UDK: 556.53:528.94

GAT TEXNOLOGIYASI ASOSIDA QASHQADARYO DARYOSIDA SPI KO‘RSATKICHINI ANIQLASH

Mirzayev Sardor Safarali o‘g‘li[1]
tayanch doktoranti,
Madrimov Rajabboy Masharipovich[1]
Bo‘lim boshlig‘i b.f.f.d. (PhD) kat.i.x.
Jalilov Suyun Ravshan o‘g‘li[1]
laborant
1. Atrof-muhit muhofaza qilish texnologiyalari ilmiy tadqiqot instituti

Annotatsiya. *Ushbu maqolada Qashqadaryo daryosi havzasida oqim energiyasi va eroziya xavfini baholashda Stream Power Index (SPI) ko‘rsatkichidan foydalanildi. Tadqiqot ArcGIS Pro dasturi muhitida raqamli relyef modeli asosida amalga oshirildi. SPI ko‘rsatkichini aniqlash uchun DEM ma’lumotlari qayta ishlanib, Fill, Flow Direction, Flow Accumulation va Slope amallari bajarildi hamda Raster Calculator vositasi yordamida yakuniy SPI xaritasi hosil qilindi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, SPI qiymatlari yuqori bo‘lgan hududlar asosan suv oqimi to‘planadigan, qiyalik nisbatan yuqori va daryo tarmoqlari zich joylashgan zonalarga to‘g‘ri keladi. Bunday hududlarda oqimning yemiruvchi kuchi ortib, tuproq yuvilishi, jarlanish, qirg‘oq yemirilishi va daryo o‘zanining chuqurlashish xavfi kuchayadi. Tadqiqot natijalari Qashqadaryo daryosi bo‘yida qum-shag‘al qazib olish faoliyati ta’sirida yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan geomorfologik va ekologik xavflarni aniqlash, xavfli uchastkalarni xaritalash hamda monitoring tadbirlarini ilmiy asoslashda muhim ahamiyatga ega.*

Kalit so‘zlar: *Stream Power Index (SPI), ArcGIS Pro, DEM, eroziya, Qashqadaryo daryosi, qirg‘oq yemirilishi.*

Аннотация. *В данной статье при оценке энергии потока и риска эрозии в бассейне реки Кашкадарья использован показатель Stream Power Index (SPI). Исследование выполнено в среде программы ArcGIS Pro на основе цифровой модели рельефа. Для определения показателя SPI данные DEM были обработаны, выполнены операции Fill, Flow*

Direction, Flow Accumulation и Slope, а с помощью инструмента Raster Calculator была создана итоговая карта SPI. Результаты показали, что территории с высокими значениями SPI в основном соответствуют зонам, где накапливается водный поток, относительно высок уклон и густо расположена речная сеть. В таких районах возрастает размывающая сила потока, усиливается опасность смыва почвы, оврагообразования, размыва берегов и углубления русла реки. Результаты исследования имеют важное значение для выявления геоморфологических и экологических рисков, которые могут возникнуть под воздействием деятельности по добыче песчано-гравийных материалов вдоль реки Кашкадарья, картографирования опасных участков и научного обоснования мониторинговых мероприятий.

Ключевые слова: *Stream Power Index (SPI), ArcGIS Pro, DEM, эрозия, река Кашкадарья, размыв берегов.*

Abstract. *This article uses the Stream Power Index (SPI) indicator to assess flow energy and erosion risk in the Kashkadarya River basin. The study was carried out in the ArcGIS Pro software environment based on a digital elevation model. To determine the SPI indicator, DEM data were processed, the Fill, Flow Direction, Flow Accumulation, and Slope operations were performed, and the final SPI map was generated using the Raster Calculator tool. The results showed that areas with high SPI values mainly correspond to zones where water flow accumulates, the slope is relatively high, and river networks are densely distributed. In such areas, the erosive power of the flow increases, and the risk of soil washout, gully formation, bank erosion, and deepening of the river channel becomes stronger. The results of the study are important for identifying geomorphological and ecological risks that may arise under the influence of sand and gravel extraction activities along the Kashkadarya River, mapping hazardous sections, and scientifically substantiating monitoring measures.*

