүнд:

Johansen-ны + 64,7 арга (1975). Дулаан дамжуулах чадварыг тооцоолох аргын нэг болох Johansen арга нь хөрсний бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн ширхэгийн бүрэлдэхүүнээс хамааруулсан арга юм.

$$k = k_c(k_{хан} - k_{хуу}) + k_{хуу}$$

$$k = \frac{0.135\gamma_d + 64.7}{2700 - 0.947\gamma_d}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w}$$

Энд:

$k$  - дулаан дамжуулалтын коэффициент, Вт/м °С

$\gamma_d$  - ул хөрсний эзэлхүүн жин

$k_c$  - Kersten-ий тоо

$k_{хан}$  - ханасан төлөв дэх дулаан дамжуулалтын коэффициент

$k_{хуу}$  - хуурай төлөв дэх дулаан дамжуулалтын коэффициент

$\gamma_d$  - хуурай хөрсний эзэлхүүн жин, кг/м<sup>3</sup>

$\gamma_t$  - эзэлхүүн жин кг/м<sup>3</sup>

Kersten-ний аргаар (1949) шаварлаг хөрсөнд дараах байдлаар тодорхойлно.

$$k = 01442[0.9\log w - 0.2]10^{0.6243\gamma_d}$$

$$k = 0.001442(10)^{1.373Y} + 0.01226(10)^{0.4994Yd_w}$$

Харин элсэрхэг хөрсөнд

$$k = 0.1442[0.7 \log w + 0.4]10^{0.6243Yd}$$

$$k = 0.01096(10)^{0.8116Y} + 0.00461(10)^{0.9115Yd_w}$$

Энд:

$k$  - дулаан дамжуулалтын коэффициент, Вт/м °С

$w$  - чийгийн агууламж, %

$Yd$  - хуурай хөрсний эзэлхүүн жин, кг/м<sup>3</sup>

$Y_t$  - эзэлхүүн жин кг/м<sup>3</sup>

## Үр дүн

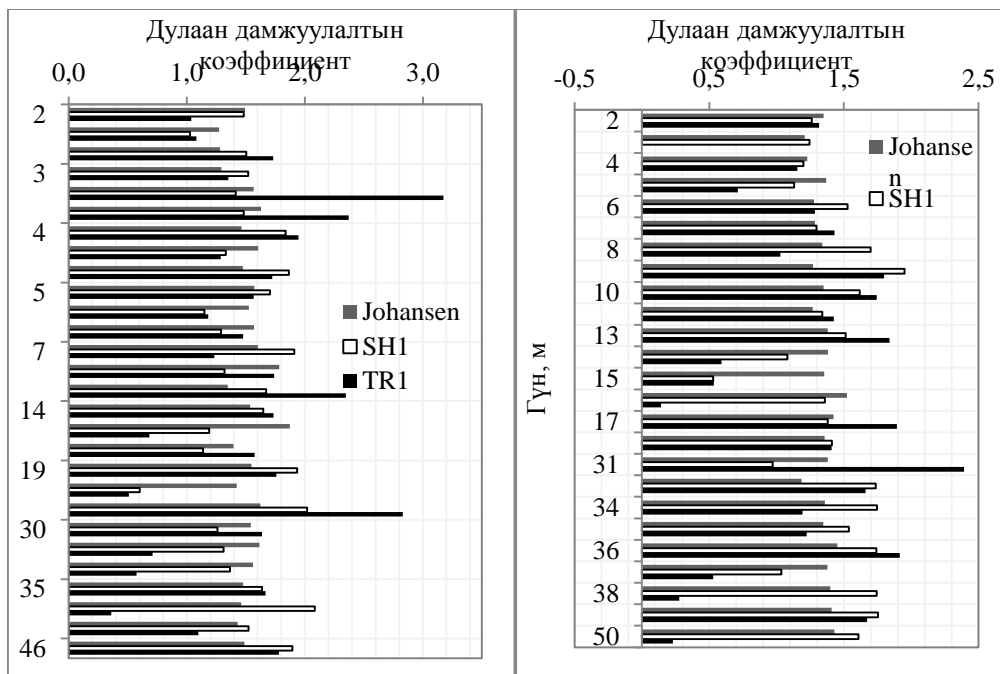
Юуны өмнө дулаан дамжуулах чадварыг ялгаатай багажуудаар (SH1 болон TR1) хэмжсэн утгуудад статистик анализ хийв (2 дугаар хүснэгт).

