QO‘QON DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI ILMIY XABARLARI
(2026-yil 2-son)

TABIIY FANLAR

NATURAL SCIENCES

BENZIMIDAZOL HOSILALARI VA 3D-METALLAR BILAN KOMPLEKS BIRIKMALARI: SINTEZI, TUZILISHI VA XOSSALARI

https://doi.org/10.70728/a.series.v08.i02.037

Valiyeva Shoxista Muxammadisoyevna
Namangan davlat texnika universiteti tayanch doktoranti
Sattarov To‘lqinjon Abdusattor o‘g‘li
University of Business and Science dotsenti
E-mail:shohistavaliyeva96@gmail.com
E-mail:tulkin.com@mail.ru
+998939383530

Annotatsiya. Benzimidazol hosilalari azot tutuvchi geterosiklik birikmalar sinfiga mansub bo‘lib, yuqori biologik faolligi va kuchli koordinatsion qobiliyati sababli farmatsevtika hamda koordinatsion kimyoda muhim ahamiyat kasb etadi. Ularning molekulasida mavjud bo‘lgan azot donor markazlari 3d-qator o‘tish metallari bilan barqaror kompleks birikmalar hosil qilish imkonini beradi. Ayniqsa, temir, mis, Nikel va kobalt kabi metall ionlari bilan olingan komplekslar katalitik, antimikrob, antitumor, magnit va optik xossalari bilan ajralib turadi. Mazkur revyu maqolada benzimidazol hosilalarining asosiy sintez usullari, ularning 3d-metallar bilan kompleks hosil qilish mexanizmlari, koordinatsion geometriyasi va strukturaviy xususiyatlari tahlil qilinadi. Shuningdek, kompleks birikmalarning fizik-kimyoviy (spektral, magnit, termik) hamda biologik xossalari yoritilib, ularning amaliy qo‘llanish istiqbollari muhokama qilinadi.

Kalit so‘zlar: benzimidazol, 3d-metallar, koordinatsion birikmalar, ligand, kataliz, biologik faollik.

Abstract. Benzimidazole derivatives belong to the class of nitrogen-containing heterocyclic compounds and play a significant role in pharmaceutical and coordination chemistry due to their high biological activity and strong coordination ability. The presence of nitrogen donor centers in their molecular structure enables the formation of stable complexes with 3d transition metals. In particular, complexes with Iron, Copper, Nickel, and Cobalt ions exhibit notable catalytic, antimicrobial, antitumor, magnetic, and optical properties. This review article discusses the main synthetic approaches to benzimidazole derivatives, the mechanisms of their complex formation with 3d metals, as well as their coordination geometry and structural features. Furthermore, the physicochemical (spectral,

magnetic, and thermal) and biological properties of these complexes are analyzed, and their potential practical applications are highlighted.

Keywords: benzimidazole, 3d metals, coordination compounds, ligand, catalysis, biological activity

Аннотация.Производные бензимидазола относятся к классу азотсодержащих гетероциклических соединений и благодаря высокой биологической активности и выраженной координационной способности занимают важное место в фармацевтике и координационной химии. Наличие донорных атомов азота в молекуле обеспечивает образование устойчивых комплексных соединений с 3d-переходными металлами. В частности, комплексы с ионами Iron, Copper, Nickel и Cobalt характеризуются выраженными каталитическими, антимикробными, противоопухолевыми, магнитными и оптическими свойствами. В данном обзорном исследовании рассматриваются основные методы синтеза производных бензимидазола, механизмы их комплексообразования с 3d-металлами, координационная геометрия и структурные особенности. Также анализируются физико-химические (спектральные, магнитные, термические) и биологические свойства комплексов, а также обсуждаются перспективы их практического применения.

Ключевые слова: бензимидазол, 3d-металлы, координационные соединения, лиганд, катализ, биологическая активность.

