

## BA'ZI 3D-METALLARNING 2,6-PIRIDINDIKARBON KISLOTASI BILAN KOMPLEKS BIRIKMALARINI OLISH VA ULARNING ISHLATILISHI

**Rahmonberdiyeva Surayyo**

Termiz davlat universiteti kimyo yo'nalishi 1-kurs talabasi

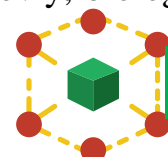
**Ilmiy rahbar: Nazarov Yusuf**

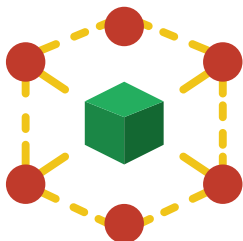
**Annotatsiya:** Mazkur maqolada 2,6-piridindikarbon kislotasining 3d-qator metallar bilan hosil qiladigan kompleks birikmalari ilmiy-adabiy manbalar asosida tahlil qilindi. Ligandning tridentat va ko'priksimon koordinatsiyalanish xususiyati sababli Cr(III), Mn(II), Fe(III), Co(II), Ni(II), Cu(II) va Zn(II) ionlari bilan turli geometriyadagi monoyadroli, poliyadroli hamda koordinatsion polimer tuzilmalar hosil bo'lishi ko'rsatildi. Maqolada sintezning asosiy usullari, jumladan eritmada o'zaro ta'sirlashish, gidrotermal sintez, sekin bug'latish, pH-ni boshqarish va yordamchi ligandlar ishtirokida kompleks hosil qilish yo'llari yoritildi.

**Kalit so'zlar:** 2,6-piridindikarbon kislotasi, dipikolin kislota, 3d-metallar, koordinatsion birikmalar, kompleks sintez, Cr(III), Mn(II), Fe(III), Co(II), Ni(II), Cu(II), Zn(II), MOF, kataliz, korroziya inhibitori, antimikrob faollik, sensor materiallar.

**Kirish:** Koordinatsion kimyo zamonaviy noorganik va materialshunoslik kimyosining eng tez rivojlanayotgan yo'nalishlaridan biridir. Buning sababi oddiy: metall ionining elektron tuzilishi bilan ligandning donor xususiyatlarini boshqarish orqali oldindan ko'zlangan fizik-kimyoviy va funksional xossalarga ega moddalarni yaratish mumkin. O'zbek tilidagi kimyo ta'limi manbalarida ham kompleks birikmalar nafaqat nazariy tushuncha, balki texnika, qishloq xo'jaligi, tibbiyot, analitik kimyo va metall ajratish texnologiyalarida amaliy ahamiyatga ega yo'nalish sifatida ko'rsatiladi. Kompleks birikmalar kimyosi bo'yicha o'quv manbalarida markaziy ion, ligand, koordinatsion son, barqarorlik, izomeriya va reaksiya qobiliyat tushunchalari ushbu sohaning tayanch kategoriyalari deb beriladi. Bu esa 2,6-piridindikarbon kislotasi kabi polidentat ligandlar nega ilmiy qiziqish markazida turishini tushuntiradi.

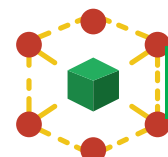
Adabiyotlarda aynan shu moslashuvchanlik uning 3d-metallar bilan turli stereokimyoviy muhitlar hosil qilishiga sabab bo'lishi qayd etiladi. Bu xususiyat bir tomondan komplekslarning termodinamik barqarorligini oshirsa, ikkinchi tomondan ularning optik, elektrokimyoviy, biologik va katalitik xossalarini nozik boshqarish imkonini beradi.

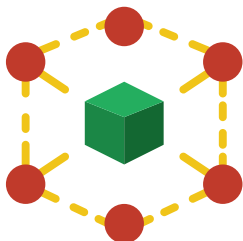




3d-metallar, xususan xrom, manganets, temir, kobalt, nikel, mis va rux ionlari koordinatsion kimyoda alohida ahamiyatga ega. Bunga ularning o'zgaruvchan oksidlanish darajalari, turli spin holatlari, d-orbital konfiguratsiyasi va ligand maydoniga sezgirligi sabab bo'ladi. Shuning uchun 2,6-piridindikarbon kislotasi bilan hosil bo'ladigan komplekslar faqat kristall tuzilma nuqtai nazaridan emas, balki magnitlik, redoks-faollik, kataliz, antibakterial ta'sir, sensor javob va korroziya inhibitsiyasi nuqtai nazaridan ham o'rganiladi. Masalan, Co(II)-pyridinedicarboxylate asosidagi MOF elektrokimyoviy sezgir material sifatida taklif etilgan, Cu(II)-komplekslarda esa simob ionlarini aniqlash hamda antibakterial faollik kuzatilgan. Cr(III) va Fe(III) dipikolinat komplekslari esa yaqinda karbonli po'lat korroziyasini kamaytiruvchi tizimlar sifatida o'rganilgan.