Keywords: *Stream Power Index (SPI), ArcGIS Pro, DEM, erosion, Kashkadarya River, bank erosion.*

Kirish. Daryo havzalarida yuz beradigan eroziya jarayonlari asosan relyef shakli, qiyalik darajasi, suv oqimining to‘planish xususiyati va daryo tarmoqlarining zichligi bilan chambarchas bog‘liq. Ayniqsa tog‘oldi va adir hududlarida suv oqimining relyef bo‘ylab yuqori energiya bilan harakatlanishi tuproq yuvilishi, jarlanish, daryo o‘zanining chuqurlashishi hamda qirg‘oq yemirilishi kabi geomorfologik jarayonlarni kuchaytiradi. Shu sababli daryo havzalarida oqim energiyasini fazoviy baholash eroziya xavfini aniqlash, xavfli uchastkalarni ajratish va monitoring ishlarini rejalashtirishda muhim ahamiyatga ega [1].

So‘nggi yillarda raqamli relyef modellari va GIS texnologiyalari asosida daryo havzalarining gidrologik va geomorfologik xususiyatlarini baholash keng qo‘llanilmoqda. Bunday yondashuvlarda Stream Power Index (SPI), Topographic Wetness Index (TWI), Sediment Transport Index (STI), LS-factor va boshqa relyefga bog‘liq ko‘rsatkichlar yordamida suv oqimining eroziya hosil qilish salohiyati tahlil qilinadi. SPI ko‘rsatkichi suv oqimining eroziya kuchini baholashda muhim indikatorlardan biri bo‘lib, u asosan oqim to‘planish maydoni va qiyalik burchagi asosida aniqlanadi. Raqamli balandlik modeli (DEM) ma’lumotlaridan keng foydalanish va Geografik axborot tizimiga (GAT) asoslangan tahlil usullaridagi yutuqlar sirt topografiyasini yuqori aniqlik va realizm bilan tasvirlash imkonini berdi [2].

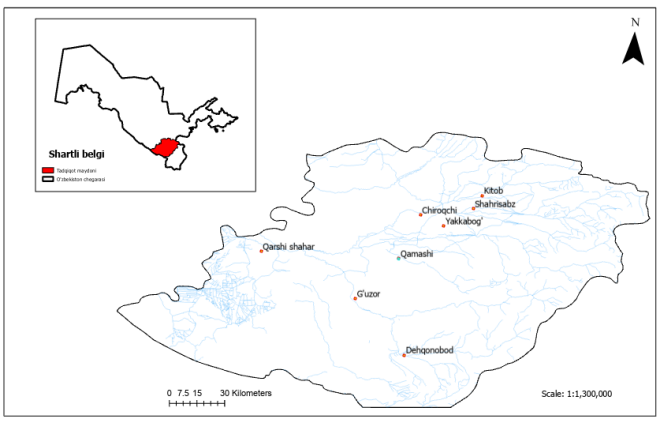
Stream power tushunchasining fizik asoslari Bagnold tomonidan rivojlantirilgan bo‘lsa, DEM va GIS asosida qo‘llaniladigan SPI ko‘rsatkichi Moore, Grayson va Ladson tomonidan 1991-yilda raqamli relyef tahlili doirasida keng ilmiy muomalaga kiritilgan [3]. Xalqaro tadqiqotlarda SPI ko‘rsatkichi daryo havzalarida eroziya xavfini aniqlash, jarlanishga moyil hududlarni baholash va cho‘kindi tashilishi ehtimoli yuqori bo‘lgan zonalarni ajratishda qo‘llanilmoqda. Jumladan, Seyhan daryosi havzasida SPI va TWI ko‘rsatkichlari 30 m o‘lchamdagi DEM asosida GIS muhitida hisoblanib,