KIRISH. Azot tutuvchi geterosiklik birikmalar organik, bioorganik va koordinatsion kimyoning eng muhim yo‘nalishlaridan birini tashkil etadi. Bunday birikmalar orasida benzimidazol va uning hosilalari alohida o‘rin tutadi. Benzimidazol yadrosi benzol halqasi bilan imidazol halqasining kondensatsiyalangan tizimidan iborat bo‘lib, molekulaning aromatikligi va ikki azot atomining mavjudligi unga yuqori kimyoviy barqarorlik hamda kuchli donorlik xususiyatini beradi. Aynan shu strukturaviy omillar benzimidazol hosilalarining keng biologik faolligi va koordinatsion kimyoda samarali ligand sifatida qo‘llanilishiga sabab bo‘ladi[1]

Benzimidazol fragmenti ko‘plab farmakologik faol moddalar tarkibiga kiradi. Masalan, antgelmintik preparat Albendazole va proton nasosi ingibitori Omeprazole tarkibida aynan shu geterosiklik tizim mavjud. Bu esa benzimidazol yadrosining biologik tizimlar bilan samarali o‘zaro ta’sirlashish qobiliyatini ko‘rsatadi. Ilmiy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, benzimidazol hosilalari antimikrob, antifungal, antiviral, yallig‘lanishga qarshi va antitumor xossalarga ega bo‘lishi mumkin[2,3].

So‘nggi o‘n yilliklarda benzimidazol hosilalarining koordinatsion kimyodagi ahamiyati yanada ortdi. Molekuladagi imidazol halqasining azot atomlari metall ionlariga elektron juftini berib, mustahkam koordinatsion bog‘ hosil qiladi. Shu sababli benzimidazol hosilalari monodentat yoki bidentat ligand sifatida namoyon bo‘lishi, ba’zi hollarda esa

ko‘prik (bridging) ligand vazifasini bajarishi mumkin. Bu esa turli tipdagi kompleks birikmalar hosil bo‘lishiga olib keladi[4,5].

Ayniqsa, 3d-qator o‘tish metallari bilan hosil qilingan komplekslar katta ilmiy va amaliy qiziqish uyg‘otadi. 3d-metallar qatoriga skandiydan ruh gacha bo‘lgan elementlar kiradi. Ular orasida temir, mis, nikel va kobalt ionlari benzimidazol asosidagi ligandlar bilan eng ko‘p o‘rganilgan tizimlardandir. Ushbu metall ionlari o‘zgaruvchan oksidlanish darajasi, turli koordinatsion son va geometriya hosil qilish qobiliyati bilan ajralib turadi[6,7].

Benzimidazol–metall komplekslarining tuzilishi ligandning elektron va sterik xususiyatlariga, metall ionining radiusi va oksidlanish darajasiga hamda sintez sharoitlariga bog‘liq bo‘ladi. Ko‘pchilik hollarda oktaedrik, tetraedrik yoki kvadrat-planar geometriyali komplekslar hosil bo‘ladi. Metall-ligand o‘zaro ta’siri natijasida kompleksning elektron tuzilishi o‘zgaradi, bu esa uning rang, magnit moment, elektr o‘tkazuvchanlik va reaktivlik kabi fizik-kimyoviy xossalariga bevosita ta’sir ko‘rsatadi[9,10].

Benzimidazol asosidagi 3d-metall komplekslari nafaqat nazariy jihatdan, balki amaliy nuqtai nazardan ham katta ahamiyatga ega. Ular oksidlanish-qaytarilish reaksiyalarida samarali katalizatorlar sifatida, biologik faol moddalar sifatida, shuningdek, magnit va optik materiallar yaratishda istiqbolli birikmalar hisoblanadi. Ayrim komplekslar DNK bilan bog‘lanish xususiyatiga ega bo‘lib, potensial antitumor vosita sifatida o‘rganilmoqda. Bundan tashqari, ularning elektrokimyoviy xossalari sensor va yarimo‘tkazgich materiallar ishlab chiqishda qo‘llanish imkonini beradi[8,11].

Zamonaviy tadqiqotlarda benzimidazol hosilalarini sintez qilishning yangi, ekologik xavfsiz va yuqori samarali usullarini ishlab chiqish, shuningdek, ularning metall komplekslarini chuqur strukturaviy va spektral tahlil qilish muhim vazifa bo‘lib qolmoqda. Komplekslarning tuzilishini IQ, UB-Vis, YaMR spektroskopiya, rentgen strukturaviy tahlil va magnit o‘lchovlar yordamida o‘rganish ularning xossalarini to‘liq tushunishga imkon beradi [12].

