



**BIOCLIM MODELI ASOSIDA *FERULA SUMBUL* (KAUFFM.) HOOK. F.
TURINING EKOLOGIK NISHASI VA POTENSIAL TARQALISHINI BAHOLASH
(NUROTA QO‘RIQXONASI MISOLIDA).**

<https://doi.org/10.70728/a.series.v08.i02.008>

Abulfayzov H.Sh., Allamurodov A.L., Qilichev Sh.Sh., Karimov B.Q.
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Botanika instituti

Abstract. In this study, the ecological niche and potential distribution areas of *Ferula sumbul* (Kauffm.) Hook. f., an endemic species of major importance to the flora of Central Asia, were assessed within the Nuratau State Nature Reserve using the BIOCLIM model. Environmental data representing topographic, climatic, radiation, atmospheric, vegetation, and soil factors were obtained from the Google Earth Engine platform. Following correlation analysis, 17 independent predictor variables were selected for modeling. The model was constructed based on nine confirmed occurrence records. The results indicate that ecologically suitable habitats for the species are restricted to the southern–central part of the reserve, primarily on lower mountain slopes and foothill zones, covering only 2.18% (8.31 km²) of the total area. Variable importance analysis and PCA results reveal that the ecological niche of the species is mainly determined by slope aspect, slope gradient, and climatic factors, while soil and vegetation variables play a secondary role. These findings confirm that *Ferula sumbul* has a narrow ecological niche and is highly sensitive to climatic changes, providing an important scientific basis for the conservation and monitoring of this species within the Nuratau State Nature Reserve.

Keywords: *Ferula sumbul*; BIOCLIM model; ecological niche; potential distribution; endemic plants; Nuratau State Nature Reserve; climatic factors; PCA.

Аннотация. В настоящем исследовании на основе модели BIOCLIM была оценена экологическая ниша и потенциальные ареалы распространения эндемичного вида, имеющего важное значение для флоры Центральной Азии, — *Ferula sumbul* (Kauffm.) Hook. f., на территории Нуратауского государственного природного заповедника. В процессе моделирования были использованы экологические данные, включающие рельефные, климатические, радиационные, атмосферные, вегетационные и почвенные факторы, полученные с платформы Google Earth Engine. По результатам корреляционного анализа было отобрано 17 независимых предикторных переменных. Модель была построена на основе 9 достоверных точек присутствия вида. Полученные результаты показали, что экологически

благоприятные участки распространения вида ограничены южно-центральной частью заповедника и приурочены в основном к нижним горным склонам и предгорным зонам, занимая лишь 2,18 % (8,31 км²) от общей площади территории. Анализ значимости переменных и результаты РСА свидетельствуют о том, что экологическая ниша вида в первую очередь определяется экспозицией склонов, крутизной склонов и климатическими факторами, тогда как почвенные и вегетационные параметры играют второстепенную роль. Полученные данные подтверждают, что вид характеризуется узкой экологической нишей и высокой чувствительностью к изменениям климата, что имеет важное значение для научного обоснования мер по охране и мониторингу *Ferula sumbul* в Нуратауском государственном природном заповеднике.

Ключевые слова: *Ferula sumbul*; модель BIOCLIM; экологическая ниша; потенциальное распространение; эндемичные растения; Нуратауский государственный природный заповедник; климатические факторы; РСА.