yuqori SPI qiymatlari qiyalik yuqori va drenaj tarmoqlari zich joylashgan hududlarda eroziya sezuvchanligi ortishini ko‘rsatgan. SPI — oqim energiyasini oson topish usuli. SPI sirt oqimi natijasida yuzaga keladigan eroziya jarayonining kuchini ko‘rsatadi. U suv yig‘ish maydoni va daryoning qiyalik qismi yordamida o‘lchanadi. SPI oqim to‘planishi va qiyalikning hissa qo‘shadigan maydonidan kelib chiqqan ikkilamchi topografik atributdir. SPI kanalning eroziya kuchini aniqlaydi va cho‘kish (past yoki salbiy qiymatlar uchun) va eroziya maydonlari (musbat qiymatlar) uchun topografik potentsialni ifodalaydi. [4, 5, 6]

Qashqadaryo daryosi O‘zbekiston janubidagi muhim suv obyektlaridan biri bo‘lib, uning qirg‘oqbo‘yi hududlari xo‘jalik faoliyati, sug‘oriladigan yerlar, aholi punktlari va noruda materiallardan foydalanish bilan bog‘liq bosim ostida qolmoqda. Ayniqsa daryo o‘zani va qirg‘oqbo‘yi hududlarida qum-shag‘al qazib olish ishlari tabiiy gidromorfologik muvozanatga ta’sir ko‘rsatishi mumkin [7, 8].Yuqori SPI qiymatlariga ega zonalarda oqim energiyasi yuqori bo‘lgan tabiiy hududlar antropogen ta’sir natijasida daryo o‘zanining chuqurlashishi, qirg‘oq yemirilishi va cho‘kindi transportining o‘zgarishi xavfi yanada ortadi. Shu nuqtayi nazardan, Qashqadaryo daryosi hududida SPI ko‘rsatkichini ArcGIS Pro dasturi muhitida hisoblash va xaritalash ilmiy-amaliy ahamiyatga ega. Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi raqamli relyef modeli asosida Qashqadaryo daryosi bo‘yicha oqim energiyasini oddiy, tezkor va takrorlanadigan GIS usuli yordamida aniqlashdan iborat. Tadqiqot natijalari yuqori oqim energiyasiga ega eroziya xavfli uchastkalarni ajratish, qum-shag‘al qazib olish faoliyati bilan bog‘liq xavflarni baholash hamda daryo qirg‘oqlarini muhofaza qilishga qaratilgan monitoring tadbirlarini asoslashda foydalanilishi mumkin

Tadqiqot maydoni va metodikasi. Tadqiqot obyekti sifatida Qashqadaryo havzasi tanlab olindi (1-rasm). Qashqadaryo daryosi O‘zbekiston Respublikasining janubiy qismida joylashgan muhim gidrografik obyektlardan biri bo‘lib, viloyat hududida tabiiy relyef, daryo o‘zani,

qirg‘oqbo‘yi zonalari va antropogen faoliyat o‘zaro ta’sirda shakllangan murakkab geomorfologik tizimni hosil qiladi. Daryo havzasida tog‘oldi, adir va tekislik relyef shakllarining almashinishi suv oqimi tezligi, oqim yo‘nalishi, qiyalik darajasi va eroziya jarayonlarining hududiy farqlanishiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi.



1-rasm. Tadqiqot obekti

Tadqiqotda Qashqadaryo daryosi hududida oqim energiyasini baholash uchun raqamli relyef modeli (DEM) va ArcGIS Pro dasturi imkoniyatlaridan foydalanildi. Asosiy ma’lumot manbasi sifatida raqamli relyef modeli tanlanib, fazoviy aniqligi 30 m bo‘lgan (SRTM GL1 Global) asosida daryo havzasining qiyalik darajasi, oqim yo‘nalishi va suv to‘planish xususiyatlari aniqlandi. DEM ma’lumotlari ArcGIS Pro muhitida qayta ishlanib, gidrologik tahlil uchun tayyor holatga keltirildi.