Shu munosabat bilan, benzimidazol hosilalari va ularning 3d-metallar bilan kompleks birikmalarini o‘rganish koordinatsion kimyo, materialshunoslik va bioanorganik kimyo sohalarida dolzarb ilmiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Mazkur maqolada benzimidazol hosilalarining sintez usullari, kompleks hosil qilish mexanizmlari, strukturaviy xususiyatlari hamda fizik-kimyoviy va biologik xossalari bo‘yicha mavjud ilmiy ma’lumotlar tizimli ravishda tahlil qilinadi va umumlashtiriladi.

Benzimidazol hosilalarining sintezi

Benzimidazol hosilalarini sintez qilish usullari organik kimyoning muhim yo‘nalishlaridan biri bo‘lib, ular reaksiya sharoiti, qo‘llaniladigan reagentlar, katalizatorlar va maqsadli substituentlarga qarab turlicha amalga oshiriladi. Umuman olganda, benzimidazol yadrosi **orto-fenilendiamin (1,2-diaminobenzol)** asosida kondensatsiya reaksiyalari orqali hosil qilinadi.

Sintez jarayonlarida halqa yopilishi (siklatsiya), oksidlanish-qaytarilish bosqichlari va kondensatsiya reaksiyalari asosiy mexanizmni tashkil etadi. Zamonaviy yondashuvlarda yuqori selektivlik, qisqa vaqt va ekologik xavfsizlikni ta’minlashga alohida e’tibor qaratilmoqda.

1. Klassik sintez usullari

Benzimidazol hosilalarini olishning klassik usullari asosan **orto-fenilendiamin (1,2-diaminobenzol)** ning turli karbonil birikmalar bilan kondensatsiyasiga asoslanadi. Ushbu jarayonlar odatda ikki asosiy bosqichni o‘z ichiga oladi: dastlab amin guruhlarining karbonil komponent bilan o‘zaro ta’siri, so‘ngra intramolekulyar siklizatsiya va oksidlanish natijasida aromatik benzimidazol yadrosining shakllanishi. Klassik usullar soddaligi, reagentlarning mavjudligi va yuqori hosildorligi bilan ajralib turadi.

Eng keng tarqalgan usullardan biri orto-fenilendiaminning **karboksil kislotalar yoki ularning hosilalari** (angidridlar, efirlar, xlorangidridlar) bilan kondensatsiyasidir. Reaksiya yuqori haroratda yoki kuchli kislota muhitida olib boriladi. Avval amid oraliq mahsulot hosil bo‘ladi, keyin esa molekula ichida halqa yopilishi sodir bo‘ladi. Oksidlanish bosqichida yakuniy aromatik benzimidazol tizimi shakllanadi. Ushbu usul ayniqsa 2-substitutsiyalangan benzimidazollar sintezida samarali hisoblanadi.

Ikkinchi muhim klassik yo‘l – orto-fenilendiaminning **aldehidlar bilan kondensatsiyasi** bo‘lib, bu usul ko‘pincha “Phillips usuli” nomi bilan mashhur. Reaksiya odatda kislotali muhitda (masalan, xlorid kislota ishtirokida) amalga oshiriladi. Dastlab Schiff asosi (imin) hosil bo‘ladi, so‘ngra siklizatsiya jarayoni yuz beradi va yakuniy bosqichda oksidlanish orqali barqaror benzimidazol halqasi hosil bo‘ladi. Bu usulning afzalligi shundaki, u nisbatan yumshoq sharoitda o‘tadi va turli xil aromatik yoki alifatik aldehidlar bilan keng ko‘lamli hosilalarni olish imkonini beradi.