Ilmiy adabiyotlarda dipikolin kislotali komplekslarning biologik yo'nalishdagi qiziqishi ham ortib bormoqda. 2010-yildagi tadqiqotda pyridine-2,6-dicarboxylic acid va yordamchi 4-pikolin ligandlari asosidagi o'tish metalli komplekslarda antimikrob va SODga o'xshash faollik tahlil qilingan. 2024-yilda esa ayrim Cu(II)-komplekslar Hg(II) sensing bilan birga antibakterial va antioksidant skrining uchun o'rganilgan. Bu yerda diqqatga sazovor nuqta shundaki, 2,6-piridindikarbon kislotasi biologik tizimlarda metall bilan bog'lanish orqali butun kompleksning lipofilligi, redoks xatti-harakati va biomakromolekulalar bilan o'zaro ta'sirini o'zgartiradi. Demak,





ligandning vazifasi faqat metallni “ushlab turish” emas, balki yakuniy biologik funksiyani shakllantirishdir.

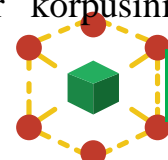
Mavzuning yana bir zamonaviy qirrasini vositalariga chidamlilik muammosi bilan bogʻliq. Soʻnggi ilmiy maqolalarda dipikolin kislotasi va uning analoglari metallo- $\beta$ -laktamaza fermentlarining faol markazidagi Zn(II) bilan kelat hosil qilishi orqali ularning funksiyasini susaytirishi mumkinligi koʻrsatilgan. Bu esa dipikolinat kimyosining biologik va farmatsevtik istiqbollari kengaytiradi. Garchi mazkur maqola asosan 3d-metall komplekslari sintezi va qoʻllanishiga bogʻishlangan boʻlsa-da, dipikolinat ligandining metallga nisbatan yuqori affiniteti biometall tizimlar bilan ishlashda ham ahamiyatga ega. Shunday qilib, mazkur mavzu klassik noorganik kimyo doirasidan chiqib, materialshunoslik, ekologiya, bioorganik kimyo va amaliy texnologiyalar bilan tutashadi.

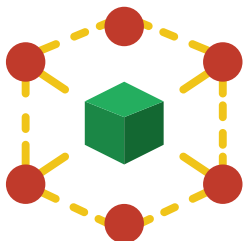
**Tadqiqot metodologiyasi:** Mazkur maqola eksperimental laboratoriya ishi emas, balki tizimli ilmiy-adabiy tahlil shaklida bajarildi. Manbalar sifatida birlamchi ilmiy maqolalar, PubChem maʼlumotnomasi, ochiq kirishdagi tibbiy va kimyoviy maqolalar, MOF va korroziya boʻyicha sharhlar, shuningdek oʻzbek tilidagi noorganik hamda koordinatsion kimyo manbalari tanlandi. Tanlash mezonlari uchta boʻldi: birinchidan, manbaning mavzuga bevosita aloqadorligi; ikkinchidan, unda 2,6-piridindikarbon kislotasi yoki dipikolinat ligandining aniq koʻrsatilishi;

uchinchidan, materialda sintez, strukturaviy tavsif yoki qoʻllanish boʻyicha foydalanish mumkin boʻlgan ilmiy dalilning mavjudligi.

Tahlil bir necha bosqichda olib borildi. Avval ligandning tuzilishi va koordinatsion tabiatiga oid umumiy maʼlumotlar yigʻildi. Keyin Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu va Zn kabi 3d-metallarga tegishli manbalar alohida guruhlariga ajratildi. Soʻng komplekslar hosil boʻlish usullari eritmada sintez, sekin kristallantirish, gidrotermal yondashuv, yordamchi ligandlar bilan aralash-ligandli komplekslashish va polimerizatsion koordinatsiya kabi kategoriyalarga boʻlindi. Oxirida qoʻllanish yoʻnalishlari sensorika, korroziya inhibitsiyasi, kataliz, biologik faollik va MOF-materiallar kabi bloklarga ajratilib, qiyosiy jadval ishlab chiqildi.

