

Forecasting electricity demand, and peak and base consumptions in Mongolia up until 2030

Bataa, Erdenebat

Economics: Theory and Practice

Published: 01/01/2022

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Cyswllt i'r cyhoeddiad / Link to publication](#)

Dyfyniad o'r fersiwn a gyhoeddwyd / Citation for published version (APA):

Bataa, E. (2022). Forecasting electricity demand, and peak and base consumptions in Mongolia up until 2030. *Economics: Theory and Practice*, 35, 27-48.

Hawliau Cyffredinol / General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

2030 он хүртэлх Монгол Улсын цахилгааны эрэлт, их, бага ачааллын прогноз

Батаагийн Эрдэнэбат

Монгол Улсын их сургууль & NRCC

Редакцид ирүүлсэн: 2021.11.17; Засаж ирүүлсэн: 2022.02.01; Хэвлэхийг зөвшөөрсөн: 2022.02.19

Абстракт: Энэхүү ажлаар Монгол улсын цахилгаан эрчим хүчний эрэлт, их болон бага ачааллыг 2030 он хүртэл прогнозлов. Ингэхдээ Монгол улсын цахилгаан эрчим хүчний эрэлт (нөөц, хуваарилалт), эдийн засгийн ангиллаарх хэрэглээний түүхэн динамикийн онцлогийг тусгалаа. Загварт Монгол улсын хүн амын тоо, эдийн засгийн бодит өсөлт, нэг хүнд ногдох ДНБ, халаалтын хэм сар, цахилгааны үнэ, инфляц, Оюу толгойн бүтээн байгуулалтын мэдээллийг ашиглав. Макро эдийн засаг, хүн амын өсөлт, болон бусад бодлогын хүчин зүйлсийн дундаж прогнозууд дээр суурилбал Монгол Улсын цахилгааны нөөц 2030 он гэхэд 12488.7 гВт.ц., Төвийн бүсийн эрчим хүчний системийн их ачаалал нь 1621.4 гВт.ц., бага нь 717.2 гВт.ц. байхаар прогнозлогдож байна.

Түлхүүр үгс: Цахилгааны хэрэглээний прогноз, Монгол;

JEL код: C53, L9

NRCC, Бизнес Тауэр-502, Чингисийн өргөн чөлөө, 1-р хороо, Сүхбаатар дүүрэг, Улаанбаатар;
Эдийн засгийн тэнхим, Хичээлийн 5-р байр 609 тоот, Улаанбаатар, Монгол. Утас: +976-95343365,
имейл: tsors79@yahoo.com;

Талархал: Энэхүү ажлын өмнөх хувилбарт зөвлөгөө өгсөн Диспетчерийн үндэсний төвийн хамт олон болон шүүмж өгсөн сэтгүүлийн редактор А.Гантунгалагт гүнээ талархаж байна. Гэвч орхигдуулсан болон ташаа мэдээлэл байвал зөвхөн зохиогчийн буруу болно. Энэхүү ажил нь зөвхөн хувь судлаачийн байр суурийг илэрхийлнэ.

© Зохиогч(ид). 2022 Нээлттэй ашиглалт. Энэхүү өгүүлийг Creative Commons Attribution 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) олон улсын лицензийн нөхцөлийн дагуу түгээж буй бөгөөд энэ нь зохиогч(ид) болон эх сурвалжийг зохимжтой байдлаар эш татсан, Creative Commons лицензийн холбоосыг оруулсан, хийсэн өөрчлөлтөө дурдсан тохиолдолд хязгаарлалтгүйгээр ашиглах, түгээх, хуулбарлахыг зөвшөөрдөг.

Forecasting electricity demand, and peak and base consumption in Mongolia up until 2030

Erdenebat Bataa

National University of Mongolia & NRCC

Received: 2021.11.17; Revised: 2022.02.01; Accepted: 2022.02.19

Abstract: This work provides forecasts of Mongolia's electricity demand, and high and low electricity load up until 2030. It reflects the historical dynamics of Mongolia's electricity demand (reserves, distribution) and consumption by various economic sectors. The model uses information on Mongolia's population, real economic growth, GDP per capita, heating degree days, electricity prices, inflation, and the Oyu Tolgoi mining development. Conditional on the average forecasts of macro-economy, population growth, and other policy factors, Mongolia's electricity reserves will reach 12488.7 GWh by 2030, with a high load of 1621.4 GWh and a low load of 717.2 GWh in the Central Region.

Keywords: Forecasts for electricity consumption, Mongolia;

JEL classification: C53, L9.

NRCC, Business Tower-502, Chinggis Avenue, 1st Khoroo, Sukhbaatar district, Ulaanbaatar; Department of Economics, Building V, Room 609, Ulaanbaatar, Mongolia. Phone: +976-95343365, email: tsors79@yahoo.com;

I would like to express my thanks to the National Dispatcher Center and Gantungalag Altansukh, a co-editor of the journal. All errors and omissions are mine. The views expressed here are those of the author only.

© The Author(s). 2022 Open access. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

1 Удиртгал

Энэхүү ажлаар Монгол Улсын цахилгаан эрчим хүчний эрэлт (нөөц, хуваарилалт), их болон бага ачааллыг 2030 он хүртэл прогнозлохыг зорив. Ингэхдээ Монгол улсын цахилгаан эрчим хүчний нөөц, хуваарилалт, эдийн засгийн ангиллаарх хэрэглээний түүхэн динамикийн онцлогийг авч үзэхийг хичээв. Загварт Монгол Улсын хүн амын тоо, эдийн засгийн бодит өсөлт, нэг хүнд ногдох ДНБ, халаалтын хэм сар, цахилгааны үнэ, инфляц, Оюу толгойн бүтээн байгуулалтын мэдээллийг зонхилон ашиглав.

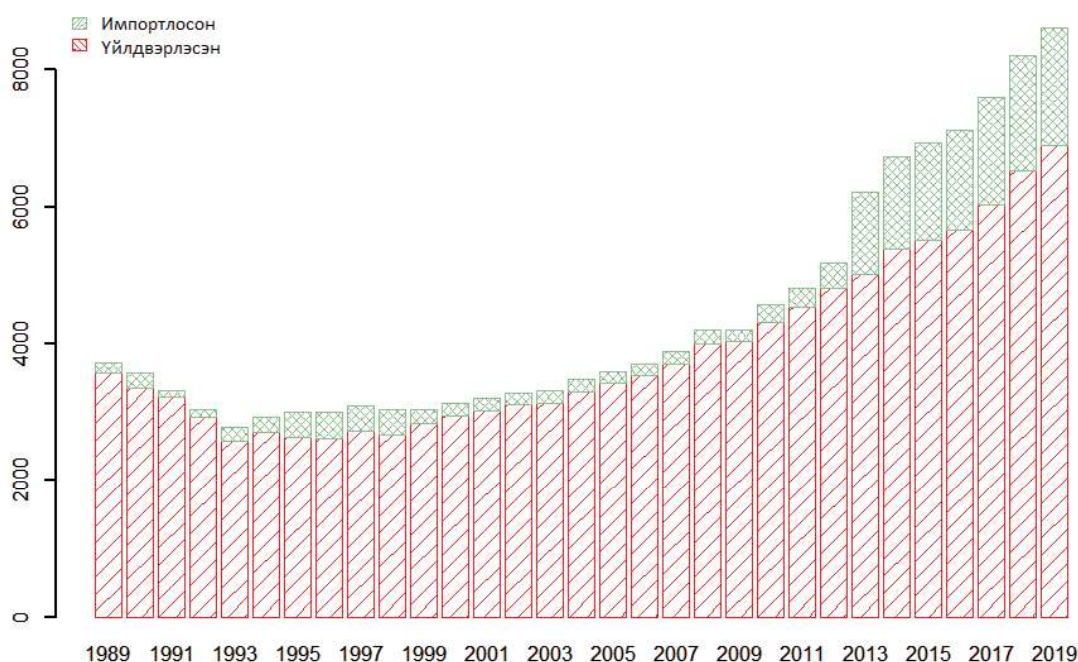
Тухайлбал цахилгааны хэрэглээ, их, бага ачааллын прогнозыг олон хүчин зүйлийн регрессийн загвар болон авторегресс загвар ашиглан хийсэн бөгөөд эгзоген хүчин зүйлийн прогноз энэхүү процесст ашиглагдах бол тэдгээрийн үндэслэлийг мөн шинжлэх ухааны үндэслэлтэйгээр дэлгэрүүлэн тайлбарлав.

Аргачлалыг дотоодод өмнө нь хийгдэж байсан ижил төстэй судалгаанууд болон олон улсын ижил төстэй судалгааны ажлууд дээр тулгуурлан гүйцэтгэв.

2 Өгөгдөл

Зураг 1 дэх Үндэсний статистикийн хороо (ҮСХ)-ны сангийн Монгол Улсын эрчим хүчний балансын 1989-2019 оны эрчим хүчний нөөцийн динамикаас шилжилтийн эхэн үеийн бууралт, тогтворжилт, тогтвортой өсөлтийн он жилүүд болон Оюу толгойн бүтээн байгуулалттай холбоотой импортолсон эрчим хүчний огцом өсөлтийг харж болно.

Зураг 1. Цахилгаан, эрчим хүчний нөөц, гВт.ц, 1989-2019.

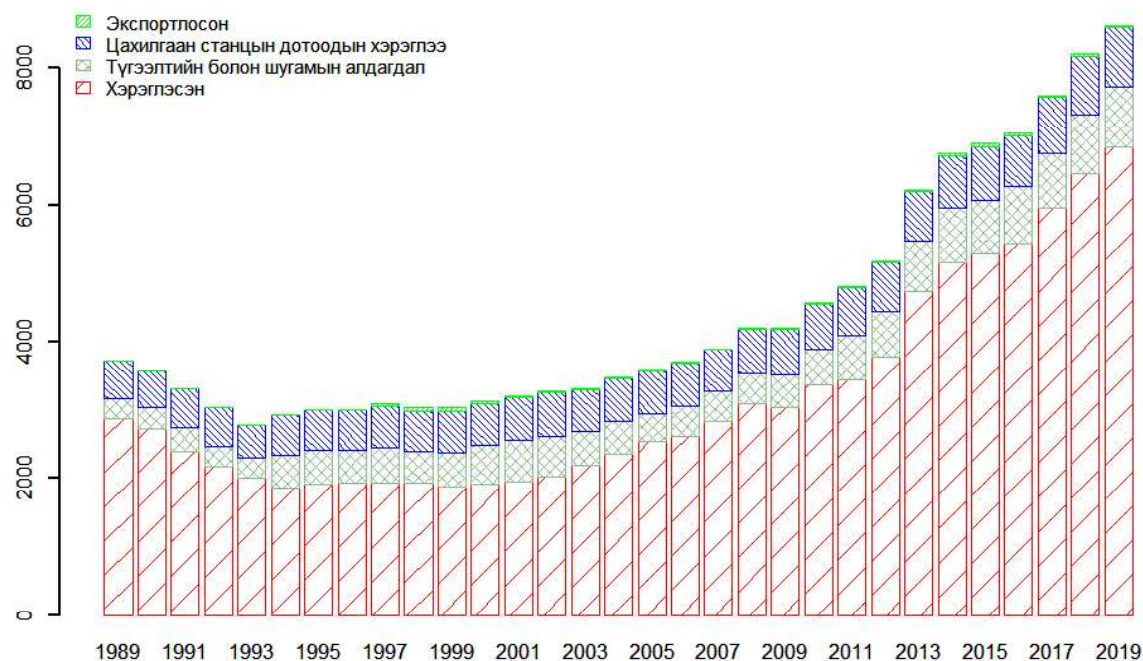


Эх үүсвэр: Цахилгаан эрчим хүчний баланс, Үндэсний статистикийн хороо.