SPI ko‘rsatkichini hisoblash jarayoni bir nechta ketma-ket bosqichlardan iborat bo‘ldi. Dastlab DEM ma’lumotlaridagi sun’iy chuqurliklar va noaniqliklarni bartaraf etish maqsadida Fill amali bajarildi. Bu bosqich suv oqimining relyef bo‘ylab to‘g‘ri yo‘nalishini aniqlashda muhim hisoblanadi. Keyingi bosqichda Flow Direction amali yordamida har bir piksel bo‘yicha suv oqimining qaysi yo‘nalishda harakatlanishi aniqlandi. Shundan so‘ng Flow Accumulation amali bajarilib, yuqori oqimdan kelib to‘planadigan suv miqdorini ifodalovchi raster qatlam hosil qilindi.

Qiyalik darajasini aniqlash uchun Slope amali qo‘llanildi. Ushbu qatlam suv oqimining relyef bo‘ylab harakatlanish tezligi va energiyasini

baholashda asosiy omillardan biri hisoblanadi. Chunki qiyalik ortgan sari suv oqimining yemiruvchi kuchi ham kuchayadi. Stream Power Index quyidagi formula asosida hisoblandi:

$$SPI = FA * 30 * \tan(Slope * 0.01745) \quad (1)$$

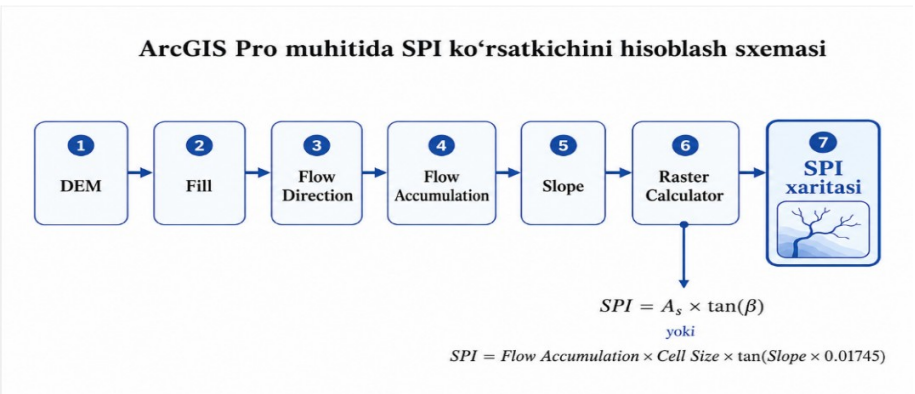
Bu yerda FA *Flow Accumulation, ya'ni oqim to'planishi*