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda Markaziy Osiyo florasi uchun muhim bo‘lgan endemik tur — *Ferula sumbul* (Kauffm.) Hook. f. turining Nurota davlat tabiat qo‘riqxonasiidagi ekologik nishasi va potensial tarqalish hududlari BIOCLIM modeli asosida baholandi. Modellash tirish jarayonida relyef, iqlim, radiatsiya, atmosfera, vegetatsiya va tuproq omillarini o‘z ichiga olgan ekologik ma’lumotlar Google Earth Engine platformasidan olinib, korrelyatsiya tahlili orqali 17 ta mustaqil bashoratlovchi omil tanlab olindi. Model 9 ta haqiqiy mavjudlik nuqtalari asosida qurildi. Natijalarga ko‘ra, turning ekologik jihatdan qulay hududlari qo‘riqxonaning janubi-markaziy qismidagi past tog‘ yonbag‘irlari va tog‘ etaklari bilan chegaralanib, umumiy maydonning atigi 2,18 % ini (8,31 км²) tashkil etdi. O‘zgaruvchilar muhimligi va PCA natijalari turning ekologik nishasi asosan yonbag‘ir ekspozitsiyasi, nishablik va iqlim omillari bilan belgilanishini, tuproq va vegetatsiya omillari esa ikkilamchi rol o‘ynashini ko‘rsatdi. Olingan natijalar turning tor ekologik nishaga ega va iqlim o‘zgarishlariga sezgir ekanligini tasdiqlab, Nurota qo‘riqxonasiida ushbu turning muhofazasi va monitoringini ilmiy asoslash uchun muhim ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: *Ferula sumbul*; BIOCLIM modeli; ekologik nisha; potensial tarqalish; endemik o‘simliklar; Nurota davlat tabiat qo‘riqxonasi; iqlim omillari; PCA.

Kirish. Endemik o‘simlik turlari ekologik va evolyutsion nuqtai nazardan muhim bo‘lib, biogeografik tadqiqotlar hamda konservatsiya strategiyalarida asosiy obyekt hisoblanadi [1]. Markaziy Osiyoda joylashgan Nurota tog‘lari yuqori floristik xilma-xilligi va endemik turlari bilan ajralib turadi. Bu hududdagi ko‘plab o‘simliklar faqat shu mintaqaga xos bo‘lib, iqlim va antropogen omillarga sezgirdir [14]. Iqlim o‘zgarishi endemik turlar uchun jiddiy tahdid tug‘diradi, chunki ularning areali kichik va o‘zgaruvchan iqlim sharoitlariga bevosita bog‘liq. Shu sababli turlar tarqalishini iqlim

omillari asosida modellashirish ekologik tadqiqotlar va saqlash strategiyalarini ishlab chiqishda muhimdir.

BIOCLIM modeli mavjud tur nuqtalaridagi iqlim parametrlarini tahlil qilib, o‘simlik uchun eng qulay hududlarni aniqlash imkonini beradi [3,11]. Tadqiqot hududi sifati Nurota davlat qo‘riqxonasi tanlab olindi.

Tadqiqot obyekti sifatida Markaziy Osiyo uchun endem hisoblangan *Ferula sumbul* (Kauffm.) Hook. olindi. Ushbu tur ko‘p yillik, polikarpik o‘simlik bo‘lib, bo‘yi odatda 1–1,5 m gacha yetadi, poyasi bir necha dona, dastlab yengil tukchali, keyinchalik butunlay tuksiz holga o‘tadi, poya tag qismida qurigan barglarning tolamsimon qoldiqlari saqlanadi, barglari doimiy va qattiq tuzilishga ega bo‘lib, pastki tomonida siyrak tukchalar bilan qoplangan, ildizoldi barglari uzun bandli va uch marta patsimon bo‘lingan, poya barglari kichiklashib yuqoriga tomon qisqaradi, sariq rangli mayda gullari murakkab soyabon to‘plamlarini hosil qiladi, iyun–iyul oylarida gullab, iyul–avgustda mevalaydi, mayda tuproqli va toshli tog‘ yonbag‘irlari, sochma toshlar hamda qoyali joylarda, dengiz sathidan 1300–1900 m balandliklarda tarqalgan bo‘lib, Markaziy Osiyo (Pomir–Olay) hududlarida uchraydi hamda O‘zbekiston Qizil kitobida 3-toifa, ya’ni soni kamayib borayotgan tur sifatida muhofaza ostiga olingan [2].

Ushbu tadqiqotda Nurota qo‘riqxonasida *F. sumbul* turining iqlim omillari ta’sirida potentsial tarqalish hududlari BIOCLIM modeli asosida aniqlanib, o‘simlikning ekologik ehtiyojlarini tushunish va saqlash strategiyalarini ishlab chiqishda ilmiy asos yaratish maqsad qilingan.