Цахилгааны эрэлтийг прогнозлохдоо хуваарилалтын онцлогийг харгалзан үзэх ёстойг Зураг 2-т харуулж байна. Хэрэв прогнозад эгзоген хүчин зүйлс нөлөөлдөг бол тэдгээр нь экспорт, цахилгаан станцын дотоод хэрэглээ, түгээлтийн болон шугамын алдагдал,

хэрэглэсэн хэмжээнд өөр өөр нөлөөтэй байх ёстой. Жишээ нь хэрэглэсэн цахилгааны хэмжээ нь эдийн засаг, хүн ам зүйн нөхцөл байдлаас илүү хамаарч болно. Мөн Оюу толгойн бүтээн байгуулалттай холбоотой хэрэглээний огцом өсөлтийг ямарваа загварчлалд тусгах ёстойг эндээс харж болно.

Зураг 2. Цахилгаан, эрчим хүчний хуваарилалт, гВт.ц, 1989-2019.



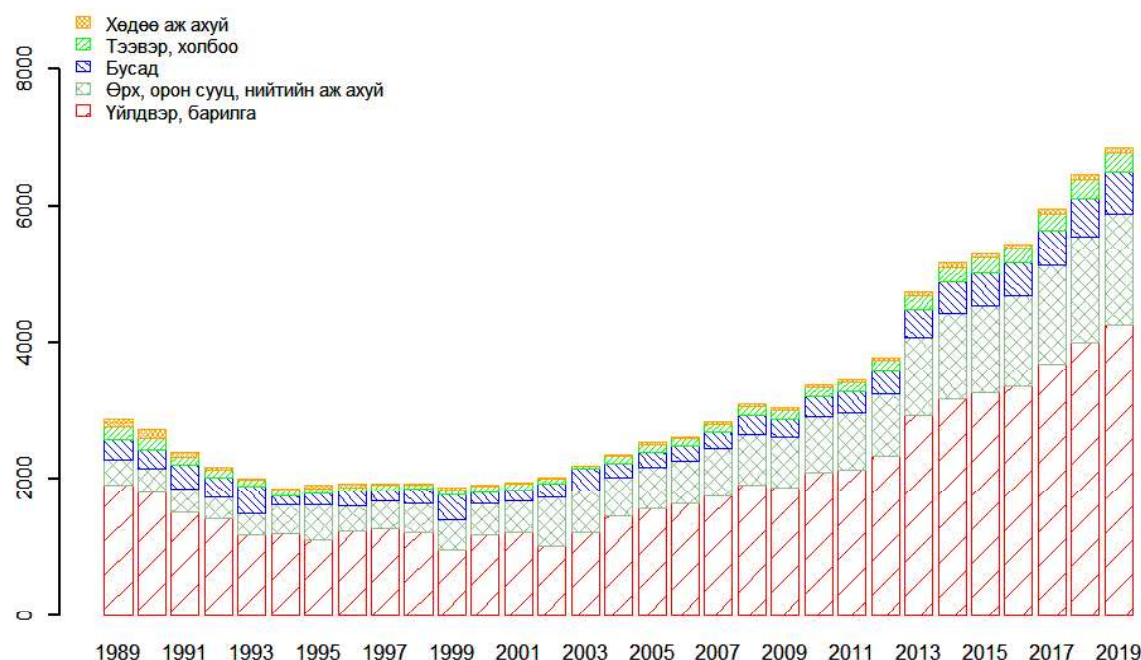
Эх үүсвэр: Цахилгаан эрчим хүчний баланс, Үндэсний статистикийн хороо.

Зураг 3-т эрчим хүчний баланс дахь эдийн засгийн зарим ангиллаарх хэрэглээг харуулж байна. Үндэсний статистикийн хорооны эдийн засгийн ангиллыг 1. Хөдөө аж ахуй, ойн аж ахуй, загас барилт, ан агнуур, 2. Уул уурхай, олборлолт, 3. Боловсруулах үйлдвэрлэл, 4. Цахилгаан, хий, уур, агааржуулалт, 5. Усан хангамж; бохир ус, хог, хаягдлын менежмент болон цэвэрлэх үйл ажиллагаа, 6. Барилга, 7. Бөөний болон жижиглэн худалдаа, машин, мотоциклийн засвар, үйлчилгээ, 8. Тээвэр ба агуулахын үйл ажиллагаа, 9. Зочид буудал, байр, сууц болон нийтийн хоолны үйлчилгээ, 10. Мэдээлэл, холбоо, 11. Санхүүгийн болон даатгалын үйл ажиллагаа, 12. Үл хөдлөх хөрөнгийн үйл ажиллагаа, 13. Мэргэжлийн, шинжлэх ухаан болон техникийн үйл ажиллагаа, 14. Удирдлагын болон дэмжлэг үзүүлэх үйл ажиллагаа, 15. Төрийн удирдлага ба батлан хамгаалах үйл ажиллагаа, албан журмын нийгмийн хамгаалал, 16. Боловсрол, 17. Хүний эрүүл мэнд ба нийгмийн үйл ажиллагаа, 18. Урлаг, үзвэр, тоглоом, наадам, 19. Үйлчилгээний бусад үйл ажиллагаа гэж тогтоодог. Цахилгаан эрчим хүчний балансад эдгээрээс зөвхөн зарим нь, мөн бүлэглэсэн байдлаар орсон байгаа нь эрэлтийг нь прогноздоход учир дутагдалтай байж болохыг сануулж байна.

Бусад улсуудын цахилгааны хэрэглээний прогнозын аргачлалыг богино (цаг, өдрөөр), дунд (өдөр, сараар), болон урт (сар, жилээр) хугацааных гэж ангилдаг бөгөөд нэг хувьсагчийн авторегресс загвар, хиймэл неврал сүлжээ (artificial neural network), болон олон хүчин зүйлийн регресс зонхилох байр суурийг эзэлж байна¹. Монголын хувьд

¹ Бусад аргачлалуудын талаар, тухайлбал хагас-параметрт нийлбэрийн загвар (semi-parametric additive models), илтгэгч гөлийлгөгчийн загвар (exponential smoothing models), тодорхой бус регресс (fuzzy regression), дэмжлэгтэй вектор машин (support vector machine), шүргэгч өсгөлтийн загвар (gradient boosting)-ын талаар Hong & Fan (2016)-аас дэлгэрүүлэн үзэж болно.

Зураг 3. Цахилгаан, эрчим хүчний хэрэглээ, гВт.ц, 1989-2019.



Эх үүсвэр: Цахилгаан эрчим хүчний баланс, Үндэсний статистикийн хороо.

Нүүрэй (2010) цахилгааны хэрэглээний 2010-2015 оны урт хугацааны прогнозыг 2005-2009 оны дотоодын нийт бүтээгдэхүүн, аж үйлдвэрийн нийт бүтээгдэхүүн, үндэсний нийт орлогыг тайлбарлагч хувьсагч болгон олон хүчин зүйлийн регрессийн хүрээнд гаргасан байдаг.

Нэг хувьсагчийн авторегресс загварт *ARIMA* төрлийн хугацаан цуваан загварууд хэрэглэгдэж байна. Олон хүчин зүйлийн регрессийн хувьд Mohamed & Bodger (2005), Chui *et al.* (2009), Zunkaş & Altun (2010), Hyndman & Fan (2010), Hong, Wilson & Xie (2014), гэх мэт судалгааны ажлууд цахилгааны эрэлт нь эдийн засгийн өсөлт, цахилгааны үнэ, хүн амын тооноос хамаарна гэж үзсэн байдаг.

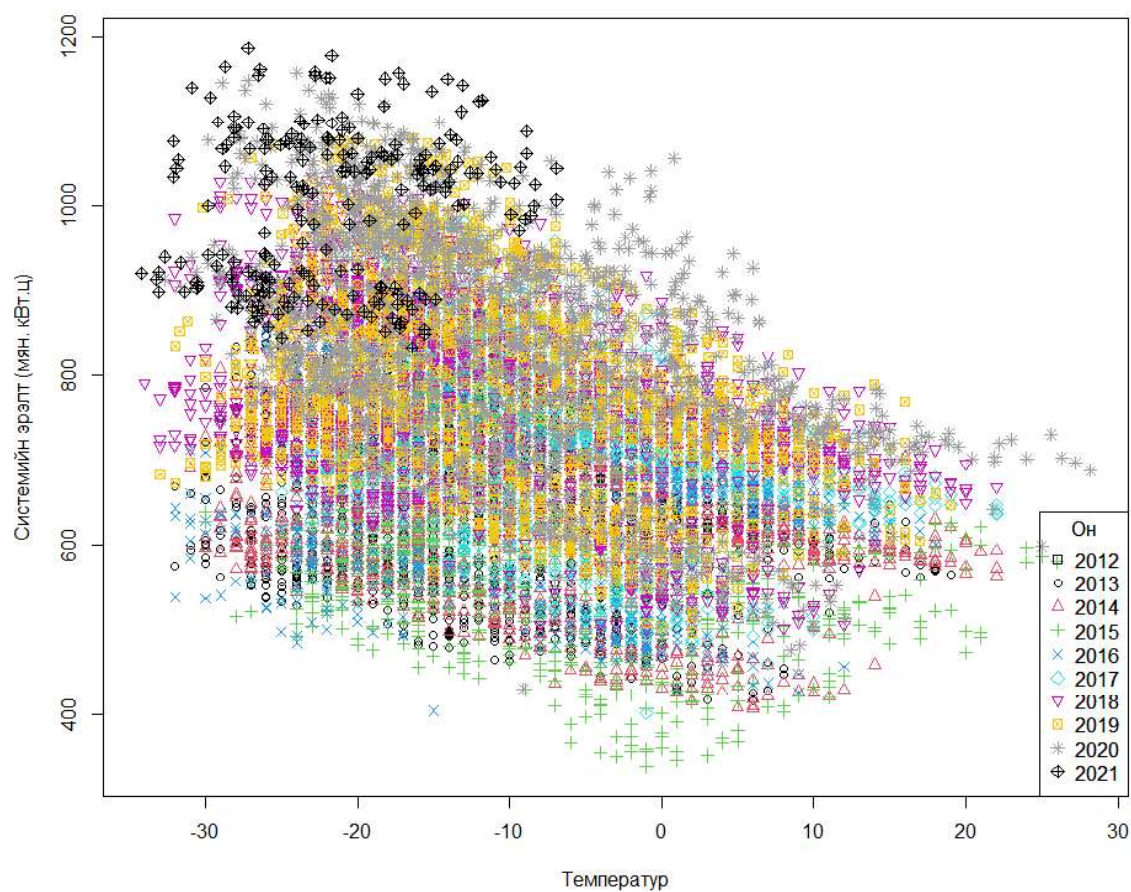
Богино хугацааны прогнозын аргачлалаас ялангуяа орчны температурын цахилгааны эрэлтэд үзүүлэх нөлөөг цохон тэмдэглэсэн байдаг (Ramanathan, Engle, Granger, Vahid-Araghi & Brace, 1997, Taieb & Hyndman, 2014, Thornton, Hoskins & Scaiffe, 2016). Монгол улсын хувьд ч энэхүү асуудал чухал байж болохыг, цахилгааны эрэлтэд агаарын температур нөлөөлдөг болохыг Зураг 4 дэх Төвийн бүсийн нэгдсэн системийн цахилгааны цагийн давтамжтай эрэлт болон Улаанбаатар хотын цагийн давтамжтай агаарын температурын хоорондох сөрөг хамаарлаас харж болно. Тоон мэдээлэл нь нийтэд нээлттэй бусад улсуудын хувьд энэхүү нөлөөг халаалтын-хэм-өдөр (heating degree days, HDD) гэсэн үзүүлэлтийг ашиглан хэмждэг боловч Монгол улсын хувьд урт хугацааны тийм мэдээлэл байхгүй тул нөлөөг халаалтын-хэм-сар (*XXC*)-аар төлөөлүүлнэ. Тодруулбал энэ нь:

$$XXC_C = \max\{0, T_H - T_C\} \quad (1)$$

$$XXC = \sum_{C=1}^{12} XXC_C \quad (2)$$

Энд T_H нь Монгол Улсын барилгын дулааны хамгаалалт БНБД 23-02-09 нормоор халаалтын улирлын гадна агаарын дундаж температур, харин T_C нь тухайн сарын бодит

Зураг 4. Төвийн бүсийн нэгдсэн системийн цахилгааны цагийн эрэлт болон Улаанбаатар хотын температурын хамаарал, 2012.02-2021.02.