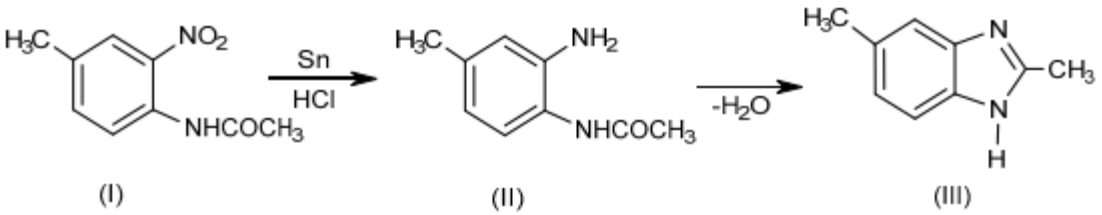
Klassik yondashuvlarning yana biri – **oksidlovchi siklokondensatsiya** usuli bo‘lib, bunda orto-fenilendiamin spirtlar yoki aldegidlar bilan oksidlovchi muhitda reaksiyaga kirishadi. Oksidlovchi sifatida havo kislorodi, vodorod peroksid yoki boshqa oksidlovchi reagentlar qo‘llaniladi. Bu usul reaksiya tezligini oshiradi va ko‘pincha selektivlikni yaxshilaydi.

Ba’zi hollarda benzimidazol hosilalari **karbonat angidrid, nitrillar yoki amidlar** bilan reaksiyalar orqali ham olinishi mumkin. Bu jarayonlarda ham asosiy mexanizm amin guruhining elektrofil markaz bilan o‘zaro ta’siri va keyingi halqa yopilishiga asoslanadi.

2.2 Benzimidazol hosilalarining sintezi

Benzimidazol (BnZ) — bu benzol va imidazol halqalari 4- va 5-pozitsiyalarda birikkan ikki halqali aromatik geterotsiklik birikma hisoblanadi. BnZ ning orto-fenilen hosilalari, masalan, metil-o-fenilenediamin, benzoglioksalinlar deb nomlanadi. So‘nggi yillarda bir qator tadqiqotchilar turli reaksiya sharoitlarida va turli funksional guruhlarni qo‘llash orqali **1-substitutsiyalangan yoki 1,2-disubstitutsiyalangan benzimidazol hosilalarini** sintez qilishning bir nechta usullarini tavsiflagan.

Benzimidazol birinchi marta 1872-yilda Hoebrecker tomonidan **2,5-dimetil-benzimidazol (III)** shaklida sintez qilingan. Ushbu sintez jarayoni quyidagicha amalga oshirilgan: dastlab **2-nitro-4-metil-asetanilid (I)** Sn va xlorid kislota (HCl) yordamida kamaytirilgan, so‘ngra hosil bo‘lgan **2-nitro-4-metil-asetanilid (II)** ning degidratsiyasi orqali 2,5-dimetil-benzimidazolga aylantirilgan (1-rasm).



1-rasm. Hoebrecker metodi asosida analiz qilish

Reaksiya sharoitlari, harorat, erituvchi va katalizatorlar bo‘yicha tafsilotlar boshqa manbalarda keng yoritilgan. Ushbu usul klassik benzimidazol sintezi hisoblanadi va hozirgi kunda turli substitutsiyalangan hosilalarni olishda asos sifatida qo‘llaniladi.

3d-metallar bilan kompleks hosil bo‘lishi

Benzimidazol hosilalarining koordinatsion kimyodagi ahamiyati ularning 3d-qator o‘tish metallari bilan barqaror va turli tuzilishga ega kompleks birikmalar hosil qilish qobiliyati bilan belgilanadi. Benzimidazol molekulasida imidazol halqasining azot atomi erkin elektron juftiga ega bo‘lib, metall ioniga donor sifatida ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli u monodentat ligand sifatida koordinatsiyalanishi mumkin. Agar molekulada qo‘shimcha donor markazlar (masalan, –OH, –COOH, $–NH_2$ yoki boshqa geteroatomlar) mavjud bo‘lsa, u holda ligand bidentat yoki polidentat xususiyat kasb etadi va kelat komplekslar hosil qiladi. Kelat effekti natijasida kompleksning termodinamik barqarorligi ortadi.