Material va metodlar

Ekologik omillarni yig‘ish. Ushbu tadqiqotda *F. sumbul* turining potentsial tarqalishini aniqlash maqsadida relyef, iqlim, vegetatsiya, radiatsiya, atmosfera va tuproq omillarini o‘z ichiga olgan 41 ta ekologik o‘zgaruvchi yig‘ildi. Barcha ma’lumotlar *Google Earth Engine (GEE)* platformasidan olinib, 1 km fazoviy o‘lchamga moslashtirildi [8]. Relyef ko‘rsatkichlari *SRTM* raqamli balandlik modeli asosida balandlik, qiyalik, ekspozitsiya va topografik namlik indeksi shaklida hisoblandi [5]. Vegetatsiya omillari *MODIS MOD13A2 NDVI* ma’lumotlaridan 2020–2024 yillarda olingan bo‘lib, o‘suv davri uchun *NDVI_max*, *NDVI_min*, *NDVI_mean* va *NDVI_range* qiymatlari hosil qilindi [4]. Radiatsiya parametrlari *GLDAS* ma’lumotlari asosida aniqlanib, yillik, maksimal, issiq va nam mavsum radiatsiya qatlamlari yaratildi [12]. Yog‘ingarchilik uchun *CHIRPS* ma’lumotlaridan nam mavsumdagi o‘rtacha yog‘ingarchilik hisoblandi [7]. Harorat va atmosfera ko‘rsatkichlari *MODIS MOD11A2* hamda *ERA5* reanaliz ma’lumotlari asosida o‘rtacha tungi sirt harorati va shamol tezligi sifatida olinib, *MOD09GA* mahsulotidan o‘rtacha bulutlilik aniqlangan [15,10,13]. Tuproq omillari *SoilGrids* ma’lumotlar bazasidan 0–5 sm chuqurlikda qum, loy, shilimshiq, pH va organik uglerod qiymatlari shaklida yuklab olindi [9]. Shuningdek, *WorldClim v2.1* bazasidan 19 ta bioiqlimiy ko‘rsatkich (*BIO1–BIO19*) 1 km o‘lchamda olinib, iqlimiy omillar sifatida modelga kiritildi [6].

Barcha qatlamlar tadqiqot hududiga kesilib, WGS84 koordinata tizimida *GeoTIFF* formatda eksport qilindi va *BIOCLIM* modeliga kiritildi.

BIOCLIM modeli va ekologik omillarni tanlash.

Turlar ekologik nishini aniqlash hamda ularning potentsial tarqalish maydonlarini baholash maqsadida *BIOCLIM* modeli qo‘llanildi. Model turning haqiqiy tarqalish nuqtalarida qayd etilgan ekologik sharoitlarni tahlil qilib, shu qiymatlar oralig‘ida turning yashashga yaroqli potentsial hududlarini aniqlaydi. Ushbu model “*environmental envelope*” yondashuviga asoslanadi, ya’ni turning ekologik nishi har bir bahsoratlovchi omil bo‘yicha minimal–maksimal qiymatlar oralig‘ida shakllanadi. Modelni yaratishda korrelyatsiya tahlilidan so‘ng tanlab olingan 17 ta mustaqil ekologik omil, jumladan iqlimiy, edafik, topografik, vegetatsion va atmosferik o‘zgaruvchilar qo‘llanildi hamda modellashtirish jarayonida turning 9 ta geografik mavjudlik nuqtasi (koordinatalari) asosiy kirish ma’lumotlari sifatida ishlatildi. Modelni qurish R dasturida amalga oshirildi. Ekologik modellashtirishda ishlatiladigan omillar ko‘pincha o‘zaro kuchli bog‘liqlikka ega bo‘lgani sababli, tadqiqotda multikolinearlikni kamaytirish maqsadida korrelyatsiya tahlili o‘tkazildi. Dastlab jami 41 ta ekologik bashoratlovchi omillar qatlami Pearson korrelyatsiya koeffitsienti yordamida baholandi va $|r| \geq 0.7$ bo‘lgan yuqori darajada o‘zaro bog‘liq omillar tahlildan chiqarildi. Natijada, asosan harorat, yog‘ingarchilik va radiatsiya bilan bog‘liq bo‘lgan, bir-birini takrorlovchi 24 ta omil modeldan chiqarildi.