Эх үүсвэр: Үндэсний статистикийн хороо.

температур болно. Норм нь эмчилгээний, хүүхдийн, мөн өндөр настанд зориулсан барилгад гадна агаарын температур нь 10°C , бусад барилгуудад 8°C , байдаг бөгөөд энэ судалгаанд 10°C -ийг ашиглав².

Зураг 5-д эдгээр үзүүлэлтүүд болон цахилгааны эрэлтийн хамаарлыг дүрслэн харуулж байна. Эндээс ДНБ, нэг хүнд ногдох ДНБ болон хүн амын тоо нь цахилгааны нөөцтэй шууд хамааралтай байгааг, харин цахилгааны үнэ болон халаалтын хэм сар болон нөөц хооронд тийм тодорхой хамаарал байхгүй мэт байгааг харж болно³. Зургийн с) хэсэгт 2013 онд хүн амын тоо харьцангуй тогтвортойгоор өсөж 2,930,277 болоход цахилгааны нөөц огцом өсөж 6,125 гВт.ц болж байгаа нь Оюу толгойн бүтээн байгуулалттай холбон тайлбарлаж болно. Мөн ДНБ, болон нэг хүнд ногдох ДНБ ба нөөц хоорондын хамаарал нэгтэй ойролцоо байгаа нь мултиколлинеаритигийн асуудлаас зайлсхийн тулд олон хүчин зүйлийн загварт зөвхөн нэгийг нь оруулах нь зохимжтой байж болохыг харж болно.

Зураг 6-д 1989-2019 оны Монгол улсын макро эдийн засаг, эрчим хүч, хүн амын зарим үзүүлэлтүүдийг харуулж байна⁴.

Өндөр давтамжтай болон бүс нутгийн цахилгааны хэрэглээний өгөгдлийн хувьд ҮСХ-ны санд байхгүй харин Диспетчерийн үндэсний төвд Төв, Дорнод, Баруун, Өмнөд, Алтай-Улиастайн эрчим хүчний системийн өгөгдөл харьцангуй хожуу үеэс л байна. Зураг 7-д хамрах хугацаа болон давтамжийн мэдээллийг харуулж байна.

Зургаас хэрэглээ болон их, бага ачааллын мэдээлэл Төвийн бүсийнхээс бусдад нэлээд дутуу, хэмжээ нь харьцангуй байгаа учир жилийнхээс өндөр давтамжтай өгөгдөл ашигласан үед зөвхөн Төвийн бүсийнх дээр төвлөрөх нь зохистой болох нь харагдаж байна.

3 Арга зүй

Энэхүү хэсэгт прогнозын загварууд, нөхцөлүүд болон тэднийг харьцуулан үнэлэх хэмжүүрүүдийн талаар тайлбарлана.

3.1 *ARIMAX* загвар

Эхний авч үзэх загвар нь (3)-р тэгшитгэлээр өгөгдсөн, Оюу толгойн бүтээн байгуулалтын нөлөөг эгзоген хуурмаг хувьсагчаар загварчилсан авторегресс интегралчлагдсан хөдлөх дунджийн $ARIMAX(p, d, q)$ процесс байна.

$$\left(1 - \sum_{i=1}^p \phi_i L^i\right) (1 - L)^d y_t = \delta + \alpha M_t + \left(1 + \sum_{j=1}^q \theta_j L^j\right) \varepsilon_t.$$

$$M_t = \begin{cases} 0, & \text{хэрэв } t < 2013 \\ 1, & \text{хэрэв } t \geq 2013 \end{cases} \quad (3)$$

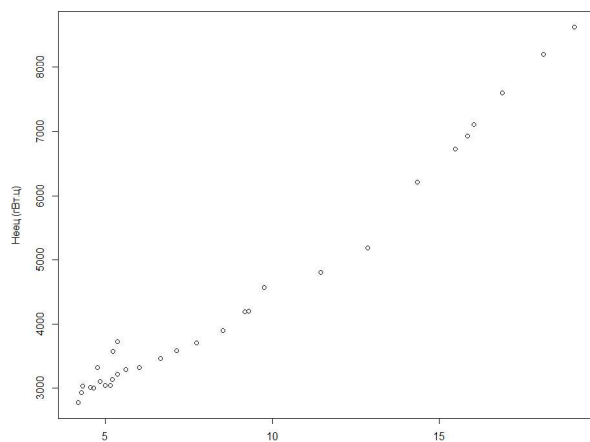
² 8°C -ийг ашигласан үеийн дараагийн хэсэгт яригдах регрессийн үр дүн чанарын ялгаагүй байв.

³ ДНБ-ийг 2010 оны үнээр илэрхийлж, үнийг хэрэглээний үнийн индекс ашиглан 2019 оны төгрөг рүү шилжүүлсэн болно. Дэлгэрэнгүйг энэ судалгааны ажлыг дагалдаж буй EXCEL-ийн файлаас харж болно.

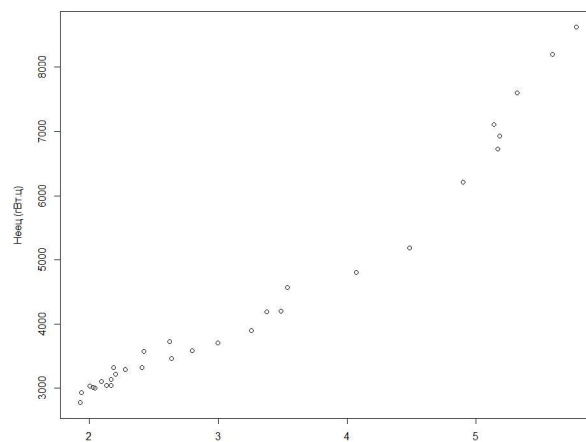
⁴ Зургийн харагдцыг сайжруулахын тулд шилжилтийн эхэн үеийн зарим утгуудыг орхигдуулав. Тухайлбал, 1992, 1993 оны инфляц 325.5%, 183.0%, 1993 оны 1 кВт.ц-ын цахилгааны үнэ 0.9-өөс 7 төгрөг болж 677.8%-р өссөн.

Зураг 5. Цахилгааны эрэлтэд нөлөөлж болох хүчин зүйлс (хэвтээ тэнхлэг) болон цахилгааны нөөцийн хамаарал (босоо тэнхлэг). 1989-2020 он.

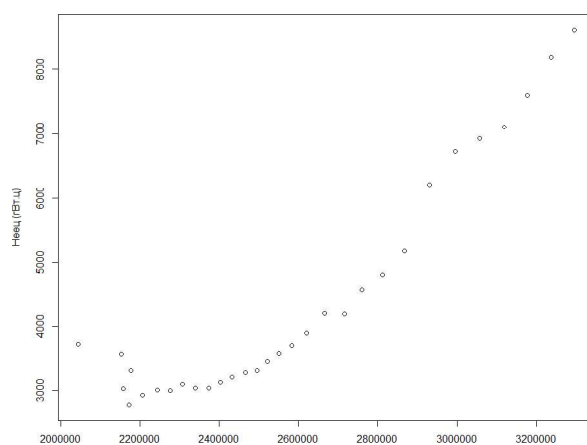
(a) ДНБ (их наяд төгрөг)



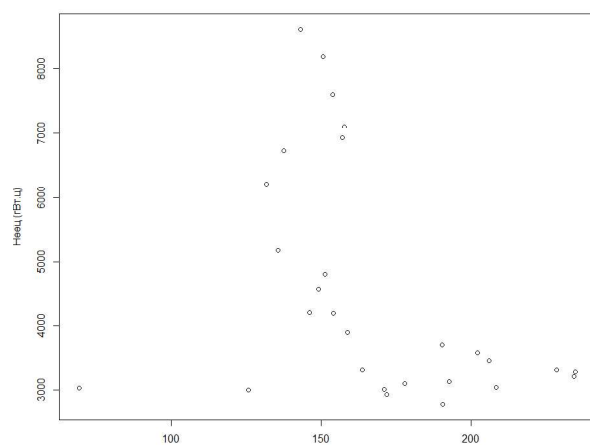
(b) Нэг хүнд ногдох ДНБ (сая төгрөг)