Statistik tahlil uchun koʻrib chiqilgan asosiy xalqaro manbalar funksional yoʻnalish boʻyicha kodlandi. Masalan, bir maqolada kompleks elektroximik sensor sifatida taklif etilgan boʻlsa “sensor”, antimikrob va antioksidant faollik oʻrganilgan boʻlsa “biologik”, korroziyani kamaytirish maqsadida sinov oʻtkazilgan boʻlsa “korroziya”, koordinatsion karkas va adsorbsiya yoki fotokataliz bilan bogʻliq tizimlar “MOF/material”, reaksiya tezlashuvi yoki polimerizatsiyaga taʼsir etsa “kataliz” toifasiga kiritildi. Ushbu usul laboratoriya statistikasi emas, balki adabiyotlar korpusining





mazmuniy-statistik tahlili bo‘lib, mavzudagi ilmiy urg‘ular qaysi tomonga ko‘proq siljiyotganini ko‘rsatish uchun ishlatildi.

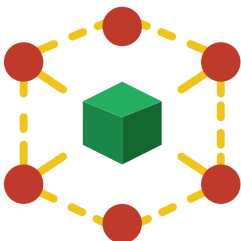
Strukturaviy tahlilda klassik koordinatsion kimyo tamoyillariga tayandik. Ya’ni markaziy ionning zaryadi, radiusi, ligandning deprotonatsiya darajasi, dentatligi, yordamchi ligandlarning mavjudligi va sintez muhitining pH ko‘rsatkichi kompleks geometriyasi va barqarorligiga qanday ta’sir qilishi talqin qilindi. O‘zbek kimyo manbalarida ham koordinatsion son, geometriya va barqarorlik asosiy nazariy ko‘rsatkichlar sifatida berilgani uchun ushbu tahlil usuli mavzuga metodik jihatdan mos keladi.

**Natijalar va muhokama:** 2,6-piridindikarbon kislotasining 3d-metallar bilan kompleks hosil qilishdagi eng asosiy afzalligi uning bir vaqtning o‘zida uchta donor markazni taklif qila olishidir. Piridin halqasidagi azot atomi va ikkita karboksilat kislorodi metallga meridional joylashuvchi tridentat ligand sifatida ulanadi. Ammo real sistemalarda u doimo bir xil tarzda tutmaydi. Ayrim hollarda bir karboksilat guruh monodentat, ikkinchisi ko‘priksimon bo‘lib qatnashadi; ayrim hollarda yordamchi ligandlar tufayli dipikolinat faqat qisman koordinatsiyalanadi. Ana shu koordinatsion plastiklik 3d-metallar bilan juda xilma-xil tuzilmalarning paydo bo‘lishiga sabab bo‘ladi. Bu komplekslarning geometriyasi odatda oktaedrik yoki distorsiyalangan oktaedrik bo‘lsa, polimer tizimlarda 1D, 2D va 3D tarmoqlar ham shakllanishi mumkin.

Cr(III) komplekslari odatda yuqori zaryadli va kinetik inert markaz sifatida ajralib turadi. Shuning uchun xromning dipikolinatli komplekslari ko‘pincha barqaror, nisbatan sekin almashuvchi koordinatsion sferaga ega bo‘ladi. 2023-yilda xrom(III) va kobalt(II) asosida dipikolinat va boshqa N,O-donor ligandlar bilan olingan yangi komplekslarning katalitik xossalari ko‘rib chiqilgan. 2024-yilgi tadqiqotda esa Cr(III) va Fe(III) ning 2,6-pyridinedicarboxylic acid bilan komplekslari sintez qilinib, karbonli po‘lat korroziyasiga qarshi ta’siri tekshirilgan. Bunday sistemalarda xrom markazining roli ikki tomonlama: birinchidan, barqaror kelat tuzilma hosil qiladi; ikkinchidan, metall sirtida adsorbsiya uchun qulay koordinatsion fragment yaratadi. Bu korroziya inhibitsiyasi uchun muhim, chunki inhibitorning samarasi faqat eritmadagi barqarorlikka emas, balki sirtga mahkamlanish va himoya qatlami hosil qilish qobiliyatiga ham bog‘liq.