Korrelyatsiya tahlilidan so‘ng o‘zaro past bog‘liqlikka ega bo‘lgan 17 ta ekologik omil modellashtirish uchun saqlab qolindi. Ushbu omillar iqlim (*bio_2*, *bio_3*, *bio_8*, *bio_19*), tuproqning mexanik va kimyoviy tarkibi (*SOC*, *sand*, *silt*, *clay*), relyef va gidrologik sharoitlar (*Asp*, *Slp*, *twi*), atmosfera omillari (*Cloud*, *Wnd_speed*, *avg_wet_Prcp*), quyosh radiatsiyasi (*wet_season_Rad*) hamda o‘simlik qoplamasining mavsumiy dinamikasini ifodalovchi *NDVI* ko‘rsatkichlarini o‘z ichiga oladi. Natijada, takroriy ma’lumotlar kamaytirilib, *BIOCLIM* modeli yordamida turning ekologik nishini yanada aniq va ishonchli baholash imkoniyati yaratildi.



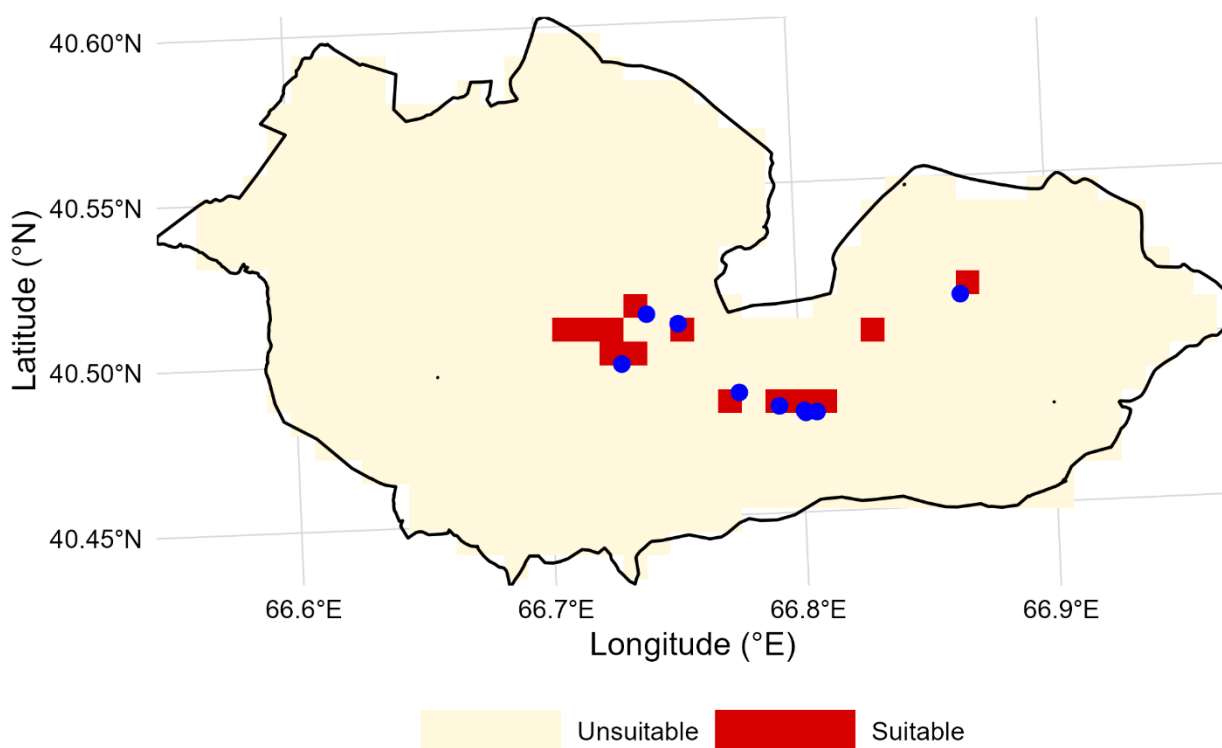
1-rasm. BIOCLIM modeli uchun tanlangan asosiy ekologik omillar

Olingan natijalar va ularning muhokamasi.

