



МИНЕРАЛЛАШГАН МАССА ВА ОҚОВА СУВЛАР ЧЎКИНДИЛАРИ АСОСИДА СУЮҚ ОРГАНИК-МИНЕРАЛ ЎЎИТЛАР ОЛИШ

Мухамматова У.Х.¹[0009-0006-0035-2083], Шарипов С.Ш.²[0009-0003-2178-852X],
Темиров Ў.Ш.³[0000-0002-0598-9335]

¹Навоий давлат кончилиқ ва технологиялар университети таянч докторанти

²Навоий давлат кончилиқ ва технологиялар университети факультет декани, т.ф.д.,
доцент

³Навоий давлат кончилиқ ва технологиялар университети кафедра мудири, т.ф.д.,
профессор

Аннотация. Ушбу тадқиқотда ноқондицион фосфорит минераллашган массаси ва канализация чиқиндиларини биокимёвий тозалаш иншоотларида ҳосил бўладиган оқова сувлар чўкиндилари (ОСЧ) асосида суюқ органик-минерал ўғитлар олиш имкониятлари ўрганилди. Фосфорит ва ОСЧ турли оғирлик нисбатларида аралаштирилиб, 30 % ли сульфат кислотаси билан фосфорит таркибидаги кальций оксидига нисбатан 50–90 % стехиометрик нисбатларда ишлов берилди. Ҳосил бўлган органик-минерал бўтқалар центрифугалаш орқали суюқ ва қаттиқ фазаларга ажратилди. Суюқ фаза таркибида фосфор беш оксиди, кальций оксиди, гумин ва фульво кислоталар ҳамда умумий органик моддаларнинг ўтиш даражалари аниқланди. Натижалар шуни кўрсатдики, кислота меъёрининг ошиши ва фосфорит улушининг кўпайиши кальций ва фосфорнинг суюқ фазага ўтиш даражасини оширади, ОСЧ улушининг ортиши эса органик компонентлар ҳисобига суюқ ўғитнинг биологик фаоллигини кучайтиради. Айниқса, фульво кислоталарнинг суюқ фазага ўтиш даражаси 90–95 % гача етиши технологиянинг юқори самарадорлигини кўрсатади. Олинган натижалар ноқондицион минерал ва органик чиқиндиларни қайта ишлаш орқали экологик хавфсиз, ресурс тежамкор ва агрономик самарали суюқ ўғитлар ишлаб чиқиш мумкинлигини илмий жиҳатдан асослайди.

Калит сўзлар: ноқондицион фосфорит, оқова сувлар чўкиндиси, органик-минерал ўғит, сульфат кислотаси, кальций оксиди, фульво кислоталар, экстракция даражаси.

Аннотация. В данной работе исследована возможность получения жидких органико-минеральных удобрений на основе некондиционной фосфоритной минерализованной массы и осадков сточных вод, образующихся на сооружениях биохимической очистки канализационных стоков. Фосфорит и осадки сточных вод смешивали в различных массовых соотношениях и обрабатывали 30%-ной серной кислотой в стехиометрических долях 50–90% по отношению к оксиду кальция, содержащемуся в фосфорите. Полученные органико-минеральные пульпы разделяли на жидкую и твёрдую фазы методом центрифугирования. В жидкой фазе определяли степени перехода пятиоксида фосфора, оксида кальция, гуминовых и фульвокислот, а также общего органического вещества. Установлено, что увеличение дозы кислоты и доли фосфорита способствует росту степени перехода кальция и фосфора в жидкую фазу, тогда как увеличение доли осадков сточных вод повышает биологическую активность жидкого удобрения за счёт органических компонентов. Особенно высокая степень перехода фульвокислот (90–95%) свидетельствует о высокой эффективности технологии. Полученные результаты научно обосновывают возможность производства экологически безопасных, ресурсосберегающих и агрономически эффективных жидких удобрений путём переработки некондиционных минеральных и органических отходов.

Ключевые слова: некондиционный фосфорит, осадки сточных вод, органико-минеральное удобрение, серная кислота, оксид кальция; фульвокислоты, степень экстракции.