**2 дугаар хүснэгт. SH1 Болон TR1 сенсороор хэмжсэн дулаан дамжуулах коэффициентуудын утгад хийсэн статистик шинжилгээний үр дүн**

Статистик үзүүлэлт	SH1 sensor	TR1 sensor
<i>Цооног 1</i>		
Дундаж	1.45	1.40
Хазайц	0.15	0.64
Хэмжилтийн тоо	41	41
F	0.23	
P(F<=f)	0.00	
<i>Цооног 3</i>		
Дундаж	1.54	1.68
Хазайц	0.12	1.29
Хэмжилтийн тоо	37	37
F	0.095046	
P(F<=f)	8.27E-11	

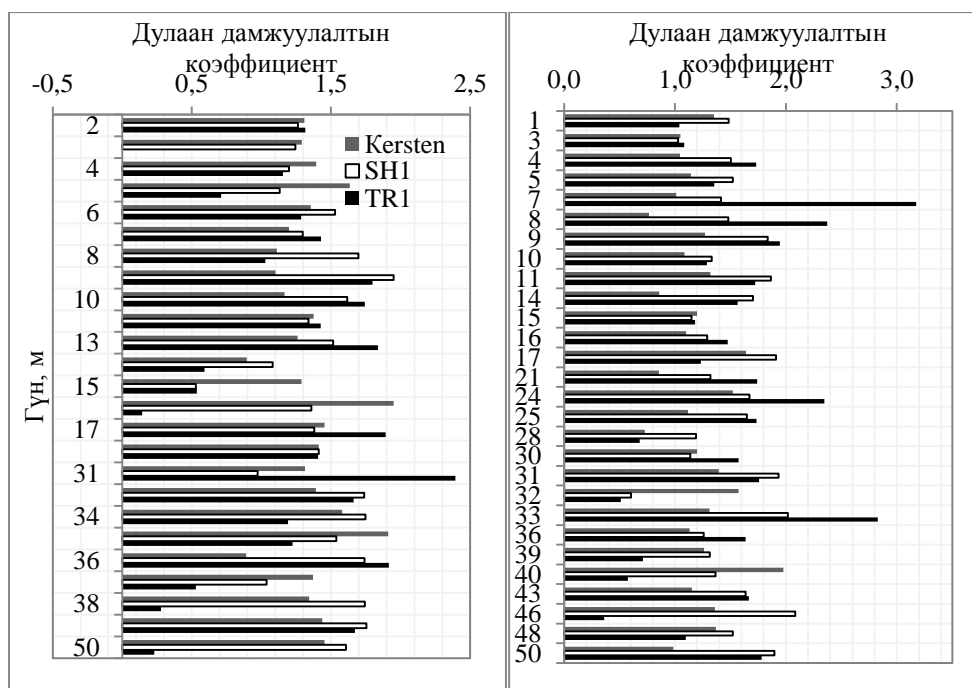
Статистик өгөгдлөөс харахад тархалтын хувьд хоёр сенсороор хэмжсэн өгөгдөл ижил гэж тодорхойлогдов. Харин TR 1 сенсороор хэмжсэн хэмжилтийн хазайлт 1.29 буюу 0.5-аас их тодорхойлогдсон тул тооцсон дулаан дамжуулалтын коэффициентийг хэмжилтийн мэдээтэй харьцуулж алдааг тооцохдоо SH1 сенсороор хэмжсэн мэдээллийг ашиглах нь тохиромтой гэж үзэв.

