

**BIOKO‘MIRNING XUSUSIYATLARI VA UNING TUPROQ FIZIKAVIY XOSSALARIGA
TA‘SIRI**

Turaboyeva Dildora Erkin qizi, Agrokimyo va o‘simliklarni himoya qilish kafedrasida magistratura talabasi, Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti

<https://orcid.org/0009-0004-6519-9628>

dildoraturaboyeva07@gmail.com



Sattorov Isroil Xamrayevich, Agrokimyo va o‘simliklarni himoya qilish kafedrasida doktoranti (PhD), Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti

<https://orcid.org/0009-0009-0615-9470>

isroilmskam@gmail.com



Hazratqulov Shohnazar Abdusamatovich, Agrokimyo va o‘simliklarni himoya qilish kafedrasida dotsenti, Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti

<https://orcid.org/0009-0007-5311-2099>

shohnazar.hazratqulov@gmail.com

Annotatsiya

Mazkur ishda bioko'mirning xossalari va uning tuproq fizik xususiyatlariga ta'siri tahlil qilingan. Bioko'mir organik chiqindilarni piroliz jarayoni orqali olish natijasida hosil bo'ladigan, yuqori g'ovaklikka ega va uglerodga boy barqaror modda hisoblanadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, bioko'mir tuproqning hajmiy zichligini kamaytiradi, g'ovakligini va suvni ushlab turish qobiliyatini oshiradi, shuningdek mikrobiologik faollikni rag'batlantiradi. Shu bilan birga, uning yuqori adsorbsiya xususiyati oziq elementlarining yuvilib ketishini kamaytiradi va og'ir metallarni immobilizatsiya qilishga yordam beradi. Bioko'mirning samaradorligi uning xomashyosi va piroliz sharoitlariga bog'liq bo'lib, ayrim hollarda gidrofoblik yoki g'ovaklarning to'silib qolishi kabi salbiy ta'sirlar ham kuzatilishi mumkin.

Kalit so'zlar. Bioko'mir, pirolizlash, tuproq unumdorligi, tuproq fizikaviy xususiyatlari.

СВОЙСТВА БИОУГЛЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ**Аннотация**

В данной работе проанализированы свойства биоугля и его влияние на физические характеристики почвы. Биоуголь представляет собой стабильное вещество, богатое углеродом и обладающее высокой пористостью, получаемое в результате пиролиза органических отходов. Исследования показывают, что биоуголь снижает объемную плотность почвы, увеличивает её пористость и водоудерживающую способность, а также стимулирует микробиологическую активность. Кроме того, благодаря высокой адсорбционной способности, он уменьшает вымывание питательных элементов и способствует иммобилизации тяжелых металлов. Эффективность биоугля зависит от исходного сырья и условий пиролиза, при этом в некоторых случаях могут наблюдаться негативные эффекты, такие как гидрофобность или закупорка пор.

Ключевые слова: биоуголь, пиролиз, плодородие почвы, физические свойства почвы.

PROPERTIES OF BIOCHAR AND ITS EFFECT ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES**Abstract**

This study analyzes the properties of biochar and its effects on soil physical characteristics. Biochar is a stable, carbon-rich material with high porosity, produced through the pyrolysis of organic waste. Research indicates that biochar reduces soil bulk density, increases porosity and water retention capacity, and stimulates microbial activity. In addition, its high adsorption capacity helps reduce nutrient leaching and promotes the immobilization of heavy metals. The effectiveness of biochar depends on the feedstock and pyrolysis conditions, and in some cases, negative effects such as hydrophobicity or pore clogging may occur.

Keywords: biochar, pyrolysis, soil fertility, soil physical properties.

Kirish

Yer aholisining o'sib borishi insoniyat oldida turgan eng dolzarb muammolardan biri – oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlash masalasini yanada keskinlashtirmoqda. Aholining oziq-ovqat mahsulotlariga bo'lgan talabining ortib borishi qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishini intensivlashtirishni talab qilmoqda. Biroq, keyingi yillarda kuzatilayotgan noto'g'ri agrotexnik tadbirlar, mineral o'g'itlardan me'yoridan ortiq foydalanish, yer resurslaridan samarasiz foydalanish hamda iqlim o'zgarishi kabi omillar tuproq degradatsiyasiga, uning unumdorligi pasayishiga va ekologik muvozanat buzilishiga olib kelmoqda. Shu sababli, tuproq unumdorligini barqaror ravishda



o‘shirish va saqlab qolish bugungi kunda qishloq xo‘jaligining ustuvor yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