BIOCLIM modeli asosida amalga oshirilgan ekologik nishani modellashtirish natijalariga ko‘ra, turning potensial tarqalish maydoni asosan Nurota tog‘ tizmasining markaziy qismini janubiy yonbag‘rida joylashgan bo‘lib, turning ekologik jihatdan qulay yashash muhiti past tog‘ yonbag‘irlari hamda tog‘ etaklari bilan chegaralanishi aniqlangan. Modellashtirish natijalari turning tarqalishi relyefning mo‘tadil balandlik zonalari, nisbatan barqaror mikroiqlim sharoitlari va yarim quruq landshaftlar bilan chambarchas bog‘liqligini ko‘rsatadi, bu esa turning ekologik talablari tog‘li hududlarning yuqori balandliklari yoki tekis cho‘l zonalari nisbatan past tog‘ landshaftlarida yaxshiroq namoyon bo‘lishini tasdiqlaydi. Maydoniy tahlil natijalariga ko‘ra, qulay (*suitable*) yashash hududlari 8,31 km² ni tashkil etib, bu umumiy o‘rganilgan hududning 2,18 % iga teng, holbuki noqulay (*unsuitable*) hududlar 372,53 km² yoki 97,82 % ni egallagan, natijada jami modellashtirilgan maydon 380,84 km² ga teng bo‘ldi. Ushbu ko‘rsatkichlar turning ekologik

nishi nisbatan tor ekanligini, turning faqat ma’lum geomorfologik va iqlimiy sharoitlarda barqaror populyatsiyalar hosil qila olishini yaqqol namoyon etadi.

Modellashtirish natijalarida xaritada qizil rang bilan belgilangan piksel maydonlar turning ekologik jihatdan mos yashash muhitlarini, ko‘k nuqtalar esa dala kuzatuvlari orqali aniqlangan haqiqiy uchrashuv joylarini ifodalaydi. Ko‘rinib turibdiki, aniqlangan mavjudlik nuqtalarining katta qismi model tomonidan bashorat qilingan qulay hududlar bilan ustma-ust tushib, BIOCLIM modeli natijalarining yuqori aniqlik darajada turning real tarqalishini aks ettirishini tasdiqlaydi. Ushbu moslik modeli nafaqat turning hozirgi tarqalish xususiyatlarini baholashda, balki kelajakda iqlim o‘zgarishi sharoitida turning potensial tarqalish dinamikasini bashorat qilishda ham muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

