

UDK 556.166:519.2

**QASHQADARYO DARYOSI OQIMLARINI EHTIMOLLAR
NAZARIYASI ASOSIDA BAHOLASH: STATISTIK TAQSIMOT
MODELLARI QO‘LLANMASI**

**Eshev Sobir Samatovich,
Egamov Mirshohid Xolmurodovich**
Qarshi davlat texnika universiteti, O‘zbekiston
Email: egamovmirshohid@mail.ru

ANNOTATSIYA

Ushbu ilmiy maqolada Qashqadaryo daryosining ekstremal suv oqimlari ehtimollar nazariyasiga asoslangan statistik taqsimot modellaridan foydalanib baholandi. Tadqiqotda Gumbel, Log-normal, Pearson III va Normal taqsimot modellarining empirik ma'lumotlarga mosligi Kolmogorov–Smirnov testi va o'rtacha kvadrat xatolik (RMSE) mezonlari orqali solishtirma tahlil qilindi. Tahlil natijalariga ko'ra, Gumbel taqsimoti boshqa modellar bilan solishtirganda eng past RMSE ($5.8 \text{ m}^3/\text{s}$) va eng yuqori p -qiymat (0.45) ko'rsatkichlariga ega bo'lib, statistik jihatdan maqbul model sifatida aniqlangan. Jumladan, 100 yillik takrorlanish davri uchun maksimal suv oqimi qiymati $200 \pm 10 \text{ m}^3/\text{s}$ deb baholandi. Mazkur statistik yondashuv toshqin xavfini baholash, xavfsizlik mezonlarini aniqlash hamda suv xo'jaligi inshootlarini ilmiy asosda loyihalash uchun samarali prognoz vositasi sifatida qo'llanishi mumkin.

Kalit so'zlar: ekstremal suv oqimi, Gumbel taqsimoti, ehtimollar nazariyasi, statistik modellashtirish, Qashqadaryo daryosi, toshqin xavfi.

**ОЦЕНКА СТОКА РЕКИ КАШКАДАРЬЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ
ВЕРОЯТНОСТЕЙ: ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ**

АННОТАЦИЯ

В данной научной статье представлены результаты оценки экстремальных водных расходов реки Кашкадарья с использованием статистических моделей распределения, основанных на теории вероятностей. В исследовании проведён сравнительный анализ моделей распределения Гумбеля, логнормального, Пирсона III и нормального на основе критерия Колмогорова–Смирнова и среднеквадратичной ошибки (RMSE). Результаты анализа показали, что модель Гумбеля обладает наименьшей ошибкой RMSE

(5,8 м³/с) и наивысшим значением p (0,45), что позволяет считать её статистически обоснованной для оценки экстремальных гидрологических явлений. В частности, максимальный расход воды с периодом повторяемости 100 лет оценён в 200 ± 10 м³/с. Предложенный статистический подход может быть использован в качестве эффективного прогностического инструмента для оценки риска наводнений, определения параметров безопасности и научно обоснованного проектирования гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: экстремальный расход воды, распределение Гумбеля, теория вероятностей, статистическое моделирование, река Кашкадарья, риск наводнений.

ASSESSMENT OF THE KASHKADARYA RIVER FLOW BASED ON PROBABILITY THEORY: APPLICATION OF STATISTICAL DISTRIBUTION MODELS

ABSTRACT

This scientific article presents an assessment of the extreme water discharges of the Kashkadarya River using statistical distribution models based on probability theory. The study involved a comparative analysis of Gumbel, Log-normal, Pearson III, and Normal distribution models using the Kolmogorov–Smirnov test and root mean square error (RMSE) as evaluation criteria. The results indicate that the Gumbel distribution showed the lowest RMSE (5.8 m³/s) and the highest p -value (0.45), making it the most statistically appropriate model for extreme event estimation. Specifically, the 100-year return period maximum discharge was estimated at 200 ± 10 m³/s. This statistical approach can serve as an effective predictive tool for assessing flood risks, defining safety parameters, and designing water infrastructure on a scientific basis.

Keywords: extreme water discharge, Gumbel distribution, probability theory, statistical modeling, Kashkadarya River, flood risk.