Tuproq unumdorligini oshirishda organik o‘g‘itlar alohida o‘rin tutadi. Ular tuproqning fizikaviy tuzilishini yaxshilaydi, suvni ushlab turish qobiliyatini oshiradi, mikrobiologik faollikni rag‘batlantiradi hamda oziq elementlarining asta-sekin ajralib chiqishini ta‘minlaydi (Shackley va boshq., 2012; Vijay va boshq., 2015). Ayniqsa, organik chiqindilarni qayta ishlash orqali olinadigan o‘g‘itlar nafaqat tuproq unumdorligini oshirish, balki chiqindilarni samarali boshqarish va atrof-muhitni muhofaza qilishda ham muhim ahamiyat kasb etadi. Shu nuqtai nazardan, organik resurslardan samarali foydalanishga asoslangan innovatsion yondashuvlarni ishlab chiqish va amaliyotga joriy etish zarurati ortib bormoqda. Organik moddalardan o‘g‘it ishlab chiqarishning istiqbolli va zamonaviy usullaridan biri bu bioko‘mir tayyorlash texnologiyasidir. Bioko‘mir – bu organik chiqindilarni yuqori haroratda, kislorodsiz yoki cheklangan kislorod sharoitida qizdirish, ya‘ni piroliz jarayoni orqali olinadigan uglerodga boy, barqaror organik modda hisoblanadi (Nair va boshq., 2017). Ushbu jarayon natijasida biomassaning katta qismi barqaror shakldagi uglerodga aylantiriladi, bu esa uning tuproqda uzoq muddat saqlanib qolishini ta‘minlaydi. Shu bois, bioko‘mir nafaqat tuproq unumdorligini oshiruvchi vosita, balki uglerod sekvestratsiyasi orqali iqlim o‘zgarishini yumshatishda ham muhim rol o‘ynaydi (Hazratqulov va boshq., 2022).

Ilmiy tadqiqotlar natijalari shuni ko‘rsatadiki, bioko‘mirni tuproqqa qo‘llash uning kimyoviy, fizikaviy va biologik xususiyatlarini sezilarli darajada yaxshilaydi. Jumladan, tuproqning pH ko‘rsatkichini muvozanatlashtiradi, kation almashinish sig‘imini oshiradi, oziq elementlarini ushlab turish va ularni o‘simliklar uchun mavjud shaklga o‘tkazishda muhim rol o‘ynaydi. Shuningdek, bioko‘mir tuproqning strukturaviy holatini yaxshilab, uning g‘ovakligini oshiradi, suvni saqlash qobiliyatini kuchaytiradi va eroziyaga chidamliligini oshiradi. Bundan tashqari, u tuproq mikroorganizmlari uchun qulay yashash muhiti yaratib, biologik faollikni oshiradi va oziq elementlarining aylanish jarayonini faollashtiradi (Shackley va boshq., 2012; Vijay va boshq., 2015).

Bioko‘mirni qo‘llashning yana bir muhim jihati shundaki, u zamonaviy “yashil iqtisodiyot” va barqaror rivojlanish konsepsiyalariga to‘liq mos keladi. Organik chiqindilarni qayta ishlash orqali olinishi, issiqxona gazlari emissiyasini kamaytirishga xizmat qilishi hamda tuproq unumdorligini tiklashdagi roli uni ekologik jihatdan maqbul texnologiya sifatida namoyon etadi. Shu bilan birga, bioko‘mir og‘ir metallarni immobilizatsiya qilish, tuproqdagi toksik moddalar ta‘sirini kamaytirish va umumiy agroekotizim barqarorligini oshirishda ham samarali vosita sifatida qaralmoqda (Zhang va boshq., 2021).

Yuqoridagilarni inobatga olgan holda, bioko‘mirning tuproq unumdorligini oshirishdagi roli, uning oziq elementlari aylanishiga, xususan azot va fosfor dinamikasiga ta‘siri, shuningdek, turli xil xomashyolardan va turli sharoitlarda olingan bioko‘mirlarning xususiyatlarini o‘rganish muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi. Shu sababli, mazkur tadqiqotda bioko‘mirning tuproq xossalari va o‘simlik oziqlanishiga ta‘siri haqidagi ilmiy maqolalar chuqur tahlil qilinadi hamda uning qishloq xo‘jaligida samarali qo‘llash istiqbollari yoritiladi.