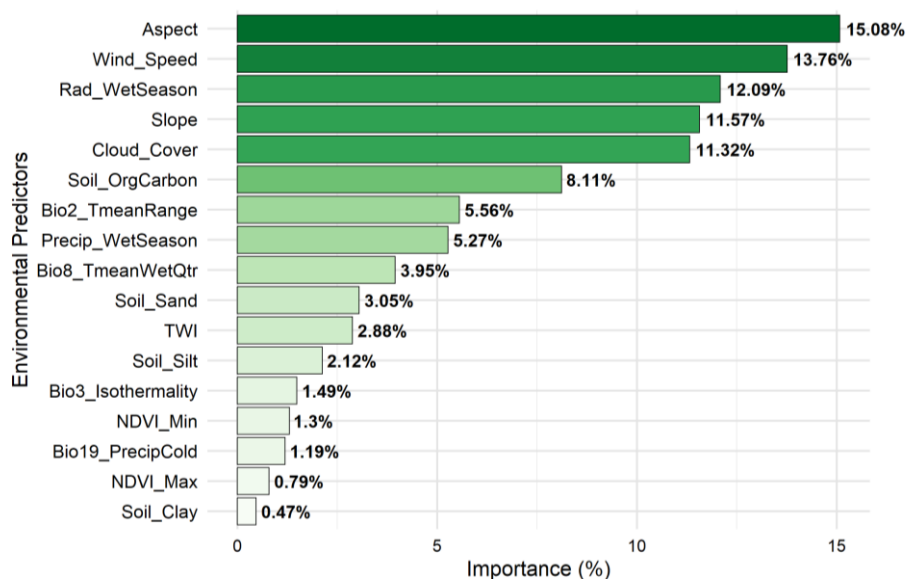


2-rasm. Yashash muhiti mosligi

Model tahliliga ko‘ra, turning tarqalishiga eng katta ta’sirni relyef yo‘nalishi (Aspect, 15.08%) ko‘rsatib, janubi-g‘arbiy ekspozitsiyalarga xos bo‘lgan yuqori quyosh nurlanishi, issiq va quruq mikroiklim sharoitlarida turning barqaror populyatsiyalar hosil qilishini ta’minlasa, shamol tezligi (Wind_Speed, 13.76%) urug‘larning tabiiy tarqalishini kuchaytirish va suv bug‘lanishini oshirish orqali turning ochiq va yarim cho‘l landshaftlariga moslashganligini ifodalaydi, nam mavsumdagi quyosh radiatsiyasi (Rad_WetSeason, 12.09%) fotosintez faolligi va vegetatsiya o‘shishini rag‘batlantiruvchi muhim omil sifatida namoyon bo‘lib, nishablik (Slope, 11.57%) esa suv oqimi va tuproq namligini boshqarish orqali o‘rtacha qiyalikdagi hududlarning ekologik jihatdan eng qulay ekanligini ko‘rsatadi.

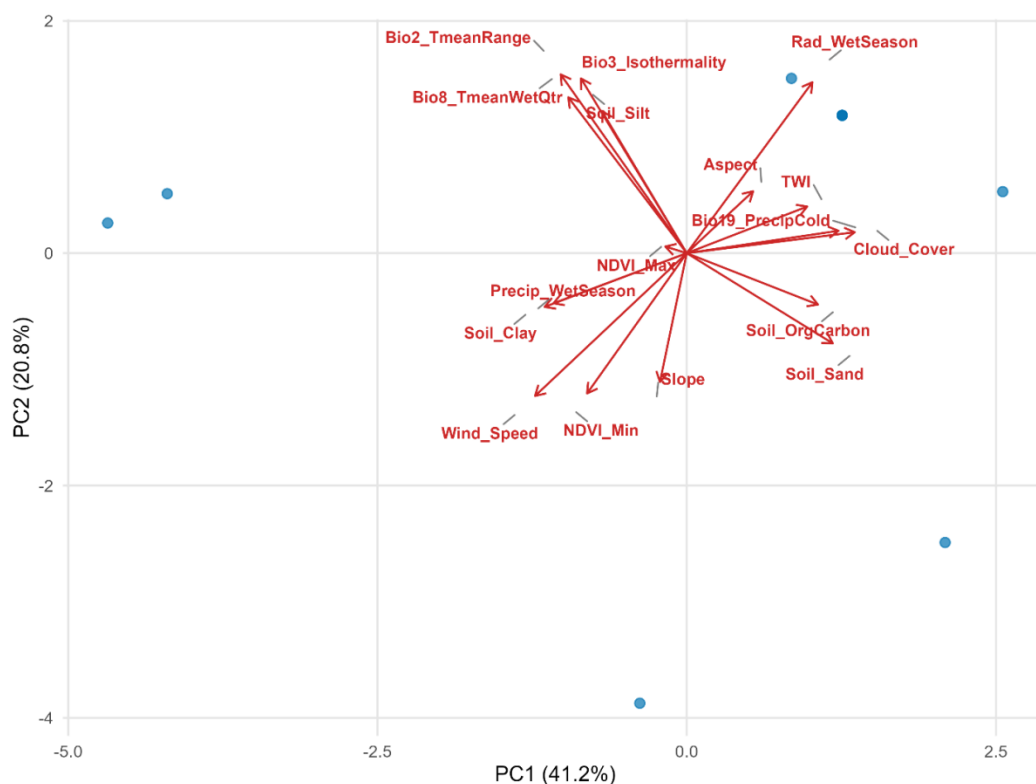
Shu bilan birga bulutlilik darajasining past bo‘lishi (Cloud_Cover, 11.32%) yuqori quyoshli kunlar sonini ta’minlab turning ochiq maydonlarni afzal ko‘rishini tasdiqlaydi, tuproq va namlik bilan bog‘liq omillar — tuproq organik uglerodi (Soil_OrgCarbon,