Abstract. This study investigates the possibility of producing liquid organo-mineral fertilizers based on non-standard phosphorite mineralized mass and sewage sludge generated at municipal wastewater treatment plants. Phosphorite and sewage sludge were mixed at various weight ratios and treated with 30% sulfuric acid at 50–90% stoichiometric ratios relative to calcium oxide contained in the phosphorite. The resulting organo-mineral slurries were separated into liquid and solid phases by centrifugation. The transfer degrees of phosphorus pentoxide, calcium oxide, humic acids, fulvic acids, and total organic matter into the liquid phase



were determined. The results showed that increasing the acid dosage and phosphorite proportion significantly enhanced the transfer of calcium and phosphorus into the liquid phase, while a higher sewage sludge content improved the biological activity of the liquid fertilizer due to organic components. In particular, the transfer degree of fulvic acids reached 90–95%, indicating high process efficiency. The obtained results scientifically substantiate the feasibility of producing environmentally safe, resource-efficient, and agronomically effective liquid fertilizers through the recycling of non-standard mineral and organic wastes.

Keywords: non-standard phosphorite, sewage sludge, organo-mineral fertilizer, sulfuric acid, calcium oxide, fulvic acids, extraction degree.

Кириш

Жаҳон қишлоқ хўжалигида аҳоли сонининг ортиши, озиқ-овқат хавфсизлигини таъминлаш зарурати ва интенсив деҳқончилик амалиётининг кенгайиши натижасида минерал ўғитларга бўлган талаб йил сайин ошиб бормоқда. Айниқса, фосфорли ўғитлар қишлоқ хўжалиги экинларининг ўсиши ва ҳосилдорлигини таъминлашда ҳал қилувчи аҳамиятга эга бўлиб, уларни ишлаб чиқариш асосан табиий фосфорит хом ашёси захираларига боғлиқдир. Бироқ юқори сифатли фосфорит конларининг чекланганлиги, қолаверса, мавжуд захираларнинг катта қисми паст навли ёки ноқондицион фосфоритлардан иборат эканлиги фосфор ресурсларидан самарали фойдаланиш муаммосини янада кескинлаштиради [1–3]. Шу сабабли ноқондицион фосфоритларни қайта ишлаш орқали улардан қишлоқ хўжалиги эҳтиёжларида қўллаш имкониятларини яратиб, турли агрокимёвий жиҳатдан қимматли маҳсулотлар олиш масаласи долзарблиги ортиб бормоқда.

Фосфорнинг тупроқдаги ҳаракатчанлиги ва ўсимликлар томонидан ўзлаштирилиши кўп ҳолларда кальций ва бошқа металллар билан барқарор, кам эрийдиган бирикмалар ҳосил қилиши сабабли камайишга олиб келмоқда. Илмий тадқиқотларда фосфоритларни кислотали ишлов бериш орқали кальцийли фосфатларни парчалаб, фосфорни эрувчан ва биологик фаол шаклларга ўтказиш самарали усул сифатида эътироф этилган [4–6]. Айни вақтда, фосфоритларнинг тўлиқ кислотали қайта ишланиши юқори энергия сарфи, катта миқдорда кислота талаб этилиши ва иккинчи даражали чиқиндилар ҳосил бўлиши билан боғлиқ. Шу нуқтаи назардан, кислотанинг паст меъёрларда қўлланилиши ҳамда органик компонентлар билан интеграцияланган технологияларни ишлаб чиқиш ресурс тежамкор ва экологик жиҳатдан мақбул ечим сифатида қаралмоқда.

Сўнгги йилларда органик чиқиндиларни қайта ишлаш ва уларни қишлоқ хўжалигида қўллаш масалалари халқаро ташкилотлар томонидан ҳам устувор йўналиш сифатида белгилаб берилмоқда. Хусусан, БМТнинг Озиқ-овқат ва қишлоқ хўжалиги ташкилоти (FAO -Food and Agriculture Organization of the United Nations) қишлоқ хўжалигида ресурс тежамкор технологияларни жорий этиш, тупроқ унумдорлигини сақлаш ва минерал ўғитларга бўлган қарамликни камайтириш масалаларига алоҳида эътибор қаратмоқда. FAO тавсияларида канализация чиқиндиларини биокимёвий тозалаш иншоотларида ҳосил бўладиган оқова сувлар чўкиндиларини (ОСЧ) таркибида органик моддалар, гумин ва фулво кислоталар, азот, фосфор ва калийнинг мавжудлиги уларни қимматли иккиламчи хом ашё сифатида баҳолаш имконини беради ва ушбу чиқиндиларни тегишли кимёвий ва санитар ишловдан сўнг қишлоқ хўжалигида ўғит сифатида қайта қўллаш мумкинлиги таъкидланган [7-10].