Tadqiqot metodologiyasi

Ushbu maqola adabiyotlar sharhi shaklidagi ilmiy ish bo‘lib, mavjud ilmiy adabiyotlarni tizimli tahlil qilish asosida tayyorlandi. Tadqiqot jarayonida asosan yuqori impakt faktoriga ega xalqaro ilmiy bazalar — Scopus va Web of Science platformalarida indekslangan maqolalar,

shuningdek, nufuzli ilmiy jurnallarda chop etilgan tadqiqot natijalari o'rganilgdi.

Adabiyotlarni tanlashda ularning dolzarbligi, ilmiy ahamiyati va mavzuga bevosita aloqadorligiga alohida e'tibor qaratildi.

Tanlangan maqolalar mazmunan saralanib, bioko'mirning xususiyatlari, uni ishlab chiqarish sharoitlari (xomashyo turi, piroliz harorati va muhiti) hamda tuproqning fizikaviy xususiyatlariga ta'siri nuqtai nazaridan tahlil qilindi. Xususan, tuproqning zichligi, g'ovakligi, suvni ushlab turish qobiliyati, agregat barqarorligi kabi ko'rsatkichlarga bioko'mir qo'llanilishining ta'siri turli tadqiqotlar kesimida solishtirildi. Tahlil jarayonida turli mualliflar tomonidan olingan natijalar o'zaro taqqoslandi, umumiy tendensiyalar va qarama-qarshi jihatlar aniqlanib, ular ilmiy asosda izohlandi. Shuningdek, bioko'mirning turli sharoitlarda qo'llanilishi bilan bog'liq cheklovlar va istiqbolli yo'nalishlar ham muhokama qilindi.

Mazkur metodologik yondashuv bioko'mirning tuproq fizikaviy xususiyatlariga ta'sirini kompleks baholash, mavjud ilmiy natijalarni umumlashtirish hamda kelgusidagi tadqiqotlar uchun ilmiy asoslangan xulosalar ishlab chiqish imkonini berdi.

Tadqiqot natijalari va muhokamasi.

Bioko'mirning xususiyatlari

Bioko'mir yengil, yuqori darajada g'ovak tuzilishga ega hamda uglerodga boy barqaror organik modda bo'lib, organik chiqindilarni kam kislorodli yoki kislorodsiz yopiq sharoitda yuqori haroratda qizdirish, ya'ni piroliz jarayoni orqali olinadi (Jabborov va boshq., 2021; Doran va boshq., 2000; Hazratqulov va Yoqubov, 2024, Yoqubov va boshq., 2026). Ushbu jarayon natijasida biomassa tarkibidagi oson parchalanadigan birikmalar parchalanib, asosan aromatik uglerod tuzilmalariga boy, kimyoviy jihatdan barqaror mahsulot hosil bo'ladi (Ahmad va boshq., 2014). Shu sababli bioko'mir tuproqda uzoq muddat saqlanib qolish xususiyatiga ega bo'lib, uni samarali uglerod sekvestratsiya vositasi sifatida ham qarash mumkin (Wang va boshq., 2016; Hazratqulov va boshq., 2022)

Bioko'mirning muhim xususiyatlaridan biri uning yuqori darajadagi g'ovakligi va katta spetsifik yuza maydoniga ega ekanligidir (Verheijen va boshq., 2010; Lehmann va Joseph 2015). Ushbu tuzilma tuproqda suv va oziq elementlarini ushlab turish qobiliyatini sezilarli darajada oshiradi. Natijada bioko'mir tuproqning suv rejimini yaxshilaydi, ayniqsa qurg'oqchil hududlarda namlikni saqlab qolishga yordam beradi. Shu bilan birga, uning rivojlangan mikro- va makrog'ovak tizimi tuproq mikroorganizmlari uchun qulay yashash muhitini yaratib, biologik faollikni oshiradi (Lehmann va Joseph 2015).

Kimyoviy tarkib jihatidan bioko'mir asosan ugleroddan tashkil topgan bo'lsada, uning tarkibida kaliy (K), kaltsiy (Ca), magniy (Mg) va fosfor (P) kabi muhim oziq elementlari ham mavjud (Yamato va boshq., 2016). Ushbu elementlarning mavjudligi bioko'mirni tuproqni kimyoviy jihatdan boyituvchi va o'simliklar oziqlanishini qo'llab-quvvatlovchi muhim manba sifatida tavsiflaydi. Bundan tashqari, bioko'mir odatda ishqoriy reaksiyaga ega bo'lib, kislotalangan tuproqlarda pH muvozanatini yaxshilashda ham muhim rol o'ynaydi (Liu va boshq., 2016; El Naggat va boshq., 2019).