3d-qator o‘tish metallari Skandiy dan ruh gacha bo‘lgan elementlarni o‘z ichiga oladi. Ushbu metallarning asosiy xususiyati – d-orbitalarining to‘liq to‘ldirilmaganligi bo‘lib, bu ularning koordinatsion faolligini ta’minlaydi. Ayniqsa temir, mis, nikel va kobalt ionlari benzimidazol asosidagi ligandlar bilan keng o‘rganilgan komplekslar hosil qiladi. Bu metall ionlari o‘zgaruvchan oksidlanish darajasiga ega bo‘lib, turli koordinatsion son va geometriyaga ega birikmalar hosil qilish xususiyati bilan ajralib turadi.

Kompleks hosil bo‘lish jarayoni odatda metall tuzining (xlorid, nitrat, sulfat yoki asetat) eritmadagi solvatsiyalangan ionidan boshlanadi. Ligand metall ioniga yaqinlashib, azot atomidagi erkin elektron juftini metallning bo‘sh orbitaliga beradi va donor-akseptor tabiatli koordinatsion bog‘ hosil qiladi. Agar ligand protonlangan bo‘lsa, koordinatsiya jarayonida proton ajralishi sodir bo‘ladi. Natijada metallning ichki koordinatsion sferasi shakllanadi. Jarayonning samaradorligi metall ionining zaryadi, ion radiusi, erituvchi tabiati va harorat kabi omillarga bog‘liq bo‘ladi.

3d-metallar uchun eng ko‘p uchraydigan koordinatsion sonlar 4 va 6 hisoblanadi. Shunga mos ravishda oktaedrik, tetraedrik va kvadrat-planar geometriyali komplekslar hosil bo‘ladi. Masalan, Ni(II) va Cu(II) ionlari ko‘pincha kvadrat-planar yoki deformatsiyalangan oktaedrik tuzilma hosil qiladi, Fe(II), Fe(III) va Co(II) ionlari esa asosan oktaedrik

koordinatsiya namoyon etadi. Kompleks geometriyasi kristall maydon nazariyasi asosida tushuntiriladi: ligandlarning kuchi metall ionining d-orbitalaridagi elektronlarning taqsimlanishiga ta’sir ko‘rsatadi va natijada yuqori yoki past spinli holatlar yuzaga keladi.

3d-metall komplekslarining yana bir muhim xususiyati – ularning rangli bo‘lishidir. Bu holat d–d elektron o‘tishlari bilan bog‘liq. Metall ionining elektron konfiguratsiyasi va ligand maydon kuchi kompleksning rangini belgilaydi. Masalan, Cu(II) komplekslari ko‘pincha ko‘k yoki yashil tusga ega bo‘ladi, Fe(III) komplekslari esa sariq yoki jigarrang rang namoyon qiladi. Magnit xossalar esa juftlanmagan elektronlar soniga bog‘liq: yuqori spinli komplekslar paramagnit, barcha elektronlari juftlashgan tizimlar esa diamagnit bo‘ladi.

Komplekslarning barqarorligi metall ionining zaryadi ortishi bilan kuchayadi, chunki yuqori zaryadli ionlar ligand bilan kuchliroq elektrostatik tortishish hosil qiladi. Shuningdek, polidentat benzimidazol hosilalari bilan hosil bo‘lgan kelat komplekslar oddiy monodentat ligandli komplekslarga nisbatan ancha barqaror bo‘ladi. Bu esa ularning katalitik, biologik va materialshunoslik sohalaridagi qo‘llanilish imkoniyatlarini kengaytiradi.

Shunday qilib, benzimidazol hosilalarining 3d-metallar bilan kompleks hosil qilishi metall ionlarining elektron tuzilishi, oksidlanish darajasi va koordinatsion imkoniyatlari bilan uzviy bog‘liqdir. Ushbu o‘zaro ta’sir natijasida strukturaviy xilma-xil, fizik-kimyoviy va biologik jihatdan faol kompleks birikmalar hosil bo‘ladi. Bu tizimlarni chuqur o‘rganish koordinatsion kimyo, bioanorganik kimyo va funksional materiallar yaratish sohalarida muhim ilmiy ahamiyat kasb etadi.