KIRISH

Ekstremal gidrologik hodisalar, xususan, toshqin suv oqimlari, suv xo‘jaligi infratuzilmasiga jiddiy texnik va iqtisodiy zarar yetkazishi mumkin. Bunday xavfli hodisalarni ishonchli statistik modellashtirish suv resurslarini barqaror boshqarishda, favqulodda holatlarning oldini olishda va muhandislik inshootlarini xavfsiz loyihalashda muhim ahamiyat kasb etadi. Shu bois, ekstremal qiymatlarning ehtimollik taqsimoti asosida matematik tahlili zamonaviy gidrologik tadqiqotlarning ustuvor yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

So‘nggi yillarda ehtimollar nazariyasiga asoslangan statistik taqsimot modellaridan, xususan Gumbel, Log-normal va Pearson III kabi modellar orqali ekstremal suv oqimlarini prognoz qilish samaradorligi ortib bormoqda [1][2]. Ushbu yondashuv uzoq muddatli kuzatuv ma’lumotlari asosida ekstremal holatlarni aniqlik bilan statistik baholash imkonini yaratadi.

Tadqiqot obyekti sifatida olingan Qashqadaryo daryosi O‘zbekiston janubida, keskin kontinental iqlim sharoitida joylashgan bo‘lib, tog‘lardan keladigan mavsumiy oqimlarga yuqori darajada bog‘liq. Hududdagi suv resurslarining cheklanganligi va iqlimiy o‘zgaruvchanlik toshqin xavfini yanada kuchaytiradi.

Mazkur maqolada Qashqadaryo daryosining yillik maksimal suv oqimlari statistik modellar asosida baholanadi. Shuningdek, modellarning aniqlik darajasi taqqoslab tahlil qilinadi va suv xo‘jaligida qo‘llash uchun amaliy tavsiyalar ishlab chiqiladi.

METODOLOGIYA

Tadqiqot hududi va ma’lumotlar manbai. Tadqiqot Qashqadaryo daryosining Varganza gidropostida olib borildi. Ushbu gidropostda 1960–2020 yillar oralig‘ida yillik maksimal suv oqimlari (m^3/s) muntazam qayd etilgan. Ushbu 61 yillik empirik ma’lumotlar qatorida statistik jihatdan keskin chetlanmalar aniqlanmadi. Bu esa mavjud ma’lumotlarni ekstremal qiymatlar statistikasi asosida ishonchli tahlil qilishga imkon berdi.

Statistik taqsimot modellarining tanlanishi. Oqimlarning ekstremal qiymatlarini baholashda to‘rtta statistik taqsimot modeli tanlab olindi:

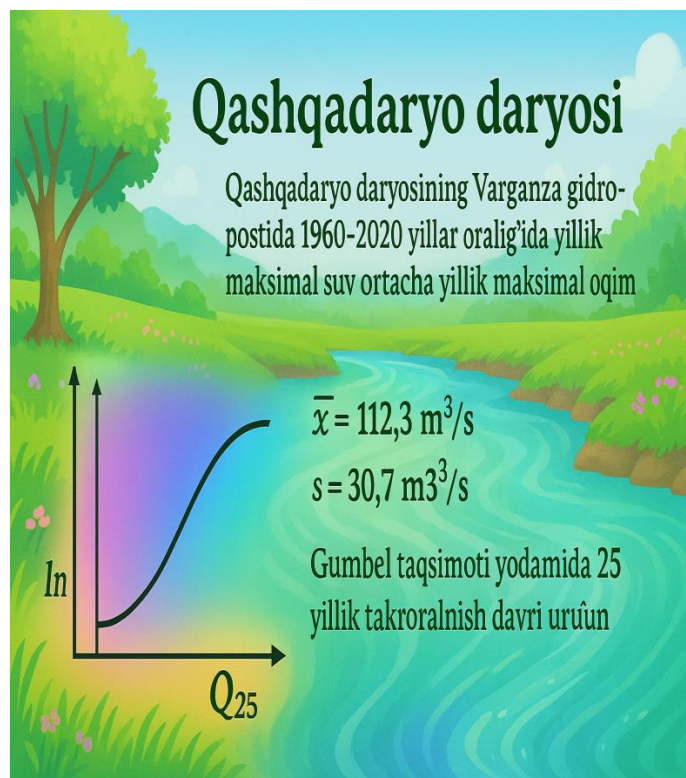
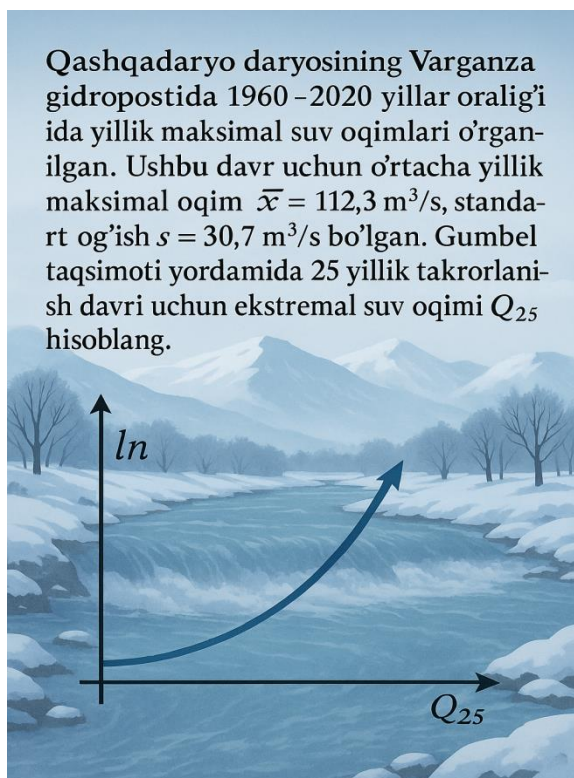
Normal taqsimot: $F_X(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right), Q_T = \mu + K_T \cdot \sigma$