Bioko'mirning yana bir muhim xususiyati uning yuqori singdirish (adsorbsiya) sig'imiga ega ekanligidir. U tuproq eritmasidagi ozuqa elementlarini, ayniqsa azotning ammoniy shaklini hamda boshqa kationlarni o'z yuzasida ushlab turish xususiyatiga ega (Lehmann va boshq., 2011). Bu esa oziq elementlarining yuvilib ketishini kamaytiradi va ularning o'simliklar uchun uzoqroq muddat

davomida mavjud bo‘lishini ta‘minlaydi. Shu bilan birga, bioko‘mir ayrim og‘ir metallar va toksik moddalarni immobilizatsiya qilish xususiyatiga ega bo‘lib, tuproqning ekologik holatini yaxshilashga xizmat qiladi (Lehmann va boshq., 2011).

Bioko‘mirning xossalari uning olinadigan xomashyosiga (masalan, o‘simlik qoldiqlari, yog‘och chiqindilari, chorva go‘ngi) va piroliz sharoitlariga (harorat, vaqt, gaz muhiti) bevosita bog‘liqdir (Schneider va boshq., 2016). Masalan, yuqori haroratda olingan bioko‘mir odatda ko‘proq aromatik uglerod strukturasi ega bo‘lib, barqarorroq bo‘ladi, ammo uning tarkibidagi oziq elementlari nisbatan kamroq bo‘lishi mumkin (Liu et al., 2017). Aksincha, pastroq haroratda olingan bioko‘mirda oziq elementlari ko‘proq saqlanadi, biroq uning barqarorligi pastroq bo‘lishi mumkin. 1-jadvalda biologik va yashil chiqindilardan turli xil temperatura va atmosfera sharoitida tayyorlangan bioko‘mirlar hamda kompostlarning kimyoviy va fizikaviy xususiyatlari keltirilgan.

1-jadval. Biologik va yashil chiqindilardan turlicha ishlov berish usullaridan so‘ng olingan moddalarning, shuningdek temir shلامي (Fe shلامي) ning kimyoviy va fizikaviy xususiyatlari; ishlov berilmagan (No), kompostlash (Co), 350 °C da piroliz (P350), 450 °C da piroliz (P450), 700 °C da piroliz (P700) hamda 700 °C da o‘zgartirilgan atmosfera sharoitida (N₂, H₂O, CO₂) piroliz (P700a). Ma‘lumotlar quruq modda hisobida g yoki mg/kg birliklarda, H/C_{org} va O/C_{org} nisbatlari esa mol/mol ko‘rinishida berilgan (Hazratqulov va boshq., 2025)

Tavsifi	Biologik chiqindi variantlari						Yashil chiqindi variantlari						Fe shلامي
	No	Co	P ₃₅₀	P ₄₅₀	P ₇₀₀	P _{700a}	No	Co	P ₃₅₀	P ₄₅₀	P ₇₀₀	P _{700a}	
pH _{CaCl2}	4.9	7.5	8.6	9.1	12.2	11.3	5.4	7.1	7.7	8.8	12.4	11.4	8.1
Kul (g kg ⁻¹)	313	752	592	633	722	770	145	701	415	495	504	664	898
C _t (g kg ⁻¹)	369	134	324	301	287	238	446	181	499	485	481	350	-
C _{org} (g kg ⁻¹)	362	137	311	319	267	233	437	184	483	451	464	331	-
N (g kg ⁻¹)	14.3	11.5	14.4	12.1	7.5	3.7	7.3	10.0	11.3	8.0	6.7	3.1	-
H (g kg ⁻¹)	48.9	-	24.5	12.9	5.7	4.0	-	-	22.6	20.6	8.8	5.4	-
O (g kg ⁻¹)	262	-	58.1	23.1	-	-	-	-	67.9	25.5	16.7	-	-
Cd (mg kg ⁻¹)	0.34	0.61	0.50	0.45	0.18	0.33	0.20	0.43	0.64	0.21	0.11	0.28	6.3
Cu (mg kg ⁻¹)	22	49	30	38	40	42	12	30	20	21	28	37	58
Ni (mg kg ⁻¹)	12	13	9	8	19	12	5	7	5	7	11	20	260
Zn (mg kg ⁻¹)	154	240	240	272	139	173	63	179	158	144	75	175	556
H/C _{org}	1.6	-	0.9	0.5	0.3	0.2	-	-	0.6	0.5	0.2	0.2	-
O/C _{org}	0.53	-	0.13	0.05	-	-	-	-	0.11	0.04	0.03	-	-
A (m ² g ⁻¹)	-	-	-	119	-	148	-	-	239	229	327	270	-
V (cm ³ g ⁻¹)	-	-	-	0.04	-	0.05	-	-	0.07	0.07	0.09	0.08	-