β *qiyalik burchagi*

tanβ *qiyalikning tangens qiymati*

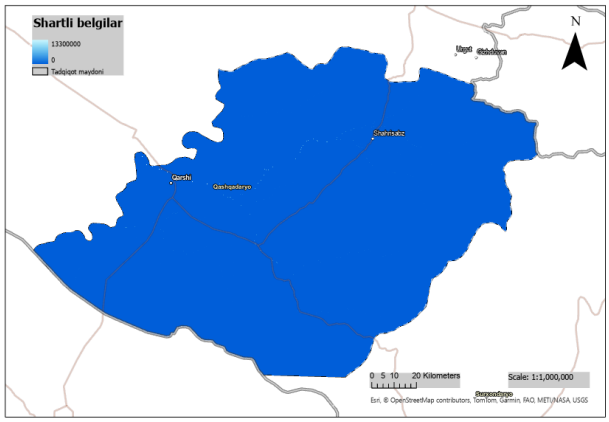
Slope *qiyalik*

1-jadval. Metodik sxema



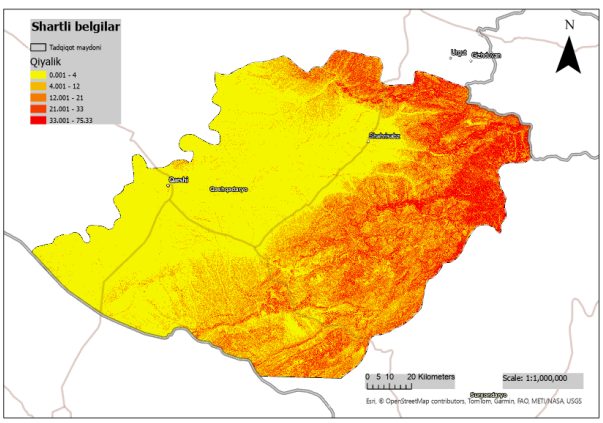
Tadqiqot metodikasining asosiy afzalligi shundaki, SPI ko'rsatkichi DEM ma'lumotlari asosida qisqa vaqt ichida hisoblanadi va daryo havzasida oqim energiyasi yuqori bo'lgan hududlarni fazoviy jihatdan aniqlash imkonini beradi. Bu esa Qashqadaryo daryosi bo'yida qum-shag'al qazib olish ishlari olib borilayotgan yoki rejalashtirilayotgan hududlarda eroziya xavfini dastlabki baholash, monitoring zonalarini belgilash va daryo qirg'oqlarini muhofaza qilish tadbirlarini ilmiy asoslashda muhim ahamiyatga ega.

Natijalar va muhokama. ArcGIS Pro dasturi yordamida fill asbobida kamchiliklari to'ldirilgan 30 m li DEM xarita flow direction asbobida oqim yo'nalishi topildi. Hosil bo'lgan raster xaritadan flow accumulation asbobida oqim to'planishi aniqlandi (2-rasm).



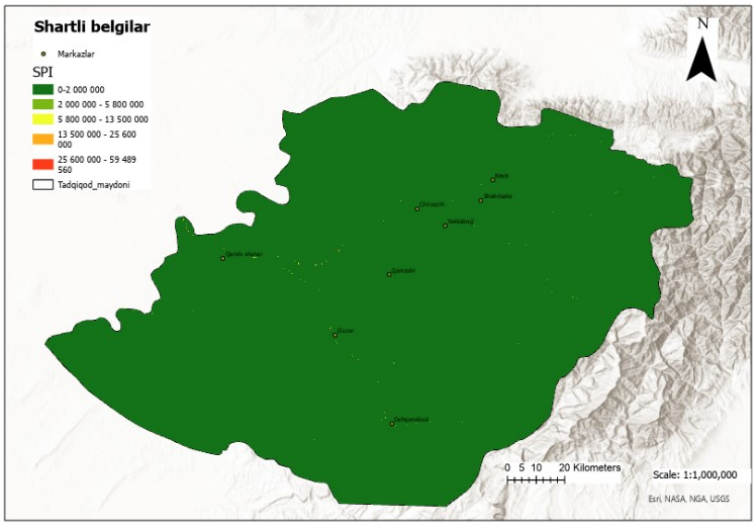
2-rasm. Tadqiqot hududida oqim to‘planishi

Shu bilan birga DEM xaritadan slope asbobida qiyalik darajasi topildi (3-rasm). Qiyalik qiymatlari 0-75,33 gacha bo‘lib, bu hududda tekisliklardan tortib tik yonbag‘irlargacha bo‘lgan relyef shakllari mavjudligini ko‘rsatadi.



3-rasm. Qiyalik

Raster calculator yordamida (1) formuladan foydalanib SPI ko‘rsatkichi hosil qilindi (4-rasm).



4-rasm. SPI natijasi

SPI qiymatlari $5,9*10^6$ gacha yetgani aniqlandi. Bu SPI uchun odatiy qiymat hisoblanib, odatda bir necha barobar kichik qiymatga aylantirishadi [1]. Natija shuni ko‘rsatadiki, umumiy baholanganda Qashqadaryo daryosida oqim energiyasi o‘rtacha, juda tez ham, juda sekin ham emas. Ammo cho‘kindi olib yurish uchun yetarli miqdorda oqim energiyasiga ega. Bu dala tadqiqotlarida ham isbotini topgan [8[.