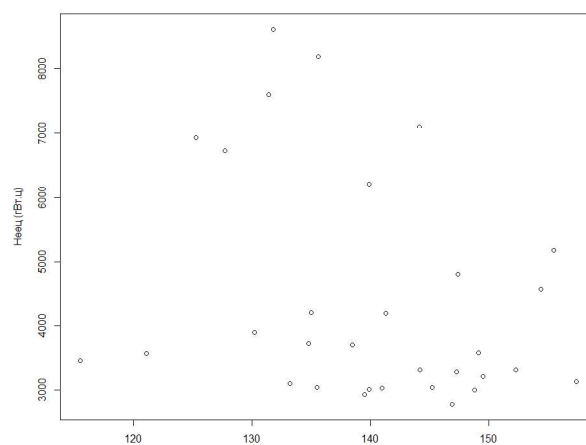
(c) Хүн ам



(d) 1 кВт.ц цахилгааны бодит үнэ

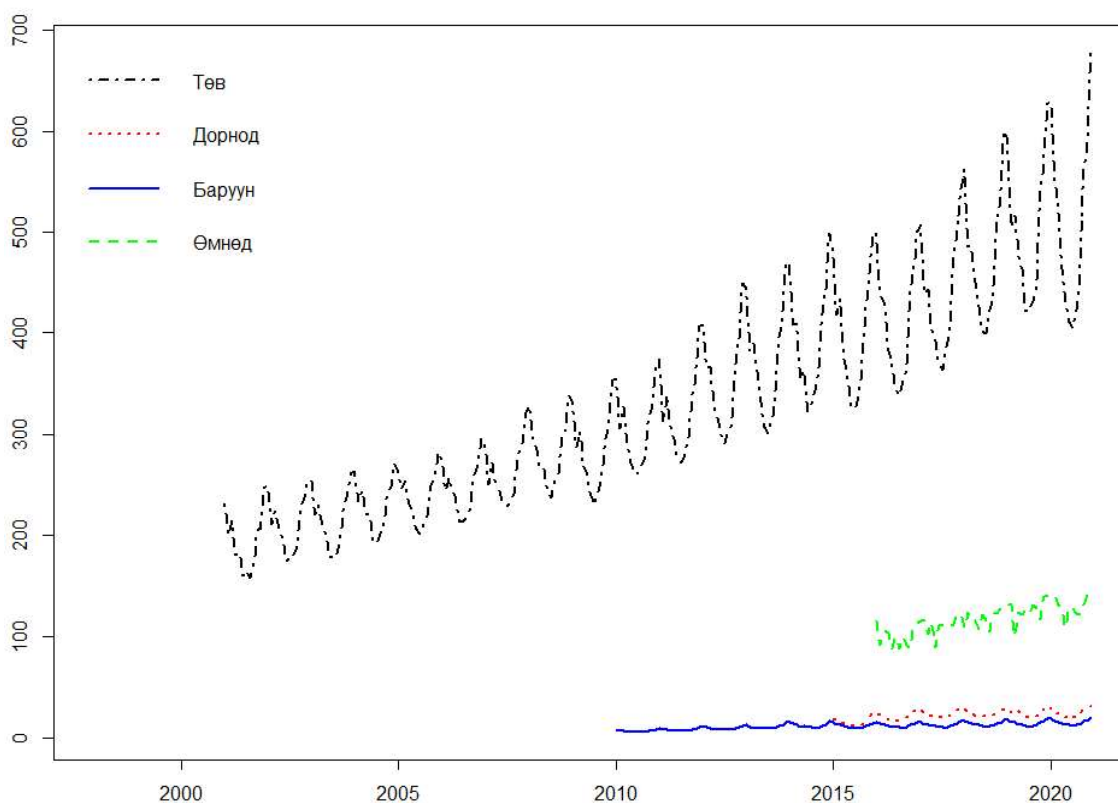


(e) Халаалтын хэм сар



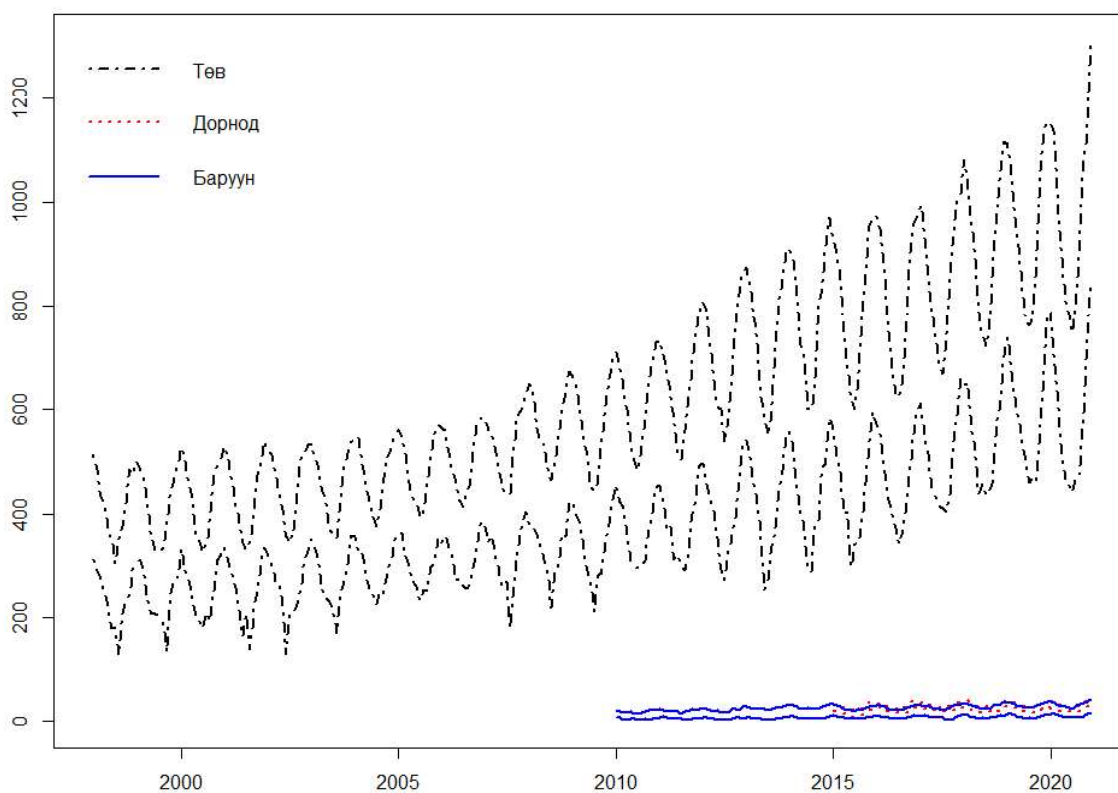
Эх үүсвэр: Үндэсний статистикийн хороо

Зураг 6. Сарын давтамжтай эрчим хүчний хэрэглээ, бүсийн системүүдээр.



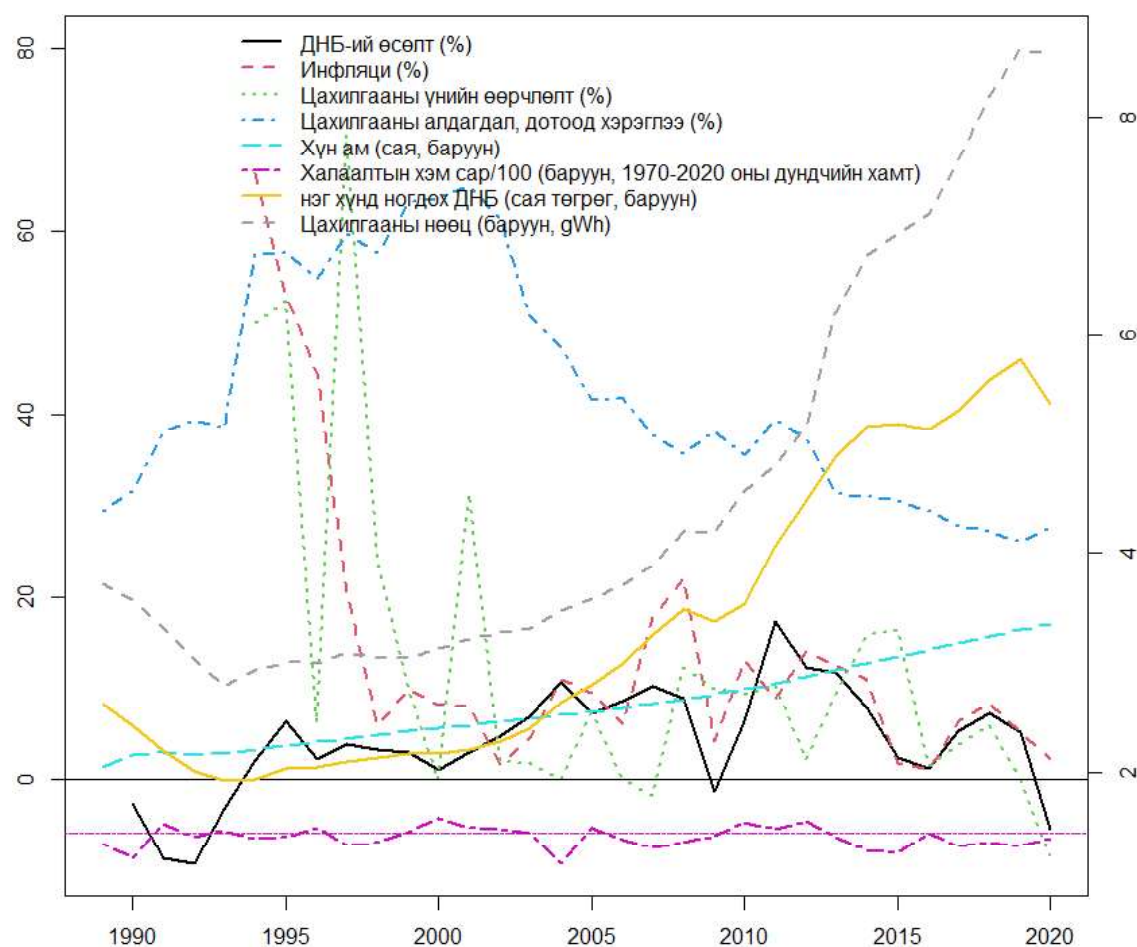
Эх үүсвэр: Үндэсний статистикийн хороо

Зураг 7. Сарын давтамжтай эрчим хүчний их бага хэрэглээ, бүсийн системүүдээр.



Эх үүсвэр: Үндэсний статистикийн хороо

Зураг 8. Цахилгааны хэрэглээ, нөөцөд нөлөө үзүүлэгч макро-эдийн засаг, хүн ам зүй, эрчим салбарын үр ашгийн зарим үзүүлэлтүүд, 1989-2019.



Эх үүсвэр: Цахилгаан эрчим хүчний баланс, Үндэсний статистикийн хороо.

энд y_t нь бидний сонирхож буй t -р жилийн цахилгааны нөөц, их, бага ачаалал, L нь $L^j y_t = y_{t-j}$ тодорхойлолт бүхий хоцроох тэмдэг, $\phi_i, i = 1, \dots, p$ нь авторегресс AR параметрууд, $\theta_j, j = 1, \dots, q$ нь хөдлөх дунджийн MA параметрууд, d нь интегралчлалын зэрэг, δ нь огтлогч, ε_t нь өдөөгчид болно⁵. Загварын параметруудийг өгөгдөл болон хамгийн их үнэний хувийн аргаар үнэлнэ. Оновчтой p, q, d -г $p_{max} = 5, q_{max} = 5, d_{max} = 2$ олонлогт багтах бүх боломжуудаас Акайкийн мэдээллийн шалгуурыг (AIC) хамгийн бага байлгах аргаар сонгон авна.

3.2 Олон хүчин зүйлийн динамик регрессийн загвар

Цахилгааны эрэлтэд нөлөөлөгч хүчин зүйлсийн статистик ач холбогдлыг тогтоох зорилгоор суурин хувьсагчдыг ашиглан дараах олон хүчин зүйлийн регрессийн загварыг үнэлнэ:

$$\begin{aligned} \Delta(y_t - o_t) &= \beta_0 + \beta_1 \Delta \text{ДНБ}_t + \beta_2 \Delta \text{х.ам}_t + \beta_3 \Delta \text{б.үнэ}_t + \beta_4 \Delta \text{ХХС}_t + \beta_5 I_t + u_t \\ I_t &= \begin{cases} 1, & \text{хэрэв } t = 2013 \\ 0, & \text{бусад үед} \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

энд $y_t - o_t$ нь цахилгааны хэрэглээ буюу, их, бага ачаалал кВт.ц-аар, ДНБ_t нь 2010 оны үнээрх бодит дотоодын нийт бүтээгдэхүүн, х.ам_t нь Монгол Улсын хүн ам, б.үнэ_t нь орон сууцны кВт.ц-аарх цахилгааны бодит үнэ 2020 оны үнээр, ХХС_t нь Улаанбаатар хотын сарын дундаж температураас (2)-р тэгшитгэлээр гарган авсан халаалтын хэм сар, u_t нь цахилгааны эрэлтэд нөлөөлөх бусад хүчин зүйлс болно. Оюу толгой нь 2013 онд нэг бусад үед тэг утга авдаг хуурмаг хувьсагч юм. Хэрэглээ, их, бага ачаалал, ДНБ, хүн амын тоо, үнээс логарифм авсан.

Загварын тааралтыг сайжруулахын тулд бид энэхүү загварыг өмнөх дэд хэсэгт тайлбарласан $ARIMA(p, d, q)$ загвараар өргөтгөж, оновчтой зэргийг нь дээрхийн адилаар тогтоох болно. Тэгэхээр $ARIMAX$ загварын эгзоген хувьсагч нь зөвхөн Оюу толгойн хуурмаг хувьсагч байсан бол энэ загварт түүнээс гадна эрэлтийн бусад хувьсагчид орсноороо илүү ерөнхий гэж ойлгож болно. Тухалбал (4)-р тэгшитгэлийн алдааны хэсэг нь $ARIMA(1, 1, 1)$ бол

$$(1 - \phi_1 L)(1 - L)u_t = (1 + \theta_1 B)\varepsilon_t, \quad (5)$$

болж нэмэгдэнэ.

3.3 Прогноз

Ирээдүйн тухай прогноз нь “хамгийн сайн таамаг” буюу ганц тоо байж болно, ирээдүйн утга маань нийт боломжийн тодорхой хувьд нь агуулагдаж болох тоон интервал байж болно, мөн ирээдүйн утгын бүхэл бүтэн магадлалын тархалт байж болно.