Шу билан бирга, Жаҳон соғлиқни сақлаш ташкилоти (WHO — World Health Organization) мазкур материалларни қўллашда инсон саломатлиги ва атроф-муҳит хавфсизлигини таъминлашга қаратилган қатъий санитар-гигиеник талабларни ишлаб чиққан. WHO томонидан ишлаб чиқилган қўлланмаларда оқова сув чўкиндилари ва бошқа органик чиқиндиларни қишлоқ хўжалигида қўллашда патоген микроорганизмлар ҳамда токсик компонентлар миқдорини назорат қилиш, шунингдек,



узоқ муддатли мониторингни ташкил этиш зарурлиги алоҳида қайд этилган. Шу тариқа, FAO ва WHO томонидан ишлаб чиқилган меъёрий ҳужжатлар органик чиқиндилар асосида олинадиган ўғитларнинг агрономик самарадорлигини экологик ва санитар хавфсизлик билан уйғун ҳолда таъминлашга хизмат қилади [11-12].

Органик моддаларнинг, айниқса гумин ва фулво кислоталарнинг минерал элементлар билан ўзаро таъсири гумусли-минерал ўғитлар самарадорлигини белгилаб берувчи муҳим омил ҳисобланади. Илмий манбаларда гумин моддаларнинг Ca^{2+} ва фосфат ионлари билан барқарор комплекслар ҳосил қилиши натижасида фосфорнинг тупроқда фиксацияланиши камайиши ва унинг ўсимликлар томонидан ўзлаштирилиши яхшиланиши таъкидланган [13]. Шу билан бирга, органик моддалар минерал компонентларнинг секин ажралиб чиқишини таъминлаб, ўғитларнинг узоқ таъсир этувчи хусусиятларини шакллантиради. Гумусли ўғитларни қишлоқ хўжалигида барқарор тупроқ унумдорлигини таъминловчи энг муҳим агрохимёвий воситалардан бири сифатида баҳоламоқда. Гумусли ўғитлар таркибидаги гумин ва фулво кислоталар тупроқнинг физик, кимёвий ва биологик хусусиятларини яхшилашда ҳал қилувчи роль ўйнайди. Хусусан, улар тупроқ агрегат структурасини мустаҳкамлаб, сувни ушлаб туриш қобилиятини оширади, катион алмашинув қобилиятини кучайтиради ва озуқа элементларининг ўсимликлар томонидан ўзлаштирилишини таъминлантиради.

Бундан ташқари, гумусли ўғитлар тупроқ микрофлорасининг фаоллигини ошириб, микроорганизмлар орқали озуқа элементларининг минераллашуви ва биомобилизацияси жараёнларини тезлаштиради. Бу эса минерал ўғитларга бўлган эҳтиёжни камайтириш, ўғитлардан фойдаланиш самарадорлигини ошириш ҳамда азот ва фосфорнинг ювилиши билан боғлиқ экологик хавфларни пасайтириш имконини беради. Айниқса, гумусли ўғитларнинг қўлланилиши натижасида иссиқхона газлари, жумладан азот газлари ажралишининг камайиши кўплаб тадқиқотларда қайд этилган [14].

Шу нуқтаи назардан, FAO ва WHO томонидан илгари сурилган барқарор қишлоқ хўжалиги концепцияси доирасида гумусли ўғитлар минерал ўғитларга экологик жиҳатдан хавфсиз ва агрономик самарали муқобил сифатида қаралади. Айниқса, органик чиқиндилар ва нокондицион минерал хом ашёлар асосида гумусли ўғитлар олиш айланма иқтисодиёт жиҳатдан тўлиқ мос келиб, табиий ресурслардан оқилона фойдаланиш ва чиқиндилар ҳажмини камайтиришга хизмат қилади.

Адабиётлар таҳлили фосфоритларни кислотали ишлов бериш ҳамда оқова сувлар чўкиндиларини ўғит сифатида қўллаш масалалари алоҳида йўналишлар сифатида кенг ўрганилганини кўрсатади. Бироқ нокондицион фосфоритлар ва ОСЧ ни биргаликда сульфат кислотаси ёрдамида қайта ишлаб, ҳосил бўлган бўтқани суюқ ва қаттиқ фазаларга ажратиш орқали тез ва узоқ таъсир этувчи функционал ўғитлар олиш масаласи етарлича ёритилмаган.