SPI qiymatlari hudud bo‘yicha notekis taqsimlangan bo‘lib, past qiymatlar tekisliklarda, yuqori qiymatlar esa qiyalik katta va suv oqimi to‘planadigan hududlarda kuzatildi. Ayniqsa daryo o‘zani va unga yaqin hududlarda yuqori SPI qiymatlari aniqlanib, bu joylarda oqim energiyasi yuqori ekanligini ko‘rsatdi.

2-jadval. SPI ko‘rsatkichlarini tavsifi

SPI sinfi	**Tavsifi**	**Geomorfologik mazmuni**
Past SPI	Oqim energiyasi past	Eroziya xavfi nisbatan past
O‘rta SPI	Oqim shakllanishi mavjud	Mahalliy eroziya ehtimoli bor
Yuqori SPI	Oqim energiyasi yuqori	Jarlanish, o‘zan chuqurlashishi va qirg‘oq yemirilishi xavfi yuqori

Yuqori SPI zonalari eroziya jarayonlari, qirg‘oq yemirilishi va o‘zan chuqurlashishi ehtimoli yuqori bo‘lgan hududlar sifatida baholandi. Ushbu

natijalar daryo havzasida xavfli uchastkalarni aniqlash va monitoring qilish uchun muhim asos bo‘lib xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalari Qashqadaryo daryosi hududida SPI ko‘rsatkichidan oqim energiyasini baholashda samarali foydalanish mumkinligini ko‘rsatdi. SPI ko‘rsatkichi oddiy tuzilishga ega bo‘lsa-da, u daryo havzasida suv oqimining relyef bilan bog‘liq energiyasini fazoviy jihatdan ifodalash imkonini beradi. Indeksning asosiy afzalligi shundaki, u faqat raqamli relyef modeli asosida hisoblanadi va ArcGIS Pro muhitida qisqa vaqt ichida xaritalashtiriladi. Bu esa katta hajmdagi dala kuzatuvlarisiz ham eroziya xavfi yuqori bo‘lgan hududlarni dastlabki bosqichda aniqlash imkonini beradi. SPI qiymatining yuqori bo‘lishi suv oqimining relyef bo‘ylab katta energiya bilan harakatlanishini bildiradi. Bunday sharoitda oqimning yemiruvchi kuchi ortadi, natijada tuproq yuvilishi, jarlanish, o‘zan chuqurlashishi va qirg‘oq yemirilishi kabi jarayonlar faollashadi. Umuman olganda, olingan natijalar Qashqadaryo daryosi bo‘yida oqim energiyasi yuqori bo‘lgan hududlarni aniqlashda SPI ko‘rsatkichining ilmiy va amaliy ahamiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi.

Xulosa. Mazkur tadqiqotda SPI ko‘rsatkichi Qashqadaryo daryosi hududida oqim energiyasini baholash uchun dastlabki GIS yondashuv sifatida qo‘llanildi. Bu yondashuvning amaliy ahamiyati shundaki, u qum-shag‘al qazib olishga ruxsat berish, monitoring nuqtalarini tanlash va daryo qirg‘oqlarini muhofaza qilish tadbirlarini rejalashtirishda yordam berishi mumkin. Qum-shag‘al qazib olish jarayonida daryo o‘zanidan cho‘kindi materiallarning olib tashlanishi oqimning tabiiy muvozanatini buzishi mumkin. Buning natijasida daryo tubining chuqurlashishi, qirg‘oqlarning yemirilishi, oqim yo‘nalishining o‘zgarishi va pastki oqim hududlarida cho‘kindi balansining buzilishi kuzatiladi. Agar bunday qazib olish ishlari yuqori SPI qiymatlariga ega zonalarda amalga oshirilsa, mavjud tabiiy eroziya jarayonlari yanada kuchayishi ehtimoli ortadi. Xuddi shu kabi vaziyat Qashqadaryo daryosida kuzatilgan:

- Yuqori SPI qiymatlari asosan qiyalik katta bo‘lgan, suv oqimi to‘planadigan hamda daryo o‘zani va unga yaqin hududlarda kuzatildi. Bunday zonalarda tuproq yuvilishi, jarlanish, qirg‘oq yemirilishi va daryo o‘zanining chuqurlashishi xavfi yuqori bo‘lishi mumkin.

- Qashqadaryo daryosi bo‘yida qum-shag‘al qazib olish ishlari yuqori SPI qiymatlariga ega zonalarda olib borilsa, tabiiy eroziya jarayonlari antropogen ta’sir natijasida yanada kuchayishi ehtimoli mavjud. Shu sababli bunday hududlar xavfli uchastkalar sifatida alohida monitoring qilinishi lozim.

- SPI xaritasi Qashqadaryo daryosi hududida oqim energiyasi yuqori bo‘lgan zonalarni tezkor aniqlash, eroziya xavfini dastlabki baholash, qum-shag‘al qazib olish faoliyatini tartibga solish va daryo qirg‘oqlarini muhofaza qilish tadbirlarini ilmiy asoslashda muhim amaliy ahamiyatga ega.

Shu bilan birga, SPI ko‘rsatkichi eroziya xavfini baholashda yagona va yakuniy mezon sifatida emas, balki dastlabki geomorfologik indikator sifatida qaralishi kerak. Chunki eroziya jarayonlariga faqat oqim energiyasi emas, balki tuproq tarkibi, geologik tuzilish, o‘simlik qoplami, yog‘in miqdori, daryo suvi sarfi va antropogen faoliyat kabi boshqa omillar ham ta’sir qiladi. Shu sababli kelgusida SPI natijalarini RUSLE, TWI, STI, NDVI kabi boshqa GIS ko‘rsatkichlari hamda dala kuzatuvlari bilan solishtirish tadqiqotning aniqligini oshiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Güven O., Yıldırım Ü. Soil Erosion Susceptibility Assessment of the Seyhan River Basin Using Stream Power Index (SPI) and Topographic Wetness Index (TWI) //Turkish Journal of Applied Geoinformation Sciences. – **2026**. – Т. 8. – №. 1. – С. 28-38.

2. Conforti M., Ietto F. Testing the reliability of maximum entropy method for mapping gully erosion susceptibility in a stream catchment of calabria region (South Italy) //Applied Sciences. – **2023**. – Т. 14. – №. 1. – С. 240.

3. Tyagi A., Depina I., Godoy Leiva C. A. Generation of erosion hotspot zones along the streams by incorporating significant factors and deep

neural network //Modeling Earth Systems and Environment. – **2025**. – Т. 11. – №. 4. – С. 292.

4. Chowdhury M. S. Modelling hydrological factors from DEM using GIS. MethodsX, 10, 102062 [Электронный ресурс].

5. Nikolova V., Mitova M., Dimitrov E. Topographic factor of water erosion–analysis of watershed morphometry and RUSLE LS factor in GIS environment //Review of the Bulgarian Geological Society. – **2022**. – Т. 83. – №. 1. – С. 3-14.

6. Parker C., Davey J. Stream power indices correspond poorly with observations of alluvial river channel adjustment //Earth Surface Processes and Landforms. – **2023**. – Т. 48. – №. 6. – С. 1290-1304.

7. Salokhiddinov A. et al. Study of climate change patterns of the Kashkadarya River basin based on GIS technologies //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, **2023**. – Т. 386. – С. 06006.

8. Suyunov S.S. REGARDING 3 WATER SOURCES OF KASHKADARYA. (**2023**). *CURRENT RESEARCH JOURNAL OF HISTORY*, *4*(07), 21-26.