Fe(III) va Fe(II) sistemalari dipikolinat kimyosida alohida o‘rin tutadi, chunki temir redoks-faol markaz hisoblanadi. Temir bilan dipikolinat komplekslari strukturaviy, elektroximik va kelatlanish nuqtai nazaridan ancha oldinlardan o‘rganilgan. DFT asosidagi tadqiqotlarda hidratlangan Fe<sup>2+</sup> bilan dipikolin kislotasi orasidagi ehtimoliy komplekslar modellashtirilgan. Bundan tashqari, Fe(III)-dipikolinat komplekslari korroziya inhibitsiyasi yo‘nalishida ham taklif etilgan. Temir komplekslarining ahamiyati shundaki, ular biologik tizimlarga yaqin metall markazni





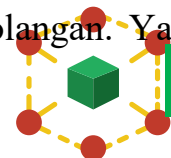
beradi, shu bilan birga elektroximik va sirt hodisalarida faol qatnashadi. Shu sababli Fe-dipikolinat tizimlari analitik kimyo, sirt kimyosi va bioanorganik modellash uchun foydalidir.

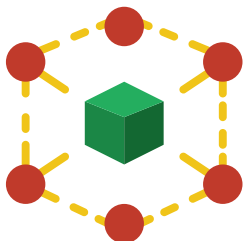
Mn(II) bilan hosil bo'ladigan komplekslar ko'pincha labilroq bo'lishi bilan ajraladi, shu bois ular biologik muhitlarga yaqinroq xulq ko'rsatishi mumkin. Mn(II) va Zn(II) bilan dipikolin kislotasi asosida olingan supramolekulyar birikmalar bo'yicha 2009-yilgi tadqiqot biologik faollik istiqbolini ko'rsatgan. 2018-yilda esa geterosiklik yordamchi ligandlar ishtirokidagi marganets komplekslari sitotoksik xususiyatlar bilan bog'liq holda ko'rib chiqilgan. Marganets dipikolinat komplekslarining ilmiy qiymati ko'pincha ularning koordinatsion muhiti o'zgarganda biologik javob ham o'zgarishi bilan belgilanadi. Bu yerda asosiy narsa metallning o'zi emas, balki butun "metall-ligand-ikkinchi ligand" arxitekturasi hisoblanadi. Shu jihatdan Mn(II) komplekslari xossalarning nozik modulyatsiyasi uchun qulay model bo'lib xizmat qiladi.

Co(II) tizimlari 2,6-piridindikarbonatli komplekslar orasida ayniqsa qiziqarli, chunki kobalt redoks jarayonlarda faol, geometriyaga sezgir va koordinatsion polimerlar hosil qilishga moyildir. 2017-yilda kobalt-2,6-pyridinedicarboxylate MOF sintez qilinib, u elektroximik sensing uchun istiqbolli material sifatida tavsiflangan. Bu natija mavzu uchun juda muhim, chunki dipikolinat ligandining planarligi va ko'prik hosil qilishi kobalt markazlari orasida o'tkazuvchan yoki sezgir tarmoqlar shakllantirishga yordam beradi. Bundan tashqari, 2007-yildagi tadqiqotlarda kobalt dipikolinat komplekslari nikotinamid va dietilentriamin kabi yordamchi ligandlar bilan kristall arxitektura hosil qilishi ko'rsatilgan. Demak, Co(II) bilan ishlaganda 2,6-piridindikarbon kislotasi oddiy kelatlovchi emas, balki funksional karkas quruvchi ligand rolini ham bajaradi.

Ni(II) komplekslari haqida 2025-yilda ellik yillik yutuqlarni umumlashtirgan sharh e'lon qilingan. Bu sharhning o'ziyoq nikel-dipikolinat kimyosi mustaqil va yetuk yo'nalishga aylanganini bildiradi. Nikel markazining d8 konfiguratsiyasi, ko'pincha oktaedrik yoki kvadrat-planar koordinatsiyaga moyilligi, dipikolinat bilan birga turli magnit, katalitik va strukturaviy xossalarning paydo bo'lishiga olib keladi. Garchi mazkur maqolada nikelga oid birlamchi sinov misollari boshqalarga qaraganda kamroq tahlil qilinayotgan bo'lsa-da, nikel sistemalari muhim ilmiy xulosa beradi: 2,6-piridindikarbon kislotasi bilan hosil bo'ladigan komplekslar alohida bir metallga xos hodisa emas, balki butun 3d-qator bo'ylab barqaror koordinatsion platforma sifatida ishlaydi.