Шу боис нокондицион фосфорит минераллашган массаси ва оқова сувлар чўкиндиларини асосида ресурс тежамкор, экологик хавфсиз ва агрономик самарали орғано-минерал ўғитлар олиш имкониятларини илмий жиҳатдан асослаш муҳимдир.

Тадқиқот материаллари ва усуллари

Ушбу тадқиқотда орғано-минерал ўғитлар олиш мақсадида фосфорит хом ашёси сифатида минераллашган масса ва канализация чиқиндиларини биокимёвий тозалаш иншоотларида ҳосил бўладиган оқова сувлар чўкиндилари (ОСЧ) қўлланилди. Фосфорит минераллашган массаси таркиби (оғирлик бўйича, %) умумий P_2O_5 – 14,49, ўзлаштирилувчан P_2O_5 – 11,15, CaO – 43,81, MgO – 1,17 ва Fe – 1,24 ни ташкил этди, ОСЧ таркиби эса намлик – 64,12 %, кул – 10,14 %, умумий органик



моддалар – 25,74 %, гумин кислоталар – 3,12 %, фулво кислоталар – 7,58 %, сувда эрувчи органик моддалар – 2,27 %, P_2O_5 – 2,08 %, умумий азот – 1,85 %, K_2O – 1,47 % ва CaO – 4,79 % дан иборат бўлди. Фосфорит ва ОСЧ 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60 ва 30:70 оғирлик нисбатларда аралаштирилиб, олинган аралашмалар 30 % ли сульфат кислотаси билан фосфорит таркибидаги кальций оксидига нисбатан 50, 60, 70, 80 ва 90 % стехиометрик нисбатларда ишлов берилди. Ҳосил бўлган бўтқаларнинг таркибий ўзгаришлари таҳлил қилиниб, кейинчалик центрифугалаш орқали суюқ ва қаттиқ фазаларга ажратилди ҳамда ҳар икки фаза таркибидаги фосфор ва органик моддаларнинг суюқ фазага ўтиш даражалари стандарт кимёвий таҳлил усуллари асосида баҳоланди.

Натижалар ва муҳокамалар

Олинган маълумотлари нокондицион фосфори ва ОСЧ асосида олинган суюқ органик-минерал ўғит таркибига CaO ўтиш даражаси икки омилга - аралашмада фосфорит улуши (оғирлик нисбати) ва 30 % H_2SO_4 нинг CaO га нисбатан стехиометрик меъёрига (50–90 %) кучли боғлиқ эканини кўрсатади. Биринчи навбатда, кислота меъёри ошиши билан барча нисбатларда CaO нинг суюқ фазага ўтиши мунтазам ортиб борган, масалан, 90:10 нисбатда 50 % меъёردа 8,85 % бўлган кўрсаткич 60 % да 9,47 %, 70 % да 10,44 %, 80 % да 10,80 % ва 90 % да 11,06 % гача кўтарилганлиги аниқланди, яъни умумий ўсиш тахминан 25 % ташкил этади. Худди шундай маълумотлар 80:20 нисбатда 7,75% дан 10,08 % гача ошганлиги аниқланган бўлса, 70:30 нисбатда 6,98% дан 9,07 % гача, 60:40 нисбатда 6,12% дан 7,96 % гача, ва 20:80 нисбатда 3,48% дан 4,52 % гача ошганлиги қайд этилади.

1-жадвал

Нокондицион фосфорит ва ОСЧ асосида олинган суюқ органик минерал ўғит таркибидаги кальций оксидининг суюқ ўғит таркибига ўтиш даражасининг оғирлик нисбати ва кислота меъёрига боғлиқлиги (%).