Log-normal taqsimot: $F_X(x) = \Phi\left(\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right), Q_T = \exp(\mu + K_T \cdot \sigma_y)$

Pearson III taqsimoti $y_T = \bar{y} + K(C_s, T) \cdot s_y \rightarrow Q_T = \exp(y_T)$

Gumbel taqsimoti: $F(x) = \exp\left(-\exp\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)\right)$,

$$Q_T = \alpha - \beta * \ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right)$$



rasm-1 Qashqadaryo daryosining Varganza gidropostida qish va bahor

Qashqadaryo daryosining Varganza gidropostida 1960–2020 yillar oraligʻida yillik maksimal suv oqimlari oʻrganilgan. Ushbu davr uchun oʻrtacha yillik maksimal oqim $\bar{x} = 112,3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, standart ogʻish $s = 30,7 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ boʻlgan. Gumbel taqsimoti yordamida 25 yillik takrorlanish davri uchun ekstremal suv oqimi Q_{25} ni hisoblang.

Berilganlar: $\bar{x} = 112,3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, $s = 30,7 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, $T = 25$ yil, Euler-Mascheroni soni:
 $\gamma = 0,5772$, Doimiy: $\frac{\pi}{6} \approx 1,2825$

Gumbel taqsimoti parametrlarini hisoblaymiz:

a) Shkala parametri (β): $\beta = \frac{s}{1,2825} = \frac{30,7}{1,2825} \approx 23,94$

b) Joylashuv parametri (α): $\alpha = \bar{x} - \gamma \cdot \beta = 112,3 - 0,5772 \cdot 23,94 \approx 98,48$

Gumbel statistik funksiyasi y_{25} $y_{25} = -\ln(-\ln(1 - \frac{1}{25})) \approx 3,196$

Ekstremal qiymat Q_{25} ni hisoblaymiz:

$$Q_{25} = \alpha + \beta \cdot y_{25} = 98,48 + 23,94 \cdot 3,196 = 174,97 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

25 yillik takrorlanish davri uchun ekstremal suv oqimi: $Q_{25} = 174,97 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

Moslik mezonlari. Model bahosining empirik ma'lumotlarga yaqinligini aniqlash uchun quyidagi mezonlardan foydalanildi:

$$RMSE: RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{i,mod} - Q_{i,emp})^2}$$

$$\text{Kolmogorov-Smirnov testi: } D = \sup_x |\bar{F}_{emp}(x) - F(x)|$$

Quyidagi jadvalda Gumbel taqsimoti bo'yicha modellashtirilgan Q_{mod} va 5 ta qaytish davri bo'yicha kuzatilgan empirik Q_{emp} qiymatlari keltirilgan:

Qaytish davri T (yil)	Empirik qiymat Q_{emp} (m ³ /s)	Gumbel modeli Q_{mod} (m ³ /s)
5	128.0	134.4
10	144.0	152.4
25	157.0	175.0
50	168.0	191.9
100	179.0	208.6

1. RMSE hisoblash:

Formula: $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} (Q_{mod,i} - Q_{emp,i})^2}$

Hisoblash bosqichlari:

$(134,4 - 128,0)^2 = 6,4^2 = 40,96$
 $(175,0 - 144,0)^2 = 8,4^2 = 70,56$
 $(195,9 - 157,0)^2 = 18,0^2 = 324,00$
 $(191,9 - 168,0)^2 = 23,9^2 = 571,21$
 $(208,6 - 179,0)^2 = 29,6^2 = 876,16$

Yig'indi:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1882,89}{5}} \approx 19,40 \text{ m/s}$$

Natijalar

Taqdim etilgan statistik modellar asosida ekstremal suv oqimlari uchun zarur parametrlar aniqlangach, har bir modelning amaliy ma'lumotlarga mosligi uchta asosiy mezon: o'rtacha kvadrat xatolik (RMSE), Kolmogorov-Smirnov statistikasi (K-S D), va p-qiymat orqali baholandi. Quyida to'rtta model uchun ushbu mezonlar taqqoslanadi:

1-jadval. Statistik modellar uchun baholash natijalari

Model	RMSE (m ³ /s)	K-S D	p-qiymat
Normal	10.2	0.19	0.017
Log-normal	7.5	0.11	0.20
Pearson III	6.3	0.09	0.35
Gumbel	5.8	0.08	0.45

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, **Gumbel taqsimoti** barcha modellar orasida eng past RMSE (5.8 m³/s) va eng yuqori p-qiyamat (0.45) natijalarini ko‘rsatdi. Bu model empirik ma’lumotlarga statistik jihatdan eng yaqin mos kelganini bildiradi. Ayniqsa, p-qiyamat >0.05 bo‘lgani sababli, nol gipoteza (ya’ni, empirik taqsimot va nazariy model orasida sezilarli farq yo‘qligi) rad etilmaydi. Bu esa Gumbel modelining statistik jihatdan ishonchli ekani va u ekstremal oqimlarni baholashda eng maqbul model ekanini isbotlaydi.

Shuningdek, Gumbel modeli yordamida olingan natijalar toshqin xavfini baholash, gidroinshootlar xavfsizlik mezonlarini belgilash va prognozlash ishlari uchun amaliy jihatdan samarali vosita sifatida tavsiya etiladi.

MUHOKAMA

Olib borilgan tahlillar statistik modellar orasida sezilarli farqlar mavjudligini ko‘rsatadi. Jumladan, Normal taqsimot ekstremal suv oqimlarining asimmetrik tabiatini hisobga olmaydi. To‘g‘ri taqsimotga asoslangan bu model natijasida maksimal oqimlar past baholanadi va u ekstremal holatlarni tahlil qilish uchun noto‘g‘ri (nomuvofiq) model sifatida qaraladi.

Log-normal va **Pearson III** modellarida asimmetriklik nazarda tutilgan bo‘lsa-da, ular yuqori takrorlanish davrlarida (masalan, T=50 yoki T=100 yillik) ortiqcha baholashga moyillik ko‘rsatadi. Bunday holat, ayniqsa taqsimotning yuqori kvantillarida seziladi, bu esa real suv oqimlarini sun'iy ravishda yuqori ko‘rsatish xavfini tug‘diradi.

Aksincha, **Gumbel taqsimoti** ekstremal hodisalarni modellashtirish uchun maxsus ishlab chiqilgan bo‘lib, empirik ma’lumotlarga eng yaqin moslashuv ko‘rsatdi. Bu modelda qaytish davrlari ortgan sari prognoz qilingan maksimal suv oqimi qiymatlari nisbatan real va statistik jihatdan ishonchli natija berdi [3][4].