Umuman olganda, bioko‘mirning fizikaviy (g‘ovaklik, yuza maydoni), kimyoviy (yuqori uglerod miqdori, mineral elementlar mavjudligi) va biologik (mikroorganizmlar uchun yashash muhiti yaratishi) xususiyatlari uni tuproq unumdorligini oshirishda ko‘p funksiyali va samarali modda sifatida namoyon etadi. Shu sababli, bioko‘mir zamonaviy qishloq xo‘jaligida nafaqat o‘g‘it sifatida, balki tuproqni yaxshilovchi kompleks meliorativ vosita sifatida ham keng qo‘llanilmoqda.

Bioko'mirning tuproq fizikaviy ko'rsatkichlariga ta'siri

Tuproqning hajmiy massasi. Tuproqning solishtirma va hajmiy massasi uning asosiy fizik xususiyatlari hisoblanadi. Ildiz tizimi rivojlanishiga ta'sir etuvchi muhim omillardan biri — bu tuproq zichlashuvi natijasida yuzaga keladigan mexanik bosim bo'lib, u odatda 30 sm chuqurlik atrofida kuzatiladi. Tuproqning hajmiy zichligi 1,1-1,8 g/sm³ oralig'ida bo'lib havo almashinuvi yetarli darajada ta'minlanishi va ildizlarning normal o'sishida muhim o'rin tutadi (Boboxo'jayev va Uzoqov, 1990).

Tuproq g'ovaklarining kichrayishi ham ildiz rivojlanishiga salbiy ta'sir ko'rsatadi, chunki ildizlar o'z uch qismi diametridan kichik bo'lgan g'ovaklardan o'ta olmaydi (Xiang va boshq., 2017). Zichlashgan tuproqlarda g'ovaklikning kamayishi va kislorod diffuziyasining sustlashuvi noqulay sharoitlarni yuzaga keltirib, o'simliklarning o'sishini sekinlashtiradi (Boboxo'jayev va Uzoqov, 1990). Bunday sharoitlarda yetishtirilgan o'simliklarda hosildorlik pasayadi. Masalan, zichlashgan tuproqda soya hosili 45% ga, makkajo'xori hosili esa 14% ga kamaygani aniqlangan (Ramazan va boshq., 2012). Bioko'mir qo'llanilishi ushbu salbiy ta'sirlarni kamaytirish va oziq moddalarga kambag'al hamda degradatsiyaga uchragan tuproqlarning fizik xususiyatlarini yaxshilashda samarali vosita hisoblanadi. Tadqiqotlar natijasiga ko'ra, bioko'mir tuproq zichlashuvini 10% dan ortiq kamaytirishi mumkin (Peake va boshq., 2014; Khan va boshq., 2024).

So'nggi tadqiqotlar tropik hududlardagi eroziyaga uchragan (qumloq-gilli) tuproqlarda bioko'mirning ijobiy ta'sirini tasdiqlaydi (Khan va boshq., 2024). Xususan, tuproq massasiga nisbatan 4% bioko'mir bir marta qo'llanilganda hajmiy massa 5% ga kamaygan. 4% bioko'mir va 1% kompost birgalikda qo'llanganda esa hajmiy zichlik 16% ga kamayib, g'ovaklik 8% ga oshgan. Bioko'mir miqdorini 6% gacha oshirish (kompost 1% bilan birga) hajmiy zichlikni yanada kamaytirib, g'ovaklikni mos ravishda 16% va 22% gacha oshirgan (Jien va boshq., 2021; Khan va boshq., 2024). Umuman olganda, tuproqning fizik xususiyatlaridagi o'zgarish darajasi qo'llanilgan bioko'mir miqdoriga hamda tuproq turiga bevosita bog'liq bo'ladi.