8.11%), kunlik harorat tebranishi (Bio2_TmeanRange, 5.56%), nam mavsum yog‘ingarchiligi (Precip_WetSeason, 5.27%) va nam chorakdagi o‘rtacha harorat (Bio8_TmeanWetQtr, 3.95%) turning vegetatsiya davridagi suv va energiya balansini qo‘llab-quvvatlovchi ikkilamchi omillar sifatida namoyon bo‘lsa, tuproqning mexanik tarkibi (Soil_Silt, Soil_Sand, Soil_Clay), gidrologik indeks (TWI), iqlim barqarorligi ko‘rsatkichi (Bio3_Isothermality), sovuq chorak yog‘ingarchiligi (Bio19_PrecipCold) hamda vegetatsiya qoplamasi indeksleri (NDVI_Min va NDVI_Max) nisbatan past hissaga ega bo‘lib, turning ekologik nishi asosan relyef va iqlim omillari bilan belgilanib, edafik va vegetatsion omillar yordamchi rol o‘ynashini ilmiy jihatdan asoslab beradi.



3-rasm. Omillar ahamiyati (%) *Ferula sumbul* (Kauffm.) Hook. f.

PCA natijalariga ko‘ra, birinchi ikkita komponent umumiy dispersiyaning 62 % qismini tashkil etadi: PC1 41.2 %, PC2 20.8 %. PC1 o‘qi asosan *Soil_OrgCarbon*, *Soil_Sand*, *Precip_WetSeason* va *Cloud_Cover* bilan ijobiy bog‘langan bo‘lib, turning tuproq unumdorligi, yog‘in miqdori va bulutlilik darajasi bilan bevosita aloqadorligini bildiradi. PC2 esa *Bio2_TmeanRange*, *Bio8_TmeanWetQtr* va *Bio3_Isothermality* omillari bilan bog‘liq bo‘lib, bu turning harorat barqarorligi va nam davrlardagi o‘rtacha haroratga sezgirlikini ifodalaydi. Biplotda turning asosiy yo‘nalishi *Bio19_PrecipCold*, *Rad_WetSeason*, *TWI* va *Aspect* omillari tomon yo‘nalgan. Bu esa turning nishab, yaxshi drenajlangan, bahorgi yog‘in bilan namlanadigan tuproqlarda, quyosh nuri yetarli bo‘lgan yonbag‘ir zonalarida o‘shishini ko‘rsatadi. *Soil_Clay* va *Wind_Speed* bilan salbiy korrelyatsiya turning og‘ir mexanik tarkibli yoki shamolli, quruq hududlarda yomon moslashishini bildiradi. Ekologik jihatdan *Ferula sumbul* mezokserofit tur hisoblanadi. U namlik o‘rtacha bo‘lgan, organik moddalarga nisbatan boy, lekin yaxshi aeratsiyaga ega qumoq-gil tuproqlarda o‘shishga moslashgan. PCA natijalari bu turning Nurota tizmasining o‘rta balandlikdagi, janubiy va g‘arbiy yonbag‘irlarida ekologik jihatdan eng qulay sharoitga ega ekanini ko‘rsatadi.