Cu(II) komplekslari esa ushbu ligand bilan eng ko'p funksional natija beradigan sistemalar sirasiga kiradi. Mis(II) ionining Jahn–Teller ta'siriga moyilligi, redoks xatti-harakati va biologik faolligi tufayli Cu-dipikolinat birikmalar sensorika, biologik skrining va antimikrob yo'nalishida keng o'rganilgan. 2024-yilgi maqolada bir nechta Cu(II)-pyridine-2,6-dicarboxylate komplekslari Hg(II) sensing bilan birga antibakterial va antioksidant xususiyatlar bo'yicha baholangan. Yana



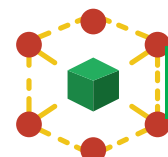


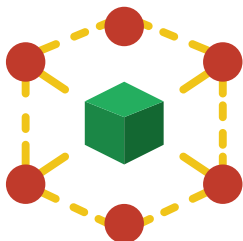
boshqa tadqiqotlarda dipikolinatli mis komplekslari va MOF-ga o'xshash tizimlar gidrogel kompozitlari tarkibida antibakterial material sifatida taklif etilgan. Bu natijalar Cu(II) sistemalarida ikki asosiy ustunlik borligini ko'rsatadi: birinchisi sezgir analitik javob, ikkinchisi biologik faol muhit bilan o'zaro ta'sir.

Zn(II) komplekslari diamagnet bo'lgani uchun ko'pincha struktura aniqlash, biologik faollik va MOF-materiallar yaratishda qulay hisoblanadi. Zn(II) bilan dipikolin kislotasi asosidagi tizimlar antimikrob xossalarga ega materiallar sifatida tavsiflangan, MOF sharhlarida ham Zn va 2,6-pyridinedicarboxylic acid kombinatsiyasi istiqbolli materiallar qatorida tilga olinadi. Ruxning biologik tizimlar bilan nisbatan mosligi, redoks jihatdan inertligi va koordinatsion moslashuvchanligi uni farmatsevtik va biomaterial yo'nalishlari uchun qulay qiladi. Zn(II) kompleksi ko'pincha "biologik xavfsizroq model metall" sifatida qaraladi, shu bois dipikolinat ligandining biologik rollarini ajratib ko'rishda foydali sistema sanaladi.

Komplekslarni olish usullariga kelsak, adabiyotlar tahlili bir nechta asosiy strategiyani ko'rsatadi. Eng sodda yo'l metall tuzi va 2,6-piridindikarbon kislotasini eritmada muvofiq mol nisbatda aralashtirib, pH ni asos yoki tampon bilan boshqarishdan iborat. Karboksil guruhlarining deprotonatsiyasi metallga koordinatsiyani kuchaytiradi, ammo juda yuqori pH metall gidroksidlar cho'kmasiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun ko'plab tizimlarda pH nazorati hal qiluvchi omil bo'ladi. Ikkinchi strategiya sekin bug'latish va kristallantirish bo'lib, u monokristallar olishga qulay. Uchinchi yondashuv gidrotermal yoki solvotermal sintez bo'lib, ayniqsa koordinatsion polimer va MOF-larda samarali. To'rtinchi usul yordamchi N-donor yoki O-donor ligandlarni qo'shib, aralashligandli komplekslar yaratishdir. Aynan shu yo'l bilan biologik faollik, katalitik selektivlik yoki kristall tarmoqning gözenekliligi boshqariladi.

Sintez jarayonida metallning tabiatiga qarab muhim farqlar kuzatiladi. Cr(III) va Fe(III) kabi yuqori zaryadli ionlar kuchliroq koordinatsion tortishuv beradi, natijada nisbatan barqaror va kamroq labil komplekslar shakllanadi. Co(II), Ni(II), Cu(II), Zn(II) tizimlarida esa erituvchi tabiati, yordamchi ligandlar va harorat kristall tuzilmaning qaysi yo'nalishda rivojlanishini keskin o'zgartirishi mumkin. Masalan, bir xil dipikolinat ligand Co(II) bilan elektroximik faol MOF hosil qilsa, Cu(II) bilan sensor-biofaol monokomplekslar yoki kompozit materiallarga kirib boradi. Bu farq ligandning o'zida emas, markaziy ionning elektron tabiati va koordinatsion preferensiyalaridadir. Demak, 2,6-piridindikarbon kislotasi universal ligand bo'lsa-da, yakuniy xossani metall tanlaydi.