Бид юуны өмнө прогнозын загварыг тавьж, үнэлэхэд ашигласан өгөгдөл маань цаашид ч ажиглагдах өгөгдөлтэй төстэй байна гэсэн нөхцөлийг тавина. Үгүй бол өнгөрсөн дээр тулгуурлан ирээдүйг урьдчилан таамаглах нь утгаа алдана. Мөн прогнозын загварын тогтвортой байдлыг нь үнэлж, цэгнэж байх ёстой. Хэрэв бид байнга хэт доогуур, эсвэл дээгүүр прогнолоод байвал загварын тавилаа өөрчлөх ёстой.

⁵ Энэ төрлийн хугацаан цуваан загварын арга зүйн талаар Эрдэнэбат (2017)-аас дэлгэрүүлэн үзэж болно.

Бидэнд y_t гэсэн хувьсагчийн $T + P$ үзэгдэл байгаа гэе. Тэгвэл эхний T үзэгдлийг нь ашиглан загвараа босгож, параметруудийг нь үнэлээд, үлдэх P үзэгдлийг нь ашиглан түүврээс гадна хэр сайн прогнозлож буйг нь үнэлж, цэгнэнэ. Өөрөөр хэлбэл y_1, y_2, \dots, y_T -р үзэгдлийг ашиглан $y_{t+h}, h = 1, 2, \dots, P$ -ийн прогнозыг гарган авна. Эдгээр прогнозын нарийвчлалыг $y_{T+1}, y_{T+2}, \dots, y_{T+P}$ -ийн жинхэнэ утгуудтай харьцуулж тогтооно.

Загварын үнэлгээг ашиглан **цэгэн прогноз** хийхдээ дараах 3 алхмыг ашиглана.

1. Зөвхөн загварын хамаарах хувьсагч y_t -г тэгшитгэлийн зүүн гар талд байлгахаар хувирган бичнэ.
2. Тэгшитгэл дэх t индексийг $T + h$ -ээр солино.
3. Тэгшитгэлийн баруун гар тал дахь ирээдүйн утгуудыг нь прогнозлогдсон утгуудаар, ирээдүйн алдааг тэгээр, өнгөрсөн үеийн алдаануудыг харгалзах үлдэгдлээр нь сольж бичнэ.

$h = 1$ -ээс эхлээд шаардагдах прогнозын алсын утга хүртэл $h = 2, 3, \dots, P$ -ийн хувьд дээрх алхмуудыг үргэлжлүүлнэ. Үүнийг жишээгээр тайлбарлая. Дээрх (3)-р загварыг $p = d = q = 1$ байх үед үнэлсэн байгаа гэе:

$$(1 - \hat{\phi}_1 L)(1 - L)y_t = \hat{\delta} + \hat{\alpha}I_t + (1 + \hat{\theta}_1 L)e_t \quad (6)$$

Энд малгайтай параметрууд нь малгайгүйн, e_t нь ε_t -ийн үнэлэгчид болно. Одоо тэгшитгэлийн зүүн гар талыг задалъя:

$$(1 - (\hat{\phi}_1 + 1)L + \hat{\phi}_1 L^2)y_t = \hat{\delta} + \hat{\alpha}I_t + (1 + \hat{\theta}_1 L)e_t$$

Дараа нь хоцроох тэмдгийн тодорхойлолтыг ашиглан 1-р алхмыг хийе:

$$y_t = \hat{\delta} + (\hat{\phi}_1 + 1)y_{t-1} - \hat{\phi}_1 y_{t-2} + \hat{\alpha}I_t + e_t + \hat{\theta}_1 e_{t-1}$$

2-р алхмын хувьд, t -г $T + 1$ -ээр соливол

$$y_{T+1} = \hat{\delta} + (\hat{\phi}_1 + 1)y_T - \hat{\phi}_1 y_{T-1} + \hat{\alpha}I_T + e_{T+1} + \hat{\theta}_1 e_T$$

Бидэнд T үе хүртэлх л өгөгдөл байгаа учир e_{T+1} байхгүй, иймд тэгээр орлуулна, бусад бүх хувьсагчид нь мэдэгдэж байгаа.

$$\hat{y}_{T+1|T} = \hat{\delta} + (\hat{\phi}_1 + 1)y_T - \hat{\phi}_1 y_{T-1} + \hat{\alpha}I_{T+1} + \hat{\theta}_1 e_T$$

y_{T+2} -ын прогнозыг (6) дахь t индексийг $T + 2$ -оор сольж гарган авна. Тэгэхдээ y_{T+1} -ийг $\hat{y}_{T+1|T}$ -ээр орлуулж, e_{T+2}, e_{T+1} -ийг тэгээр соливол баруун гар талд байгаа бусад бүх хувьсагчид мэдэгдэх болно.

$$\hat{y}_{T+2|T} = \hat{\delta} + (\hat{\phi}_1 + 1)\hat{y}_{T+1|T} - \hat{\phi}_1 y_T + \hat{\alpha}I_{T+2}$$

Энэхүү процессыг $T + h$ -ийг жишээ нь 2030 он хүртэл үргэлжлүүлнэ.

3.4 Прогнозыг үнэлж, цэгнэх нь

Прогнозын нарийвчлалыг тогтоохдоо жинхэнээр нь прогноз хийдэг байх ёстой. Зураг 7-д харуулсанчлан цэнхэр, улаан хэсгийг агуулсан өгөгдөл бидэнд байлаа гэхэд бид загвараа зөвхөн цэнхэр буюу бэлтгэлийн хэсэг дээр нь үнэлэн, түүнийгээ ашиглан улаан хэсгийн прогнозыг хийж уг хэсгийн жинхэнэ өгөгдөлтэй харьцуулах замаар хэр сайн прогнозлож байгаагаа шалгана гэж дээр тайлбарласан.

Бэлтгэлийн өгөгдлийг $\{y_1, \dots, y_T\}$, тестийнхийг $\{y_{T+1}, y_{T+2}, \dots, y_{T+P}\}$ гэж тэмдэглэнэ. Хэрэв хангалттай сайн прогнозлож байвал байгаа бүх $T + P$ үзэгдлээ ашиглан загвараа дахин үнэлж, $T + P + 1, T + P + 2, \dots$ гэсэн ирээдүйн прогнозыг хийдэг. Хэдийгээр

Зураг 7. Нийт өгөгдлийг бэлтгэлийн (цэнхэр) болон прогнозын буюу тестийн (улаан) гэсэн 2 хэсэгт хуваана.

тестийн өгөгдөл нь нийт өгөгдлийн хэмжээ, хэр алсыг прогнозлодог байх зорилготой вэ гэдгээс хамаарах ч нийт түүврийн 20%-аар ($P/(T + P)$) тогтоох нь олонтоо. T болон P -ийн хооронд сөрөг хамаарал байгаа энэ үед T нь загварын параметруудийг хангалттай нарийвчлалтайгаар үнэлэхүйц их, харин P нь сонирхож буй прогнозын алслалаас багагүй байвал зохистойг анхаарах хэрэгтэй юм. Жишээ нь 10 жилийн дараахыг прогнозлоё гэвэл тестийн өгөгдөл нь хамгийн багадаа 10 жил байх нь зүйтэй. Дараах 3 зүйлийг прогноз хийхдээ анхаарах ёстой:

- Бэлтгэлийн өгөгдөлд сайн таардаг загвар сайн прогнозлодог байх албагүй.
- Хангалттай олон параметр ашиглаад өгөгдөлд загварыг төгс тааруулж болно.
- Загварыг өгөгдөлд хэт тааруулах нь өгөгдлийн системтэй зүйл тогтлыг танилгүй алдахтай ижил аюултай.

Прогнозын нарийвчлалыг **алдагдлын функц**-ээр хэмжих бөгөөд энэ нь h -алхмын дараах оновчтой цэгэн прогноз юу болохыг тодорхойлно. Жинхэнэ y_{T+h} болон түүний прогноз $\hat{y}_{T+h|T}$ нь прогнозлогчийн хувьд ямар нэгэн алдагдлыг (*loss*) илэрхийлэх нь мэдээж. Прогнозын алдаа гэж ажиглагдсан болон прогнозлогдсон утгуудын зөрүүг хэлнэ. Үүнийг

$$e_{T+h|T} = y_{T+h} - \hat{y}_{T+h|T} \quad (7)$$

гэж тэмдэглэнэ. Прогнозын алдаа нь үлдэгдлээс хоёр талаар ялгаатай. Нэгдүгээрт, үлдэгдлийг бэлтгэлийн өгөгдлөөс гарган авдаг бол прогнозын алдааг тестийн өгөгдлөөс гарган авдаг. Хоёрдугаарт, үлдэгдэл нь нэг алхамт прогнозоос гардаг бол прогнозын алдаа нь олон алхамт прогнозоос гарч ирэх боломжтой.

Дурын утга цэгэн прогноз болж болно. Гэхдээ хамгийн сайн прогноз нь алдагдлын функцийг хүлээгдэж буй утгыг минимумчилдаг утга байх ёстой. Жишээ нь прогнозлогч квадрат алдагдлын функцтэй, тухайлбал

$$\text{Алдагдал}_{T+h|T} = e_{T+h|T}^2 \quad (8)$$

бол оновчтой цэгэн прогноз нь y_{T+h} -ийн нөхцөлт хүлээлт буюу

$$\hat{y}_{T+h|T} = E(y_{T+h|T}). \quad (9)$$

y_{T+h} -ийн нөхцөлт хүлээлтийг цэгэн прогноз болгон ашигласнаар (7)-ээс прогнозын алдаа, e_{T+h} -ийн нөхцөлт голч нь тэг болох бөгөөд (8)-оос квадрат алдааны функц нь үндсэндээ прогнозын алдааны вариаци болон хувирна⁶.

Цэгэн прогнозын нарийвчлалыг MAE , $RMSE$, $MAPE$, $sMAPE$, $MASE$, $RMSSE$ гэх мэт үзүүлэлтүүдээр хэмждэг.

- **Хэмжээсээс хамаардаг алдаа.** Прогнозын алдааны хэмжигдэх нэгж нь өгөгдлийнхтэй ижил байдаг. Иймд зөвхөн e_t дээр тулгуурладаг нарийвчлалын хэмжигдэхүүнүүдийг өөр өөр хэмжих нэгжүүдтэй цуваануудын хувьд ашиглах боломжгүй. Хамгийн түгээмэл нь голч абсолют алдаа (*mean absolute error*, MAE),

$$MAE = \frac{\sum_{h=1}^K |y_{T+h} - \hat{y}_{T+h|T}|}{K} = \frac{\sum_{h=1}^K |e_{T+h}|}{K} \quad (10)$$

квадрат алдаануудын голчийн язгуур (*root mean squared errors*, $RMSE$)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{h=1}^K (y_{T+h} - \hat{y}_{T+h|T})^2}{K}} = \sqrt{\frac{\sum_{h=1}^K e_{T+h}^2}{K}} \quad (11)$$

Нэг хугацаанд зориулсан хэд хэдэн загварыг хооронд нь харьцуулах, эсвэл хэмжих нэгж ижилтэй хэд хэдэн хугацаан цувааг прогнозлож байгаа үед ойлгомжтой, тооцоолоход амраас нь болоод MAE -г түгээмэл ашигладаг. MAE -г минимумчилдаг прогнозын арга нь медианы прогноз, харин $RMSE$ -ийг минимумчилдаг арга нь голчийн прогноз болдог. Ийм учраас хэдийгээр тайлбарлахад илүү төвөгтэй ч $RMSE$ -г мөн өргөнөөр хэрэглэдэг.