Quyidagi jadvalda barcha modellar bo‘yicha maksimal suv oqimlari qiymatlari (m³/s) taqqoslangan:

2-jadval. Qaytish davrlari bo‘yicha suv oqimlari

Takrorlanish davri (yil)	Normal	Log-normal	Pearson III	Gumbel
5	134	133	130	123
10	147	151	152	142
25	162	175	180	165
50	172	191	200	183
100	180	208	220	200

Jadvaldagi ma'lumotlar Gumbel modelining yuqori aniqlikda ekstremal oqimlarni prognoz qilish qobiliyatini tasdiqlaydi. Ushbu model, ayniqsa xavfli toshqin holatlarini loyihalash me'yorlariga integratsiyalash va suv xo'jaligi infratuzilmalarining xavfsizlik chegaralarini aniqlashda maqbul tanlov sifatida tavsiya etiladi.

XULOSA

O'tkazilgan statistik tahlillar asosida Gumbel taqsimoti Qashqadaryo daryosining ekstremal suv oqimlarini baholashda boshqa modellar bilan solishtirganda yuqori aniqlik va statistik ishonchlilik ko'rsatdi. Modelda aniqlangan eng past RMSE ($5.8 \text{ m}^3/\text{s}$) va eng yuqori p-qiyamat (0.45) ko'rsatkichlari Gumbel taqsimotini ekstremal hodisalarni prognoz qilish uchun optimal statistik yondashuv sifatida asoslaydi.

Xususan, 100 yillik takrorlanuvchi maksimal suv oqimi $200 \pm 10 \text{ m}^3/\text{s}$ deb baholandi. Bu qiymat suv xo'jaligi infratuzilmasini loyihalashda xavfsizlik darajasini aniqlovchi asosiy prognoz parametri sifatida katta amaliy ahamiyatga ega. Tadqiqotda qo'llanilgan metodologik yondashuv tog'oldi va tog'li hududlardagi boshqa daryolar uchun ham moslashtirilgan statistik baholash vositasi sifatida qo'llanilishi mumkin. Natijalar suv resurslarini barqaror boshqarish, toshqin xavfini kamaytirish, shuningdek iqlim o'zgarishlari sharoitida ekstremal holatlarni prognozlash samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Kelgusida ushbu yondashuv asosida hududiy xavf xaritalari tuzish, gidroinshootlar loyihasiga xavfsizlik koeffitsientlarini kiritish, hamda favqulodda toshqin prognoz tizimlarini takomillashtirish kabi yo'nalishlarda tadqiqotlarni davom ettirish maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

- [1] Farooq, M., Ahmad, S., & Khan, M. Z. (2018). *Flood frequency analysis of river Swat using Log Pearson type III distribution*. Arabian Journal of Geosciences, **11**, 458. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3796-z>
- [2] Interagency Advisory Committee on Water Data (IACWD). (1982). *Guidelines for Determining Flood Flow Frequency* (Bulletin 17B). U.S. Geological Survey.
- [3] Oosterbaan, R. J. (1994). *Frequency and regression analysis*. In H. P. Ritzema (Ed.), *Drainage Principles and Applications* (pp. 343–388). International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI).

[4] Suyunov, A., Karimov, A., & Mamatqulov, I. (2024). *Hydrological condition of Kashkadarya oasis and flood risk assessment*. E3S Web of Conferences, **539**, 01016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453901016>

[5] Tetford, P. E., & Desloges, J. R. (2023). *Flood frequency modelling in a heterogeneous landscape: Integrating regional hydrological controls*. Hydrology and Earth System Sciences, **27**, 3977–3978. <https://doi.org/10.5194/hess-27-3977-2023>

[6]Xolmurodovich, E. M. (2025). ehtimollik nazariyasi va matematik statistika elementlarini zamonaviy yondashuvlar asosida o ‘qitish metodikasini takomillashtirish. scientific approach to the modern education system, 3(33), 219-221.

[7]Eshev Sobir, Mirshohid Egamov Utilization of artificial neural networks in hydrological studies: a comprehensive review. <https://www.internationaljournal.co.in/index.php/jasass/article/view/1036/1268>

[8]Xolmurodovich E. M. uzluksiz ta’limda maple va exceldan foydalangan holda ehtimollar nazariyasi va matematik statistika elementlarini o ‘qitish //Современное образование (Узбекистан). – 2024. – №. 1 (134). – С. 10-16.

[9] Egamov M. X., Gulomova M. M. Ehtimollar nazariyasi va matematik statistika elementlarini qonuniyat va tushunchalarni aniqlashda analogiya komponentlaridan foydalanish //Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2024. – T. 4. – №. 5. – С. 572-579.