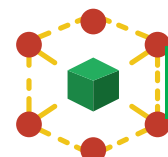


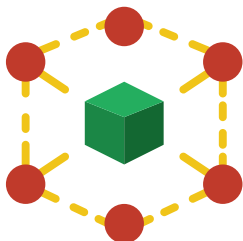


Quyidagi jadval adabiyotlarda ko‘proq uchraydigan 3d-metall dipikolinat tizimlarining umumlashtirilgan tavsifini beradi.

| Metall ioni | Ligandning ustun koordinatsiyasi | Olishning ko‘p uchraydigan usuli | Kuzatilgan asosiy yo‘nalish              | Izoh   |
|-------------|----------------------------------|----------------------------------|--|--|
| Cr(III)     | tridentat/oktaedrik              | eritmada sintez, aralash ligand  | kataliz, korroziya inhibitsiyasi         | iamagn inertlik va yuqori barqarorlik muhim  |
| Mn(II)      | tridentat yoki supramolekulyar   | eritmada kristallantirish        | iamagne faollik, sitotoksiklik modellari | koordinatsion labililik sabab muhitga sezgir |

| Metall ioni    | Ligandning ustun koordinatsiyasi | Olishning ko‘p uchraydigan usuli | Kuzatilgan asosiy yo‘nalish     | Izoh   |
|----------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--|
| Fe(III)/Fe(II) | kelat/oktaedrik                  | eritmada komplekslashish         | redoks, sirt kimyosi, korroziya | redoks-faollik va sirt bilan o‘zaro ta‘sir ustun |

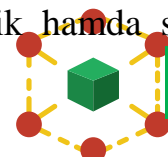


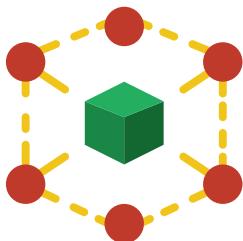


|        |  |   |  |  |
|--------|--|---|--|--|
| Co(II) | ko'priksimon, polimerik                    | gidrotermal, sekin bug'latish           | elektroximik sensor, MOF                 | tarmoqli tuzilma hosil qilish qobiliyati yuqori  |
| Ni(II) | oktaedrik/ba'zan kvadrat-planar tendensiya | turli eritma usullari                   | strukturaviy va katalitik tadqiqotlar    | alohida yo'nalish darajasiga yetgan tizim        |
| Cu(II) | distorsiyalangan oktaedrik                 | eritmada yordamchi tizim                | Hg(II) sensing, antimikrob, antioksidant | Jahn-Teller ta'siri va biofaollik bilan ajraladi |
| Zn(II) | iamagnet, polimer hosil qiluvchi           | ultratovushli/gidrotermal, eritma usuli | antimikrob MOF, biomaterial              | struktura va biomaslik nuqtai nazaridan qulay    |

## Xulosa

Ba'zi 3d-metallarning 2,6-piridindikarbon kislota bilan hosil qiladigan kompleks birikmalari koordinatsion kimyoning nazariy va amaliy jihatdan eng mazmunli yo'nalishlaridan biri ekanligi tahlil davomida aniq ko'rindi. Ushbu ligandning asosiy ustunligi uning N,O,O-donor tabiatida, ya'ni u bir vaqtning o'zida xelatlovchi, ko'prik hosil qiluvchi va polimerlashtiruvchi vazifalarni bajara olishidadir. Aynan shu ko'p funksiyali koordinatsion xulq 3d-metallar bilan juda xilma-xil tuzilmalarni yuzaga keltiradi. Cr(III) va Fe(III) sistemalarida barqarorlik hamda sirt





himoyasi, Mn(II), Cu(II), Zn(II) sistemalarida biologik va sensor xossalar, Co(II) va ayrim Ni(II) sistemalarida esa materialshunoslik va katalizga yaqin funksiyalar kuchliroq namoyon bo'lishi kuzatildi. Bu holat bitta ligand turli metallarda turli "kimyoviy vazifa" bajarishini ko'rsatadi.

## Foydalanilgan adabiyotlar

1. X. R. Tuxtayev, A. T. Sharipov, S. N. Aminov. Noorganik kimyo. Toshkent: Fan va texnologiya, 2018. O'zbek tilidagi darslik tavsifi va elektron nusxa ma'lumoti.
2. Kompleks birikmalar kimyosi. Jizzax davlat pedagogika universiteti o'quv dasturi, 2018.
3. Koordinatsion birikmalar kimyosi. Qo'qon davlat universiteti o'quv dasturi, 2025–2026 o'quv yili.
4. Umumiy va noorganik kimyo. Ziyonet elektron manbasi, koordinatsion birikmalar bo'limi.
5. Koordinatsion birikmalar kimyosining hozirgi zamon muammolari. Xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari to'plami. Buxoro, 2022.