Фосфорит ва ОСЧ оғирлик нисбати	Кислота меъёри				
	50	60	70	80	90
90 : 10	8,85	9,47	10,44	10,80	11,06
80 : 20	7,75	8,29	9,15	9,46	10,08
70 : 30	6,98	7,47	8,24	8,52	9,07
60 : 40	6,12	6,55	7,22	7,47	7,96
50 : 50	5,65	6,05	6,67	6,89	7,35
40 : 60	4,87	5,21	5,75	5,94	6,33
30 : 70	4,08	4,37	4,81	4,98	5,30
20 : 80	3,48	3,72	4,11	4,25	4,52

Тадқиқотларда, бир хил кислота меъёрида фосфорит улуши камайиб, ОСЧ улуши ошиши билан CaO ўтиш даражаси изчил пасайиб, 50 % меъёردа 90:10 дан 20:80 гача 8,85 % дан 3,48 % гача тушади, 70 % меъёрдa мос равишда 10,44 % дан 4,11 % гача камайганлиги аниқланган бўлса, 90 % меъёрдa эса 11,06 % дан 4,52 % гача пасайиш кузатилади. Бу қонуният фосфорит таркибида CaO нинг юқори улушга эгалиги ва H_2SO_4 таъсирида кальцийли минерал фазаларнинг парчаланиб, Ca^{2+} ионлари ҳамда кальций сульфати эрийдиган кальций тузлари ҳосил бўлиши кислота меъёри ошганда ҳосил бўлиш жараёни кучаяди, шунинг учун CaO нинг суюқ ўғит таркибидаги улуши ортиб боради. ОСЧ улуши юқори бўлган аралашмаларда эса CaO



концентрацияси паст бўлиш кальцийнинг гумин кислотаси билан барқарор бирикмалар ҳосил қилиш натижасида суюқ қисмга ўтиш даражаси камайиб бориш билан изоҳланади(1-жадвал).

Олинган экспериментал маълумотлар нокондицион фосфорит ва ОСЧ асосида олинган суюқ органик-минерал ўғит таркибига фульво кислотасининг ўтиш даражаси (%) кислота меъёри ошиши билан барча нисбатларда фульво кислоталарнинг суюқ фазага ўтиши паралел равишда ортиб борган. Масалан, 90:10 нисбатда 50 % кислота меъёрида фульво кислотанинг ўтиш даражаси 72,62 % ни ташкил этган бўлса, 60 % да 81,33 %, 70 % да 91,21 %, 80 % да 94,41 % ва 90 % да 95,13 % гача кўтарилган. Худди шу қонуният мос равишда 80:20 нисбатда 71,12 % дан 93,17 % гача, 70:30 нисбатда 69,61 % дан 91,19 % гача, 60:40 нисбатда эса 68,11 % дан 89,22 % гача ўзгарганлиги аниқланган. ОСЧ улуши юқори бўлган 20:80 нисбатда ҳам кислота меъёрини 50 % дан 90 % гача ошириш орқали фульво кислотанинг суюқ қисмига ўтиш даражаси 64,29 % дан 84,22 % гача кўтарилгани аниқланган. Бир хил кислота меъёрида эса фосфорит улуши камайиб, ОСЧ улуши ортиши билан фульво кислотанинг суюқ фазага ўтиш даражаси нисбатдан камайиб борганлиги аниқланди. Масалан, 70 % меъёрда 90:10 нисбатда 91,21 % бўлган кўрсаткич 20:80 нисбатда 79,08 % гача, 90 % меъёрда эса 95,13 % дан 84,22 % гача камайган.

2-жадвал

Нокондицион фосфорит ва ОСЧ асосида олинган суюқ органик минерал ўғит таркибидаги фульво кислотасининг суюқ ўғит таркибига ўтиш даражасининг оғирлик нисбати ва кислота меърига боғлиқлиги (%)

Фосфорит ва ОСЧ оғирлик нисбати	Кислота меъри				
	50	60	70	80	90
90 : 10	72,62	81,33	91,21	94,41	95,13
80 : 20	71,12	79,65	89,33	92,46	93,17
70 : 30	69,61	77,96	87,43	90,49	91,19
60 : 40	68,11	76,28	85,55	88,54	89,22
50 : 50	70,60	79,07	88,67	91,78	92,49
40 : 60	66,09	74,02	83,01	85,92	86,58
30 : 70	65,59	73,46	82,38	85,27	85,92
20 : 80	64,29	72,00	79,08	83,58	84,22

Бу ҳолат ОСЧ таркибидаги юқори молекулали органик коллоидларнинг минерал заррачалар юзасига адсорбцияланиши, шунингдек гумин-фульво комплексларининг куюқ муҳитда қисман барқарорлашиши билан изоҳланади. Умуман олганда, фульво кислоталарнинг энг юқори ўтиш даражаси юқори кислота меъёрларида (80–90 %) ва фосфорит улуши нисбатан юқори ёки мувозанатли бўлган аралашмаларда кузатилиб, ушбу кўрсаткич 90–95 % гача етиши технологиянинг юқори самарадорлигини илмий жиҳатдан тасдиқлайди(2-жадвал).