Tuproq g'ovakligi va nam sig'imi. Bioko'mir ta'siridagi tuproq g'ovakligidagi o'zgarishlar asosan uning ichki g'ovak tuzilmasi, bioko'mirning morfologiyasi va qo'llash miqdori, bioko'mir va tuproq zarrachalari orasidagi g'ovaklar, shuningdek adsorbsiya va zarracha o'lchamlari taqsimoti tufayli yuzaga keladi (Zhang va You, 2013; Yi va boshq., 2020). Ushbu omillar bioko'mirga boy tuproqlarda g'ovaklik, suvni ushlab turish qobiliyati, gidravlik o'tkazuvchanlik va nafas olish jarayonlarining oshishi yoki kamayishini belgilaydi. Ko'plab dala tajribalari bioko'mir qo'llanilishi tuproq g'ovakligi va suvni ushlab turish xususiyatini yaxshilashini ko'rsatgan (Randolph va boshq., 2017; Rogovska va boshq., 2011). 74 ta maqola asosida o'tkazilgan meta-tahlil natijalariga ko'ra, bioko'mir qo'llanilganda tuproq g'ovakligi 8,4% ga, suvni ushlab turish qobiliyati 15,1% ga va to'yingan gidravlik o'tkazuvchanlik 25% ga oshgan (Omondi va boshq., 2016; Khan va boshq., 2024).

Bioko'mirning ichki g'ovakligi (o'lchami <10 mkm) uning tuproqda suvni saqlash qobiliyatini belgilaydi. Buning sababi shundaki, bioko'mir gravitatsiya ta'sirida yo'qotilayotgan suvni qayta to'ldiradi, suvni g'ovakliklarda ushlab qoladi, gidravlik o'tkazuvchanlikni kamaytiradi hamda suvni ushlab turishni oshiradi (Suliman va boshq., 2017). Wong va boshq. (2016) tadqiqotlarida bioko'mir qo'shilganda gilli tuproqlarda aeratsiya darajasiga ta'sir qilgan. Bioko'mir

qo‘shilishi tuproq strukturasi saqlash va uning zichlashuvini tartibga solishga yordam beradi (Deepagoda va boshq., 2011).

Bundan tashqari, bioko‘mirning tuproqdagi suvning saqlanishiga salbiy ta‘siri haqida ham ma‘lumotlar mavjud bo‘lib, bioko‘mir miqdori oshgani sari tuproqda suvning mavjudligi kamayishi mumkinligi aniqlangan. Bu esa bioko‘mirning gidrofob xususiyati bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Ba‘zi tajribalar natijalariga ko‘ra 450 °C dan past haroratda olingan bioko‘mir gidrofob xususiyatga ega bo‘ladi (Yi et al., 2015). Bundan tashqari, bioko‘mirning tuproq agregatlarini mustahkamlovchi bog‘lovchi xususiyatlari ham mavjud bo‘lib, suvni singdirishni va g‘ovaklikni oshirishi mumkin (Jien et al., 2021).

Gil tuproqlarga 6% bioko‘mir qo‘llanilganda makroagregatlarning shakllanishi kuchaygani, tuproqning g‘ovak tuzilmasi o‘zgarishi va tuproq barqarorlashgani aniqlangan (Sun et al., 2014). Biroq, bioko‘mir qo‘llanganda 0,25 mm dan kichik yirik agregatlar bioko‘mir yuzasidagi ichki g‘ovaklarni to‘siq qo‘yishi mumkin, bu esa mezog‘ovaklar (bioko‘mir va tuproq zarrachalari orasidagi g‘ovaklar) hajmining kamayishiga olib keladi. Yuzaning zichlanib yopilish qolishi tuproq g‘ovakligini kamaytirib, namlik miqdorini pasaytiradi. Ergan organik uglerodning yuvilib ketishining ortishi bioko‘mir yuzasida sodir bo‘ladigan abiotik reaksiyalar bilan bog‘liq bo‘lib, ular suv ta‘sirida yuzaning kimyoviy xususiyati, zarracha o‘lchami taqsimoti, gidrofoblik va fizik eruvchanlikni o‘zgartiradi (Yi et al., 2015). Bioko‘mir bilan ishlov berilgan tuproqning fizik xususiyatlari vaqt o‘tishi bilan o‘zgaradi. Bioko‘mir parchalanib agregatlar hosil qiladi. Go‘ng, o‘t, makkajo‘xori poyasi kabi sellulyozaga boy materiallar ligninga boy yog‘ochga nisbatan kamroq barqaror bioko‘mirga aylanadi. Bundan tashqari, 500 °C dan past haroratda olingan bioko‘mir strukturaviy parchalanishga moyil bo‘ladi.