- **Хувиарх алдаа.** Хувиарх алдаа нь хэмжих нэгжээс хараат бус учир өөр өөр өгөгдлүүдийг харьцуулах боломжийг нэмж олгодог. Хамгийн түгээмэл ийм үзүүлэлт нь голч абсолют алдааны хувь юм (*mean absolute percentage error*, $MAPE$):

$$MAPE = \frac{1}{K} \sum_{h=1}^K \left| \frac{y_{T+h} - \hat{y}_{T+h|T}}{y_{T+h}} \right| \quad (12)$$

Хувиарх алдаанд суурилсан ийм үзүүлэлтүүдийн нийтлэг сул тал нь ямар нэгэн $T + h$ -ийн хувьд $y_{T+h} = 0$ бол эдгээр хэмжигдэхүүнүүд тодорхойлогдохгүй, тэгт ойрхон y_{T+h} -ийн хувьд маш өндөр утга авчхаад байдаг явдал юм. Жишээ нь Цельсийн болон Фаренхайтын температурыг загварчилж байгаа үед тэг гэсэн тооны нөлөө өөр өөр гарч ирнэ.

Энэ нь мөн сөрөг алдааг эерэг алдаанаас илүү торгодог сөрөг талтай. Үүнээс нь болоод Armstrong (1978) тэгш хэмт (symmetric) $sMAPE$ -ийг санал болгосон байдаг:

$$sMAPE = \frac{200}{K} \sum_{h=1}^K \frac{|y_{T+h} - \hat{y}_{T+h|T}|}{y_{T+h} + \hat{y}_{T+h|T}} \quad (13)$$

Гэвч y_{T+h} нь тэгд ойр бол $\hat{y}_{T+h|T}$ нь ч мөн тийм байх магадлалтай учир тоог тэгт хуваах гэж тооцооллыг тогтворгүй болгох, мөн $sMAPE$ нь сөрөг болж байх учир “абсолют хувиарх алдаа” нэртэйгээ зөрчилдөж болно.

⁶ Абсолют алдаагдал буюу $|e_{T+h|T}|$ (оновчтой цэгэн прогноз нь y_{T+h} -ийн медиан) болон бусад алдагдлын оновчтой цэгэн прогнозын талаар Christoffersen & Diebold (1996, 1997)-оос дэлгэрүүлэн уншиж болно.

- **Жишсэн алдаа.** Өөр өөр хэмжих нэгжтэй цуваануудын прогнозын нарийвчлалыг тогтоох, хувиарх алдааны үзүүлэлтүүдийн оронд ашиглаж болох жишсэн алдааг Hyndman & Koehler (2006) санал болгосон байдаг. Тэд энгийн прогнозоос гарган авсан бэлтгэлийн өгөгдөл дэх MAE -г алдаатайгаа жишдэг.

Улирлын бус хугацаан цуваан хувьд гэнэн прогноз ашигласан жишсэн алдаа нь дараах байдалтай байна⁷

$$q_{T+h} = \frac{e_{T+h}}{\frac{1}{T-1} \sum_{t=2}^T |y_t - y_{t-1}|} \quad (14)$$

Хүртвэр, хуваарь дахь өгөгдлийн хэмжээснүүд хураагдаад энэ нь харьцаа болон хувирна. Нэгээс бага бол бэлтгэлийн өгөгдлөөс нэг алхамт гэнэн прогнозын дунджаас илүү сайн прогноз гэсэн үг, нэгээс их бол эсрэгээрээ. Улирлын хугацаан цуваан хувьд улирлын гэнэн прогнозтой жишсэн алдаа нь:

$$q_{T+h} = \frac{e_{T+h}}{\frac{1}{T-m} \sum_{t=m+1}^T |y_t - y_{t-m}|} \quad (15)$$

Голч абсолют жишсэн алдаа (*mean absolute scaled error, MASE*) нь

$$MASE = \frac{1}{K} \sum_{h=1}^K |q_{T+h}|. \quad (16)$$

Мөн үүнтэй төстэйгөөр голч квадрат жишсэн алдааны язгуур (*root mean squared scaled error, RMSSE*)

$$RMSSE = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{h=1}^K q_{T+h}^2}. \quad (17)$$

энд

$$q_{T+h}^2 = \frac{e_{T+h}^2}{\frac{1}{T-m} \sum_{t=m+1}^T (y_t - y_{t-m})^2}. \quad (18)$$

бөгөөд улирлын бус өгөгдлийн хувьд $m = 1$ байна.

3.5 Прогнозын нөхцөлүүд

Прогнозод эгзоген хувьсагчид оролцож байгаа үед тэдний ирээдүйн утгуудын талаар нөхцөл тавих ёстой. Ингэхдээ тэдгээр хувьсагчид нь цахилгааны хэрэглээ, их бага, ачаалалд нөлөөлдөг хувьсагчид байх ёстой. Тэгэхээр Зураг 6-д тусгагдсан цахилгааны үнэ, хүн ам, ДНБ, инфляц, цахилгааны алдагдал болон дотоод хэрэглээ, халаалтын хэм/сар, нэг хүнд ногдох ДНБ гэх мэт хувьсагчдын ирээдүйн утгууд хэрэг болох магадлалтай. Энэ хэсэгт эдгээр нөхцөлүүдийг хэрхэн тавьснаа тайлбарлах бөгөөд Хүснэгт 1-т тайлагнав.

⁷ Гэнэн прогноз гэдэг нь $\hat{y}_{T+h} = y_T$ буюу дараа үеийн утга нь энэ үеийнхтэй адилхан байна гэж үздэг прогноз юм. Өгөгдөл санамсаргүй алхаа процессоос үүссэн бол гэнэн прогноз нь оновчтой байдаг тул санамсаргүй алхаа прогноз гэж нэрлэх нь бас бий.

Хүснэгт 1. Макро эдийн засаг, хүн ам, үнийн хэтийн төлөв

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ДНБ-ий өсөлт, дундаж	6	5.5	5	5	4.5	4.5	4.3	4.1	3.9	3.7
гутранги	3.2	3	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2
өөдрөг	7.2	6.6	6	6	5.4	5.4	5.2	4.9	4.7	4.5
Хүн ам, сая	3.41	3.47	3.54	3.60	3.66	3.72	3.77	3.83	3.89	3.95
Инфляц	7.76	7.64	7.01	6.46	6.00	6.42	6.94	7.00	6.87	7.03
Цахилгааны үнийн өөрчлөлт	-45.5	100	9.90	9.96	9.38	8.68	9.39	9.94	10.3	11.4

Тайлбар: Судалгаанд ашиглагдах эгзоген хувьсагчдын ирээдүйн утгын талаарх нөхцөлүүд. Бүгд хувиар илэрхийлэгдсэн.

3.5.1 Бодит Дотоодын нийт бүтээгдэхүүн

Бодит ДНБ-ий өсөлтийн прогнозыг Олон улсын валютын сан болон Дэлхийн банкны төслийн зөвлөх Thorncraft (2020)-аас авч ашиглав. Эдгээр прогноз нь дундаж, гутранги, өөдрөг гэсэн 3 хувилбартай бөгөөд шинэ мэдээлэл ашиглан хэрэглэгч өөрчлөх боломжтой.

3.5.2 Хүн ам

Үндэсний статистикийн хорооны Хүн амын хэтийн тооцоо 2010-2040 дахь прогнозыг ашиглав⁸. Уг тооцоо тодорхой давтамжтайгаар шинэчлэгддэг бөгөөд энд 2018 оны 10-р сарын 20-ны хувилбарыг ашиглав. Уг хувилбарт 2020, 2025, 2030 оны хүн амын тоог прогнозлосон байдаг бөгөөд завсрын онуудад хүн ам ижил хурдтайгаар өмнө гэсэн нөхцөл тавив.

3.5.3 Цахилгааны үнэ

Өгөгдлийн олдцоос хамааран цахилгааны үнийг ҮСХ-ны Улаанбаатар хотын орон сууцны 1 кв.ц-ын тарифаар тооцов⁹. Засгийн газраас Ковид-19 цар тахлын үед цахилгааны үнийг 2020 оны 12-р сараас 2021 оны 6-р сарыг дуустал тэглэсэн нь жилийн хамрагдах хугацаагаар 2018 оны үнийг бууруулна, 2022 онд эргэж 2018 оны үнээ сэргээнэ гэсэн нөхцөл тавив. Мөн 2023 оноос 2030 он хүртэл сүүлийн 10 жилийн дундаж өсөлтийн хурдаар цахилгааны нэрлэсэн үнэ нэмэгдэх болно гэж үзэв. Энэхүү нөхцөлийг хэрэглэгч өөрөө өөрчлөх боломжтой.

3.5.4 Хэрэглээний үнийн индекс

Цахилгааны бодит үнийн тооцоололд ашиглагдах Хэрэглээний үнийн улсын индексийг (ХҮҮИ)-ийг 2021-2030 онд сүүлийн 10 жилийн дундаж хурдтайгаар өснө гэж үзэв¹⁰.

4 Үр дүн

Энэхүү хэсэгт загваруудын үнэлгээ, статистик ач холбогдлын тухай эхлээд дурдаж дараа нь прогнозуудтай танилцана.

⁸ https://www.1212.mn/tables.aspx?TBL_ID=DT_NSO_0300_075V1

⁹ https://www.1212.mn/tables.aspx?TBL_ID=DT_NSO_0600_006V1

¹⁰ https://www.1212.mn/tables.aspx?TBL_ID=DT_NSO_0600_002V1

Хүснэгт 2. Регрессийн үр дүн

	Хамаралт хувьсагч:								
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
ДНБ	0.682*** (0.192)	0.670 (0.510)	1.485 (1.714)	1.267 (2.534)	0.135 (0.707)	1.573 (1.800)	0.384*** (0.095)	0.028 (0.172)	-0.055 (1.012)
Хүн амын тоо	2.244 (1.680)	2.660 (4.458)	-2.364 (14.992)	26.187 (22.163)	6.271 (6.185)	-8.232 (15.748)	4.179*** (0.881)	4.530* (2.185)	-1.003 (12.825)
Халаалтын хэм сар	0.065 (0.085)	-0.063 (0.225)	-0.919 (0.758)	-0.651 (1.121)	-0.047 (0.313)	1.120 (0.796)	-0.035 (0.048)	0.019 (0.080)	0.037 (0.469)
Цахилгааны бодит үнэ	-0.036 (0.027)	-0.127* (0.072)	-0.006 (0.243)	-0.495 (0.359)	0.069 (0.100)	0.205 (0.255)	-0.039** (0.015)	-0.239** (0.093)	-0.289 (0.544)
Оюу толгой	0.143*** (0.041)	0.125 (0.109)	0.028 (0.367)	-0.108 (0.542)	0.125 (0.151)	0.298 (0.385)	0.095*** (0.023)	-0.015 (0.038)	-0.121 (0.221)
Огтлогч	-0.035 (0.022)	-0.041 (0.057)	-0.010 (0.192)	-0.454 (0.284)	-0.050 (0.079)	0.059 (0.202)	-0.051*** (0.012)	-0.038 (0.037)	0.076 (0.219)
Үзэгдлийн тоо	28	28	28	28	28	28	29	22	22
R ²	0.727	0.338	0.134	0.197	0.181	0.132	0.856	0.388	0.046
Тохируулсан R ²	0.665	0.187	-0.063	0.015	-0.006	-0.065	0.825	0.197	-0.253
Үлдэгдлийн стандарт алдаа	0.038	0.101	0.340	0.502	0.140	0.357	0.021	0.033	0.195
F статистик	11.714***	2.243*	0.679	1.081	0.970	0.670	27.336***	2.029	0.153

Тайлбар: (1)-Нийт хэрэглээ, (2)-Үйлдвэр, барилгын хэрэглээ, (3)-Тээвэр, холбоон хэрэглээ, (4)-Хөдөө аж ахуйн хэрэглээ, (5)-Өрх, орон сууц, нийтийн аж ахуйн хэрэглээ, (6)-Бусад хэрэглээ, (7)-Нөөц, (8)-Төвийн бүсийн их ачаалал, (9)-Төвийн бүсийн бага ачаалал. *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01.