4-rasm. *Ferula sumbul* turining ekologik omillari bo‘yicha asosiy komponentlar tahlili (PCA biplot)

Xulosa: Nurota davlat tabiat qo‘riqxonasida BIOCLIM modeli asosida o‘tkazilgan ekologik nisha modellash natijalari mazkur turning tor va aniq chegaralangan ekologik nishaga ega ekanligini ko‘rsatdi. Turning potensial tarqalishi asosan qo‘riqxonaning janubi-markaziy qismidagi past tog‘ yonbag‘irlari va tog‘ etaklari bilan chegaralanib, yuqori balandliklar hamda tekis cho‘l hududlari ekologik jihatdan noqulay ekanligi aniqlandi. Qulay yashash hududlari umumiy maydonning 2,18 % (8,31 km²) ini tashkil etib, bu turning faqat ma‘lum relyef va mikroiklim sharoitlarida barqaror populyatsiyalar hosil qila olishini ko‘rsatadi. Model bashoratlari bilan dala kuzatuvlari o‘rtasidagi yuqori moslik BIOCLIM modelining ishonchliligini tasdiqlaydi. O‘zgaruvchilar muhimligi va PCA natijalariga ko‘ra, turning tarqalishi asosan yonbag‘ir ekspozitsiyasi, nishablik va iqlim omillari bilan belgilanib, tuproq va vegetatsiya omillari ikkilamchi rol o‘ynaydi. Umuman olganda, *Ferula sumbul* Nurota qo‘riqxonasida mezokserofit, relyef–iqlim sharoitlariga sezgir tur bo‘lib, olingan natijalar turning muhofazasi va iqlim o‘zgarishi sharoitida potensial tarqalishini baholash uchun muhim ilmiy asos yaratadi.

Mazkur tadqiqot O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Botanika institutining 2025-2029 yillarga mo‘ljallangan “Raqamli tabiat” mavzusidagi davlat dasturi va FL-9524115063-sonli “Respublikaning dorivor o‘simliklari resurs salohiyatini bioiklim va geofazoviy tahlili, moslashish va tarqalish qonuniyatlari (*Ferula* L. turkumi misolida)” mavzusidagi fundamental loyihalari doirasida amalga oshirildi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Baskin, C.C., & Baskin, J.M. (2014). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press.
2. Beshko, N. Yu. (2020). *Flora of Central Asia: The Nuratau Mountains*. Korea National Arboretum, Pocheon.
3. Booth, T.H. (2014). BIOCLIM: The first species distribution modelling package, its early applications and relevance to most current MAXENT studies. *Diversity and Distributions*, 20(1), 1–9.
4. Didan, K. (2015). *MOD13A2 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 1 km SIN Grid V006 [Data set]*. NASA EOSDIS LP DAAC. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13A2.006>
5. Farr, T.G., et al. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, 45(2). <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>
6. Fick, S.E., & Hijmans, R.J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37, 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
7. Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., ... Michaelsen, J. (2015). The Climate Hazards InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) dataset. *Remote Sensing*, 7(2), 1–26. <https://doi.org/10.3390/rs7010001>
8. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
9. Hengl, T., de Jesus, J.M., MacMillan, R.A., Batjes, N.H., Heuvelink, G.B.M., Ribeiro, E., ... Kempen, B. (2017). SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE*, 12(2), e0169748. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748>
10. Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., ... Thépaut, J.-N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146, 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
11. O'Donnell, M.S., & Ignizio, D.A. (2012). *Bioclimatic predictors for supporting ecological applications in the conterminous United States*. U.S. Geological Survey Data Series 691.
12. Rodell, M., Houser, P.R., Jambor, U., Gottschalck, J., Mitchell, K., Meng, C.-J., Toll, D. (2004). The Global Land Data Assimilation System. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(3), 381–394. <https://doi.org/10.1175/BAMS-85-3-381>
13. Vermote, E.F., Justice, C.O., & Kaufman, Y.J. (1997). *MODIS Surface Reflectance Products: Algorithm Theoretical Basis Document*. NASA. <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod09.php>

14. Volis, S., & Beshko, M. (2023). Endemic plant species of Nurota Mountains, Uzbekistan. *Central Asian Journal of Ecology*, 12(2), 45–59.
15. Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q., & Li, Z.-L. (2004). Quality assessment and validation of the MODIS land surface temperature product. *Remote Sensing of Environment*, 91(3-4), 421–436. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.06.004>