Shunday qilib, bioko‘mir xususiyatlarining o‘zgarishi uni tayyorlasdagi ashyo turi, pirolizlash temperaturasi, atmosfera havosi va ishlab chiqarish davomiyligi bilan bog‘liq bo‘ladi hamda tuproqning fizik xossalari ko‘p funksiyali ta‘sir ko‘rsatadi.

Xulosa

Bioko‘mir tuproq unumdorligini oshirishda ko‘p funksiyali va istiqbolli meliorativ vosita hisoblanadi. Uning qo‘llanilishi tuproqning fizik xususiyatlarini yaxshilab, zichlashuvni kamaytiradi, g‘ovaklik va nam sig‘imini oshiradi hamda o‘simliklar uchun qulay muhit yaratadi. Ayniqsa degradatsiyaga uchragan va oziq moddalarga kambag‘al tuproqlarda bioko‘mirning ijobiy ta‘siri yaqqol namoyon bo‘ladi. Biroq, bioko‘mirning ta‘siri har doim ham bir xil emas - u qo‘llash me‘yori, tuproq turi va ishlab chiqarish sharoitlariga bog‘liq holda o‘zgaradi. Shuning uchun bioko‘mirni amaliyotda qo‘llashda uning xususiyatlarini va agroekologik sharoitlarni hisobga olish muhim ahamiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ahmad M., Rajapaksha A.U., Lim J.E., Zhang M., Bolan N., Mohan, D., Vithanage M., Lee S. S., Ok Y.S. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *Chemosphere* 2014, 99, 19–33. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.071>.
2. Boboxo‘jayev I., Uzoqov P. Tuproqning tarkibi, xossalari va analizi, Mehnat, Toshkent. 1990.
3. El-Naggar A., Lee S.S., Rinklebe J., Farooq M., Song H., Sarmah A.K., Zimmerman A.R., Ahmad M., Shaheen S.M., Ok Y.S. Biochar Application to Low Fertility Soils: A Review of

Current Status, and Future Prospects. *Geoderma* 2019, 337, 536–554.

4. Deepagoda T.K.K.C., Moldrup P., Schjønning P., de Jonge L.W., Kawamoto K., Komatsu T. Density-Corrected Models for Gas Diffusivity and Air Permeability in Unsaturated Soil. *Vadose Zone J.* 2011, 10, 226–238.
5. Hazratqulov S., Beßler H., Adam A., Dieguez Alonso A., Engels C. Organische Reststoffe für den Humusaufbau in der Landwirtschaft: 3.Vergleich der Kohlenstoff-Sequestrierungspotentiale von Kompost und Biokohlen aus Grüngut. Kongressband, 2022 Halle (Saale) Vorträge zum Generalthema: Sensorsysteme in der Landwirtschaft Chancen und Herausforderungen VDLUFA-Schriftenreihe Band 78/2022 VDLUFA-Verlag, Darmstadt ISBN 978-3-941273-34-42022. 155-163.
6. Hazratqulov S., von Ahlefeldt G., Liu R., Bessler H., Almuina-Villar H., Dieguez-Alonso A., Engels C. Correction: Hazratqulov et al. Processing Municipal Waste for Phytostabilization of Heavy Metal Contaminated Soils. *Soil Syst.* 2024, 8, 109. *Soil Systems.* 2025; 9(4):117. <https://doi.org/10.3390/soilsystems9040117>
7. Jien S.H., Kuo Y.L., Liao C.S., Wu Y.T., Wu A.D., Tsang D.C.W., Ok Y.S. Effects of Field Scale In Situ Biochar Incorporation on Soil Environment in a Tropical Highly Weathered Soil. *Environ. Pollut.* 2021, 272, 116009.
8. Khan S., Irshad S., Mehmood K., Hasnain Z., Nawaz M., Rais A., Gul S., Wahid M.A., Hashem A., Abd Allah E.F. Biochar Production and Characteristics, Its Impacts on Soil Health, Crop Production, and Yield Enhancement: A Review. *Plants* 2024, 13, 166. <https://doi.org/10.3390/plants13020166>
9. Lehmann J., Joseph S. Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation. 2nd Edition. Routledge, 2015, London.
10. Lehmann J., Rillig M.C., Thies J., Masiello C.A., Hockaday W.C., Crowley D. Biochar effects on soil biota: A review. *Soil Biol. Biochem.* 2011, 43, 1812–1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>.
11. Liu Y., Lu H., Yang S., Wang Y. Impacts of Biochar Addition on rice Yield and Soil Properties in a Cold Waterlogged Paddy for Two Crop Seasons. *Field Crops Res.* 2016, 191, 161–167.
12. Liu W.J., Li W.W., Jiang H., Yu H.Q. Fates of Chemical Elements in Biomass during Its Pyrolysis. *Chem. Rev.* 2017, 117, 6367–6398. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00647>.
13. Peake L.R., Reid B.J., Tang X. Quantifying the Influence of Biochar on the Physical and Hydrological Properties of Dissimilar Soils. *Geoderma* 2014, 235–236, 182–190.
14. Nair V.D., Nair P.K.R., Dari B., Freitas A.M., Chatterjee N., Pinheiro F.M. Biochar in the Agroecosystem-Climate-Change-Sustainability Nexus. *Front. Plant Sci.* 2017, 8, 2051.
15. Omondi M.O., Xia X., Nahayo A., Liu X., Korai P.K., Pan G. Quantification of Biochar Effects on Soil Hydrological Properties Using Meta-Analysis of Literature Data. *Geoderma* 2016, 274, 28–34.
16. Ramazan M., Khan G.D., Hanif M., Ali S. Impact of Soil Compaction on Root Length and Yield of Corn (*Zea mays*) under Irrigated Condition. *Middle East. J. Sci. Res.* 2012, 11, 382–385.
17. Randolph P., Bansode R.R., Hassan O.A., Rehrah D., Ravella R., Reddy M.R., Watts D.W., Novak J.M., Ahmedna M. Effect of Biochars Produced from Solid Organic Municipal Waste on Soil Quality Parameters. *J. Environ. Manag.* 2017, 192, 271–280.
18. Rogovska N., Laird D., Cruse R., Fleming P., Parkin T., Meek D. Impact of Biochar on Manure Carbon Stabilization and Greenhouse Gas Emissions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2011, 75, 871–879.