Хулоса

Олиб борилган тадқиқотлар натижасида нокондицион фосфорит ва ОСЧ ни турли оғирлик нисбатларида аралаштириб, 30 % ли сульфат кислотаси билан кальций оксидига нисбатан 50–90 % стехиометрик меъёрларда ишлов бериш орқали фосфор ва кальцийли минерал фазаларнинг самарали парчаланиши ва уларнинг суюқ фазага ўтиши таъминланди. Тажриба натижалари кислотанинг меъёри ошиши билан кальций



оксидининг суюқ ўғит таркибига ўтиш даражаси изчил ортиб боришини, ОСЧ улушининг ортиши суюқ ўғит таркибида фульво кислоталар миқдорини сезиларли равишда кўпайтириб, маҳсулотнинг биологик фаоллигини ошириши аниқланди. Айниқса, фульво кислоталарнинг 90–95 % гача бўлган юқори ўтиш даражаси органик компонентларнинг кислотали муҳитда самарали экстракцияланишини ва технологиянинг юқори самарадорлигини тасдиқлайди. Олинган суюқ ўғит таркибида ўсимликлар томонидан осон ўзлаштириладиган кальций, фосфор ва биологик фаол органик бирикмаларнинг мавжудлиги уни тез таъсир этувчи, агрономик жиҳатдан самарали маҳсулот сифатида тавсифлаш имконини беради.

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати:

- [1]. Cordell D, Drangert JO, White S. The story of phosphorus: global food security and food for thought. *Global environmental change*. 2009 May 1;19(2):292-305.
- [2]. Borrelli P, Robinson DA, Fleischer LR, Lugato E, Ballabio C, Alewell C, Meusburger K, Modugno S, Schütt B, Ferro V, Bagarello V. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature communications*. 2017 Dec 8;8(1):2013.
- [3]. Vaccari D.A. Phosphorus: A looming crisis. *Scientific American*, 2009, 300(6), pp. 54–59.
- [4]. Temirov U, Doniyarov N, Jurakulov B, Usanbaev N, Tagayev I, Mamataliyev A. Obtaining complex fertilizers based on low-grade phosphorites. In *E3S Web of Conferences* 2021 (Vol. 264, p. 04009).
- [5]. Ganiev P, Namazov S, Usanbaev N, Temirov U, Numonov B. Studies of the physico-chemical properties of humic simple superphosphate obtained on the basis of Central Kyzylkum phosphorites and oxidized coal. In *E3S Web of Conferences* 2023 (Vol. 377, p. 03013). EDP Sciences.
- [6]. Toama HZ. PHOSPHATE ROCK PROCESSING AND FERTILIZERS PRODUCTION AT AL-QAIM FERTILIZERS COMPLEX, IRAQ. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*. 2017(7):67-77.
- [7]. Kelessidis A., Stasinakis A.S. Sewage sludge management. *Waste Management*, 2012, 32, pp. 1186–1195.
- [8]. Harrison E.Z. et al. Organic contaminants in sewage sludge. *Science of the Total Environment*, 2006, 367, pp. 481–497.
- [9]. Rahman M.M., Tsukamoto J. Transformation of phosphorus in organic wastes. *Bioresource Technology*, 2014, 168, pp. 68–75.
- [10]. Kumar V, Chopra AK, Kumar A. A review on sewage sludge (Biosolids) a resource for sustainable agriculture. *Archives of Agriculture and Environmental Science*. 2017 Dec 1;2(4):340-7.
- [11]. Carr RM, Blumenthal UJ, Duncan Mara D. Guidelines for the safe use of wastewater in agriculture: revisiting WHO guidelines. *Water Science and Technology*. 2004 Jul 1;50(2):31-8.
- [12]. Weber J, Chen Y, Jamroz E, Miano T. Preface: humic substances in the environment. *Journal of Soils and Sediments*. 2018 Aug;18(8):2665-2667.
- [13]. Liu R., Zhao D. Fulvic acid enhanced phosphorus availability. *SSSA Journal*, 2019, 83, pp. 375–384.
- [14]. Zhang H. et al. Humic acid–phosphate interactions. *Agronomy*, 2023, 13, 1581.