XULOSA. Benzimidazol hosilalari kuchli koordinatsion qobiliyati va yuqori biologik faolligi bilan farmatsevtika va koordinatsion kimyoda muhim ahamiyatga ega. Ularning orto-fenilen azot donor markazlari 3d-qator o‘tish metallari (Fe, Cu, Ni, Co) bilan barqaror komplekslar hosil qilish imkonini beradi. Bu komplekslar katalitik, magnit, optik va biologik xossalarga ega bo‘lib, strukturaviy xilma-xilligi va elektron xususiyatlari ularning funksional qo‘llanilishiga ta’sir qiladi. Benzimidazol hosilalarining klassik va zamonaviy sintez usullari turli substitutsiyalangan ligandlarni yaratishga imkon beradi, bu esa ularning metall komplekslari va biofaolligini oshiradi.

Foydalanilgan Adabiyotlar ro‘yxati

1. Rao GE, Babu PS, Koushik OS, Sharmila R., Vijayabharathi M., Maruthikumar S., Prathyusha R., Pavankumar P. Benzimidazol yadrosining kimyosi va uning biologik ahamiyati bo'yicha sharh. Int. J. Pharm. Kimyo. Biol. Sci. 2016;6:227–232.

2. Manna K., Agrawal YK Benzofuranning yangi indofenazin 1,3,5-trisubstratsiyalangan pirazolin hosilalarining mikroto'lqinli yordam sintezi va ularning mikroblarga qarshi faolligi. Bioorg. Med. Chem. Lett. 2009;19:2688–2692. doi: 10.1016/j.bmcl.2009.03.161.

3. Kalidhar U., Kaur A. Antimikrob faollikka ega ba'zi benzimidazol va sulfanamid hosilalariga umumiy nuqtai nazar. Res. J. Pharm. Biol. Chem. Sci. 2011;2:1116–1135.

4. Rayt JB Benzimidazollar kimyosi. Kimyo. Rev. 1951;48:397–541. doi: 10.1021/cr60151a002.

5. Hoebrecker F. Benzimidazol. Ber. 1872;5:920–926.

6. Fei F., Zhou Z. Yangi almashtirilgan benzimidazol hosilalari: Patent sharhi (2010–2012) Ekspert fikri. Terapiya patenti. 2013;23:1157–1179. doi: 10.1517/13543776.2013.800857.

7. Azeez S., Sureshbabu P., Chaudhary P., Sabiah S., Kandasamy J. Xona haroratida o-Fenilendiamin va aldegidlardan benzimidazollarning tert-butil nitrit katalizlangan sintezi. Tetrahedron Lett. 2020;61:151735. doi: 10.1016/j.tetlet.2020.151735.

8. Zhang J., Yao R., Chen J., Li T., Xu Y. Lignindan olingan Rh2P katalizatoridan foydalanib, nitrillarni diaminlar bilan benzimidazollarga gidrogenativ bog'lash. iScience. 2021;24:103045. doi: 10.1016/j.isci.2021.103045.

9. Vijayalakshmi PB, Haridasan AP Nelamuchchala (Gymnostachyum Febrifugum Benth.) Int. Farmakognostik va dastlabki fitokimyoviy baholash. J. Res. Ayush Pharm. Sci. 2017;1:1–6.

10. Bastug G., Eviolitte C., Markó IE Funksionalizatsiyalangan Orthoesterlar Geteroaromatik Velosipedlarni Samarali Tayyorlash uchun Kuchli Qurilish Bloklari sifatida. Org. Lett. 2012;14:3502–3505. doi: 10.1021/ol301472a.

11. Hanan EJ, Chan BK, Estrada AA, Shore DG, Lyssikatos JP Aromatik va geteroaromatik 2-nitroaminlarning bitsiklik 2H-imidazollarga yengil va umumiy bir potli reduksiya va siklizatsiyasi. Synlett. 2010;18:2759–2764. doi: 10.1055/s-0030-1259007.

12. Yang D., Fokas D., Li J., Yu L., Baldino CM Reduktiv siklizatsiya orqali O-nitroanilinlar va aldegidlardan benzimidazollarni bir bosqichda sintez qilishning ko'p qirrali usuli. Sintez. 2005;1:47–56. doi: 10.1055/s-2004-834926.