19. Shackley S., Sohi S., Ibarrola R., Hammond J., Mašek O., Brownsort P., Cross A., Prendergast-Miller M., Haszeldine S. Biochar. Tool for Climate Change Mitigation and Soil Management. In Encyclopedia of Sustainability Science and Technology; Springer: New York, NY, USA, 2012; pp. 845–893.
20. Schneider F., Haderlein S.B. Potential effects of biochar on the availability of phosphorus—Mechanistic insights. *Geoderma* 2016, 277, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.05.007>.
21. Suliman W., Harsh J.B., Abu-Lail N.I., Fortuna A.M., Dallmeyer I., Garcia-Pérez M. The Role of Biochar Porosity and Surface Functionality in Augmenting Hydrologic Properties of a sandy Soil. *Sci. Total Environ.* 2017, 574, 139–147.
22. Sun F., Lu S. Biochars Improve Aggregate Stability, Water Retention, and Pore-Space Properties of Clayey Soil. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 2014, 177, 26–33
23. Verheijen F., Jeffery S., Bastos A.C., Van Der Velde M., Diafas I. Biochar Application to Soils: A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. *Environment* 2010, 8, 4. <https://doi.org/10.2788/472>
24. Vijay V.K., Kapoor R., Trivedi A., Vijay V. Biogas as Clean Fuel for Cooking and Transportation Needs in India. In *Advances in Bioprocess Technology*; Springer International Publishing: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015; pp. 257–275.
25. Wang J., Xiong Z., Kuzyakov Y. 2016: Biochar stability in soil: metaanalysis of decomposition and priming effects. *GCB Bioenergy* 8, 512–523.
26. Wong J.T.F., Chen Z., Ng C.W.W., Wong M.H. Gas Permeability of Biochar-Amended clay: Potential Alternative Landfill Final Cover Material. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2016, 23, 7126–7131.
27. Xiang Y., Deng Q., Duan H., Guo Y. Effects of Biochar Application on Root Traits: A Meta-Analysis. *GCB Bioenergy* 2017, 9, 1563–1572.
28. Yi S., Chang N.Y., Imhoff P.T. Predicting Water Retention of Biochar-Amended Soil from Independent Measurements of Biochar and Soil Properties. *Adv. Water Resour.* 2020, 142, 103638.
29. Yi S., Witt B., Chiu P., Guo M., Imhoff, P. The Origin and Reversible Nature of Poultry Litter Biochar Hydrophobicity. *J. Environ. Qual.* 2015, 44, 963–971.
30. Zhang J., You C. Water Holding Capacity and Absorption Properties of wood Chars. *Energy Fuels* 2013, 27, 2643–2648.
31. Zhang Y., Wang J., Feng R. The effects of biochar addition on soil physicochemical properties: A review. *Catena* 2021, 202, 105284.