4.1 Загваруудын үнэлгээ

Хүснэгт 2-т тайлагнагдсан динамик регрессийн загварын үнэлгээнээс зөвхөн нийт цахилгааны хэрэглээ болон нөөцийн тэгшитгэлүүд маш өндөр буюу 1%-ийн түвшинд ач холбогдолтой, үйлдвэр, барилгын хэрэглээнийх 10%-ийн түвшинд ач холбогдолтой байгааг харж болно. Эдийн засгийн салбаруудын хэрэглээнийх нийтдээ ач холбогдолгүй байгааг тэдний хэрэглээг 2-р хэсэгт дурдагдсан ҮСХ-ны эдийн засгийн ангиллаар ялгалгүй, багцалсантай холбоотой байж болох юм. Төвийн бүсийн эрчим хүчний их, бага ачааллын тэгшитгэлүүд статистик ач холбогдолгүй байгаа нь мэдээлэл дөнгөж 1998 оноос хойш, 22 жилийн л мэдээлэлтэй байгаагаар холбоотой байж болно.

Нийт хэрэглээ болон нөөцийн тэгшитгэлд халаалтын хэм сарынхаас бусад хувьсагчдын коэффициентуудын онолтой ерөнхийдөө нийцтэй бөгөөд статистик ач холбогдолтой байна. Тухайлбал, эдийн засаг 1%-аар өсөхөд цахилгааны эрэлт 0.682% (хэрэглээгээр) болон 0.384% (нөөцөөр)-аар өсдөг, Оюу Толгойн уурхай нээгдсэн нь нийт цахилгааны хэрэглээг 14.3%-аар, нөөцийг 9.5%-аар нэмэгдүүлсэн гэх мэт. Цаашид бид нөөц, төвийн бүсийн их, бага ачааллыг тэгшитгэлүүдийг температурын мэдээлэлгүйгээр нь прогнолоход ашиглах болно.

4.2 Загваруудын прогноз

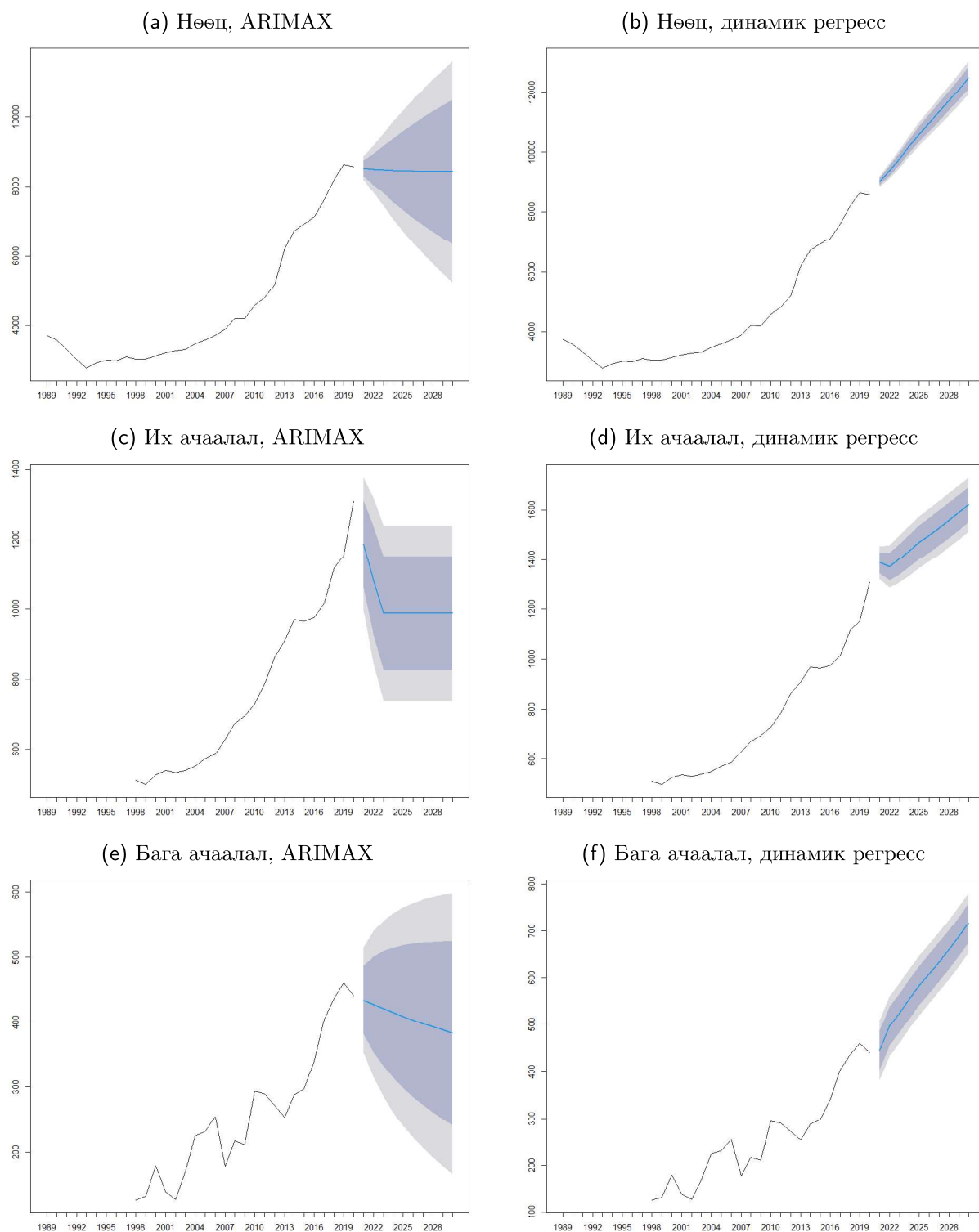
Зураг 8-д цахилгаан, эрчим хүчний нөөц, төвийн бүсийн их, бага ачааллын прогнозыг *ARIMAX* болон *ARIMA* алдааны хэсэгтэй динамик гэсэн 2 төрлийн загвар ашиглан дүрслэн харуулж байна. Загварын *ARIMA(p, d, q)* хэсгийн зэргийг автоматаар сонгосон үр дүнг Хүснэгт 3-ын 2-р баганаас харж болно. Динамик регрессийн хувьд энд зөвхөн ДНБ-ий ирээдүйн утгыг дунджаар төсөөлсөн үеийнх байгаа бөгөөд өөдрөг болон гутранги төсөөлөлтэй үеийнхийг багтаасан нийт прогноз Хүснэгт 4-т бий. Зурагт голч прогнозыг тод цэнхэр зураасаар, прогнозын 80%-ийн итгэлийн интервалыг тод саарлаар, 95%-ынхыг бүдэг саарлаар будав.

Эндээс хувьсагчдыг зөвхөн Оюу толгойн уурхайн нээлтийн хуурмаг хувьсагчтай хамт ашигласан *ARIMAX* загварын прогноз нь нарийвчлал муутай, мөн хүлээлтээс эсрэгээр, буурах чиг хандлагатай харагдаж байна. Харин динамик загварын хувьд нарийвчлал харьцангуй сайн, мөн эгзоген хувьсагчдын өсөн нэмэгдэх төсөөллийн улмаас мөн өсөн нэмэгдэх хандлагатай болж байна.

Хүснэгт 3-аас түүвэр доторх прогнозын нарийвчлал хэр ялгаатай байгааг харж болно¹¹. Хүснэгтийн эхний баганад прогнозлогдох хувьсагчид, 2-р баганад автоматаар сонгуулсан *ARIMA(p, d, q)* зэрэг, бусад багануудад 3.4-р хэсэгт тайлбарласан прогнозын түүвэр доторх нарийвчлалын хэмжигдэхүүнүүдийг тайлагнаж байна. Эдгээр нь бага байх тусам загвар сайн прогнозлож байна гэсэн үг учир динамик регрессийн загвар нь *ARIMAX*-аас хамаагүй илүү нарийвчлалтай болох нь харагдаж байна.

¹¹ Түүврийн хэмжээ хэт богино байгаа тул түүврийн гаднах прогнозын нарийвчлалыг 3.4-р хэсэгт тайлбарласны дагуу тогтоох боломжгүй байсан учир энэ удаад орхив. Тоо мэдээлэл нэмэгдэхийн хэрээр түүнийг хэрэгжүүлэх боломжтой болно.

Зураг 9. Цахилгаан, эрчим хүчний нөөц, төвийн бүсийн их, бага ачааллын 2 төрлийн загвараар прогноз, 2021-2030 он.



Голч прогнозыг тод цэнхэр зураасаар, прогнозын 80%-ийн итгэлийн интервалыг тод саарлаар, 95%-ынхыг бүдэг саарлаар будав.

Хүснэгт 3. Прогнозын нарийвчлал

		<i>ME</i>	<i>RMSE</i>	<i>MAE</i>	<i>MPE</i>	<i>MAPE</i>	<i>MASE</i>
Нөөц	ARIMAX (1,1,0)	35.05	167.93	126.94	0.73	2.83	0.56
	Динамик регресс (0,1,0)	-0.35	84.04	66.61	-0.09	1.56	0.30
Их ачаалал	ARIMAX (0,0,2)	2.71	88.60	69.69	6.23	12.51	2.90
	Динамик регресс (1,0,0)	-3.43	29.43	25.00	-0.40	4.32	1.04
Бага ачаалал	ARIMAX (1,0,0)	11.21	38.77	31.51	7.07	19.58	0.93
	Динамик регресс (0,0,0)	0.00	28.76	25.20	-3.44	11.55	0.74

Тайлбар: Эхний баганад прогнозлогдох хувьсагчид, 2-р баганад автоматаар сонгуулсан $ARIMA(p, d, q)$ зэрэг, бусад багануудад 3.4-р хэсэгт тайлбарласан прогнозын түүвэр доторх нарийвчлалын хэмжигдэхүүнүүдийг тайлагнаж байна. Эдгээр нь бага байх тусам загвар сайн прогнозлож байна гэсэн үг.

5 Дүгнэлт

Энэ ажилд Монгол Улсын цахилгааны нийт эрэлт болон их, бага ачааллыг тооцоолох аргачлалыг олон улсын жишгийн дагуу танилцуулж, бодит өгөгдөлд ашиглав. Нэг хувьсагчийн дотоод динамик тулгуурладаг ARIMAX загварын хувьд Ковид-19 цар тахлаас үүдэлтэй хөл хорионы улмаас цахилгааны эрэлт буурсан учир ирээдүйн төлөв байдал тун тодорхойгүй байхаар прогнозлогдож байна. Харин макро эдийн засаг, хүн амын өсөлт, болон бусад бодлогын хүчин зүйлсийн дундаж прогнозууд дээр суурилбал Монгол Улсын цахилгааны нөөц 2030 он гэхэд 12488.7 гВт.ц., Төвийн бүсийн эрчим хүчний системийн их ачаалал нь 1624.4 гВт.ц., бага нь 717.2 гВт.ц. байхаар прогнозлогдож байна.