Johansen-ны аргаар Цооног 1 ба 3-р цооногт дулаан дамжуулалтын коэффициентийг тооцож хэмжилтийн мэдээтэй харьцуулав (2 дугаар зураг).



2 дугаар зураг. Цооног 1 ба 3-т Johansen аргаар тооцсон болон SH1, TR1 сенсороор хэмжсэн дулаан дамжуулалтын коэффициент

Kersten-ний аргаар Цооног 1 ба 3-р цооногт дулаан дамжуулалтын коэффициентийг тооцож хэмжилтийн мэдээтэй харьцуулав (3 дугаар зураг). Цооног 1-ийн хувьд тооцсон дулаан дамжуулалтын коэффициент 1.19-1.52 Вт/м °С, Цооног 3-т 1.28-1.87 Вт/м °С байна.



3 дугаар зураг. Цооног 1 ба 3 –т Kersten-ий аргаар тооцсон болон SH1, TR1 сенсороор хэмжсэн дулаан дамжуулалтын коэффициент

Ул хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициентийг Налайх дүүргийн орчим дахь 2 цооногийн эзэлхүүн жин, чийгшийн хэмжилтийн мэдээгээр Johansen -ний аргаар тооцоход харьцангуй алдаа Цооног 1-т 18.6% , Цооног 3-т 20.5% бөгөөд Kersten-ий аргаар Цооног 1-т 23% Цооног 3-т 25% байна (3 дугаар хүснэгт).

**3 дугаар хүснэгт. Johansen болон Kersten-ий аргаар тооцсон болон хэмжсэн дулаан дамжуулалтын коэффициентийн алдаа**

	Johansen арга		Kersten арга	
	Цооног 1	Цооног 3	Цооног 1	Цооног 3
RMSE (дундаж квадрат алдааны язгуур)	0.4	0.5	0.3	0.3
Дундаж үнэмлэхүй алдаа	0.06	0.3	0.07	0.02
Харьцангуй алдаа	18.6%	20.5%	23%	25%

**Дүгнэлт**

Johansen болон Kersten-ий аргуудаар дулаан дамжуулах коэффициентуудыг тооцохдоо тухайн хөрсний ширхэгийн бүрэлдэхүүн болон хуурай жингийн өгөгдлийг тусган монгол орны хувьд эмпирик коэффициентуудыг зүгшрүүлэх, түүчлэн илүү нарийвчлан судлах шаардлагатай юм.

**Ашигласан ном, хэвлэл**

Brian, F. (n.d.). Soil thermal conductivity: Effects of saturation and dry density. *University of Missouri-Kansas city* .

Farouki, O. (1981). *Thermal properties of soil*. Hanover, New Hampshire: Cold regions research and engineering laboratory.

Lajos, B. (2008). *Soil science*.

Moore, DS., McCabe, GP and Craig, BA. (2009). *Introduction to the practice of statistics*. New York: W.H. Freeman and Company.

Амарбаясгалан, Ё ба Жамбалжав, Я. (2014). Налайх дүүргийн Хонхорын радио дахин дамжуулах станцын зүүн хойд талд баригдах цементний үйлдвэрийн талбайн инженер геокриологийн нөхцөл. *Монгол орны газарзүйн асуудал. ISBN 978-999730-18-5* .

Бямбажав, Д. (1999). *Магадлалын онол. Математик статистик*. Улаанбаатар: Адмон.

Ганболд, О., Омбоо, З., Цэрэн, Ч. (1988). *Хөрсний хөлдөлт гэсэлтийн математик загвар*. Улаанбаатар.

Төмөрбаатар, Д. (2004). *Монгол орны улирлын ба олон жилийн цэвдэг чулуулаг*. Улаанбаатар.