Хүснэгт 4. Монгол улсын цахилгааны нөөц, Төвийн эрчим хүчний системийн их, бага ачааллын прогноз

ARIMAX										Динамик регресс									
Дундаж					Өсөлт					Гутрааги					Гутрааги				
Голч	80% до	95% до	80% дэ	95% дэ	Голч	80% до	95% до	80% дэ	95% дэ	Голч	80% до	95% до	80% дэ	95% дэ	Голч	80% до	95% до	80% дэ	95% дэ
А. Монгол улсын цахилгааны нөөц										Б. Төвийн эрчим хүчний системийн их ачаалал									
Дундаж										Өсөлт									
Голч	80% до	95% до	80% дэ	95% дэ	Голч	80% до	95% до	80% дэ	95% дэ	Голч	80% до	95% до	80% дэ	95% дэ	Голч	80% до	95% до	80% дэ	95% дэ
2021	8530.6	8304.6	8184.9	8756.7	8876.4	9024.3	8908.6	8847.4	9140.4	9201.3	9087.1	8951.4	8890.2	9182.8	9244.0	8924.5	8808.8	8747.6	9040.2
2022	8501.7	8048.3	7808.4	8955.0	9194.9	9382.4	9218.8	9132.2	9546.0	9632.6	9469.5	9305.9	9219.3	9633.1	9719.7	9185.1	9021.5	8934.7	9435.3
2023	8480.3	7793.4	7429.8	9167.2	9530.8	9781.1	9580.8	9474.7	9981.5	10087.6	9913.4	9713.0	9607.0	10113.8	10219.8	9490.6	9290.2	9184.2	9691.0
2024	8464.5	7547.9	7062.6	9381.1	9866.3	10195.9	9964.5	9842.0	10437.2	10549.7	10378.0	10146.6	10024.1	10609.3	10731.8	9801.2	9569.8	9447.4	10032.6
2025	8452.8	7315.1	6712.8	9590.6	10192.9	10605.9	10347.2	10210.3	10864.6	11001.5	10837.3	10578.7	10441.7	11096.0	11233.0	10113.4	9854.8	9717.8	10372.1
2026	8444.2	7095.9	6382.1	9792.6	10506.3	10975.5	11043.6	10881.6	11258.9	11408.9	11260.8	10977.4	10827.4	11544.2	11694.2	10374.8	10091.4	9941.4	10658.1
2027	8437.9	6890.1	6070.7	9985.7	11080.5	11349.7	11043.6	10881.6	11655.8	11817.8	11693.1	11387.0	11225.0	11999.1	12161.1	10639.2	10333.1	10171.1	10945.2
2028	8433.2	6696.8	5777.6	10169.6	11088.8	11727.3	11400.1	11226.9	12054.5	12227.7	12127.5	11800.3	11627.1	12454.8	12628.0	10906.0	10578.8	10405.6	11233.2
2029	8429.7	6515.0	5501.4	10344.5	11358.1	12107.4	11760.4	11576.7	12454.5	12638.2	12568.2	12221.1	12037.4	12915.2	13098.9	11175.1	10828.0	10644.3	11705.8
2030	8427.2	6343.6	5240.6	10510.8	11613.8	12488.7	12122.9	11929.2	12854.5	13048.2	13013.5	12647.7	12454.0	13379.3	13573.0	11445.6	11079.8	10886.1	12005.1
Б. Төвийн эрчим хүчний системийн их ачаалал										Б. Төвийн эрчим хүчний системийн бага ачаалал									
Дундаж										Өсөлт									
Голч	80% до	95% до	80% дэ	95% дэ	Голч	80% до	95% до	80% дэ	95% дэ	Голч	80% до	95% до	80% дэ	95% дэ	Голч	80% до	95% до	80% дэ	95% дэ
2021	1186.5	1061.5	995.4	1311.4	1377.5	1387.5	1343.7	1320.4	1431.4	1454.6	1384.7	1340.8	1317.6	1428.5	1451.7	1394.2	1350.4	1327.2	1461.3
2022	1081.1	925.6	843.3	1236.7	1319.0	1372.0	1316.1	1286.4	1427.9	1457.6	1366.1	1310.2	1280.6	1422.1	1451.7	1385.3	1329.3	1299.7	1441.2
2023	988.2	824.8	738.3	1151.6	1238.1	1402.9	1340.6	1307.6	1465.3	1498.3	1394.0	1331.7	1298.7	1456.4	1489.4	1422.5	1360.1	1327.1	1484.8
2024	988.2	824.8	738.3	1151.6	1238.1	1434.9	1368.9	1333.9	1500.9	1535.9	1422.7	1356.6	1321.7	1488.7	1523.6	1461.4	1395.4	1360.5	1527.5
2025	988.2	824.8	738.3	1151.6	1238.1	1469.7	1401.5	1365.4	1538.0	1574.1	1454.2	1385.9	1349.8	1522.4	1558.5	1502.8	1434.6	1398.5	1571.1
2026	988.2	824.8	738.3	1151.6	1238.1	1498.6	1429.0	1392.2	1568.2	1605.0	1479.4	1409.8	1373.0	1549.0	1585.8	1539.0	1469.4	1432.6	1608.6
2027	988.2	824.8	738.3	1151.6	1238.1	1528.6	1458.2	1420.9	1599.0	1636.3	1505.5	1435.1	1397.8	1576.0	1613.2	1576.4	1506.0	1468.7	1646.8
2028	988.2	824.8	738.3	1151.6	1238.1	1559.3	1488.3	1450.8	1630.2	1667.8	1532.4	1461.4	1423.9	1603.3	1640.9	1614.5	1543.6	1506.0	1685.4
2029	988.2	824.8	738.3	1151.6	1238.1	1590.4	1519.1	1481.4	1661.6	1699.4	1559.4	1488.2	1450.4	1630.7	1668.4	1653.1	1581.8	1544.1	1724.3
2030	988.2	824.8	738.3	1151.6	1238.1	1621.4	1549.9	1512.1	1692.8	1730.7	1586.1	1514.7	1476.8	1657.6	1695.4	1691.5	1620.1	1582.2	1800.8
В. Төвийн эрчим хүчний системийн бага ачаалал										В. Төвийн эрчим хүчний системийн их ачаалал									
Дундаж										Өсөлт									
Голч	80% до	95% до	80% дэ	95% дэ	Голч	80% до	95% до	80% дэ	95% дэ	Голч	80% до	95% до	80% дэ	95% дэ	Голч	80% до	95% до	80% дэ	95% дэ
2021	434.0	380.7	352.5	487.3	515.5	445.5	403.8	381.8	487.1	509.2	445.0	403.3	381.2	486.6	508.7	446.7	405.0	383.0	488.3
2022	427.3	353.4	314.4	501.1	540.2	497.1	455.5	433.4	538.8	560.8	496.1	454.4	432.3	537.7	559.8	499.5	457.8	435.8	541.1
2023	420.8	332.2	285.3	509.4	556.3	525.0	483.4	461.3	566.7	588.7	523.4	481.8	459.7	565.1	587.2	528.5	486.9	464.8	570.2
2024	414.6	314.4	261.3	514.9	568.0	553.8	512.1	490.1	595.5	617.5	551.6	509.9	487.9	593.3	615.3	558.5	516.9	494.8	592.2
2025	408.7	298.8	240.6	518.7	576.9	583.3	541.6	519.6	625.0	647.0	580.5	538.8	516.8	622.2	644.2	589.2	547.6	525.5	630.9
2026	403.0	284.9	222.4	521.2	583.7	608.4	566.8	544.7	650.1	672.1	605.0	563.3	541.3	646.7	668.7	615.7	574.0	551.9	657.3
2027	397.6	272.4	206.1	522.8	589.1	634.2	592.5	570.5	675.8	697.9	630.0	588.4	566.3	671.7	693.8	642.7	601.1	579.0	679.4
2028	392.4	261.0	191.5	523.7	593.2	660.8	619.1	597.1	702.5	724.5	656.0	614.3	592.3	697.6	719.7	670.7	629.0	607.0	712.3
2029	387.3	250.6	178.2	524.1	596.5	688.4	646.7	624.7	730.0	752.1	682.8	641.2	619.1	724.5	746.6	699.6	657.9	635.9	741.3
2030	382.5	241.0	166.0	524.1	599.0	717.2	675.6	653.5	758.9	781.0	710.9	669.3	647.2	752.6	774.6	729.8	688.1	666.1	771.4

Тайлбар: 3.4-р хэсэгт тайлбарласан прогнозын түүвэр доторх нарийвчлалыг загваруудаар тайлагнаж байна. Бага байх тусам сайн.

ЭШЛЭЛ

- Д. Монхор, Г. Яргай. 1991. Магадлалын онолын үндэс. Монгол Улсын Техникийн их сургууль.
- Б. Нүүрэй. 2010. Цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээний төлөвлөлтийн програм хангамж. ИТийн ХХК.
- Б. Эрдэнэбат. 2017. Хугацаан цуваан эконометрик. Адмон хэвлэлийн газар.
- Armstrong, J.S. 1978. Long-range forecasting: From crystal ball to computer. John Wiley & Sons.
- Chui, F., Elkamel, A., Surit, R., Croiset, E. & Douglas, P.L. 2009. Long-term electricity demand forecasting for power system planning using economic, demographic and climatic variables. *European Journal of Industrial Engineering* 3(3), 277-304
- Christoffersen, P.F. & Diebold, F.X. 1996. Further results on forecasting and model selection under asymmetric loss, *Journal of Applied Econometrics* 11, 561-571.
- Christoffersen, P.F. & Diebold, F.X. 1997. Optimal prediction under asymmetric loss, *Econometric Theory* 13, 808-817.
- Zunkaş, M. & A. A. Altun. 2010. Long term electricity demand forecasting in Turkey using artificial neural networks, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy* 5(3), 279-289
- Fan, S. & Hyndman, R.J. 2012. Short-term load forecasting based on a semi-parametric additive model. *IEEE Transactions on Power Systems*, 27(1), 134-141.
- Franses, P.H., van Dijk, D. & Opschoor, A. 2014. Time series models for business and economic forecasting. Cambridge University Press
- Gneiting, T. & Katzfuss, M. 2014. Probabilistic forecasting. *Annual Review of Statistics and Its Application*, 1(1), 125-151.
- Intelligent energy systems. 2020. World Bank Technical Assistance on Mongolia Energy Sector Master Plan Recommendations on Electricity Supply Strategy for Mongolia (2020-2030).
- Hong, T., Wilson, J., & Xie, J. 2014. Long Term Probabilistic Load Forecasting and Normalization With Hourly Information. *IEEE Transactions on Smart Grid* 5 (1), 456-462
- Hong, T. & Fan, S. 2016. Probabilistic electric load forecasting: A tutorial review. *International Journal of Forecasting* 32(3), 914-938
- Hyndman, R.J. & Fan, S. 2010. Density forecasting for long-term peak electricity demand, *IEEE Transactions on Power Systems*, 25(2), 1142-1153.
- Hyndman, R.J., & Fan, S. 2014. Monash Electricity Forecasting Model. Technical paper. robjhyndman.com/working-papers/mefm/
- Hyndman, R.J., & Koehler, A.B. 2006. Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting* 22, 679-688.
- Mohamed, Z. & Bodger, P. 2005. Forecasting electricity consumption in New Zealand using economic and demographic variables. *Energy* 30(10), 1833-1843
- Ramanathan, R., Engle, R., Granger, C. W. J., Vahid-Araghi, F., & Brace, C. 1997. Short-run forecasts of electricity loads and peaks. *International Journal of Forecasting* 13(2), 161-174.
- Taieb, B.S. & Hyndman, R.J. 2013. A gradient boosting approach to the Kaggle load forecasting competition. *International Journal of Forecasting*, 29(4).
- Thornton, H.E., Hoskins, B.J. & Scaife, A.A. 2016. The role of temperature in the variability and extremes of electricity and gas demand in Great Britain. *Environmental Research Letters* 11, 114015.
- Thorncraft, S. 2020. World Bank Technical Assistance on Mongolia Energy Sector Master Plan. Recommendations on Electricity Supply Strategy for Mongolia (2020-2030).
- Winkler, R.L. 1972. A decision-theoretic approach to interval estimation. *Journal of the American Statistical Association* 67(337), 187-191.