TERMINAL ATSETILEN SPIRTLARINING DIMERLANISH REAKSIYALARI ASOSIDA DIINDIOLLAR SINTEZI

Odiljon Egamberdiyevich Ziyadullayev
Alfraganus universiteti professori
E-pochta: bulak2000@yandex.ru

ANNOTATSIYA

Ushbu ishda CuCl/TMEDA/CCl_4/MeOH katalitik sistemasi yordamida molekulasida alifatik, aromatik, siklik va geterotsiklik o‘rinbosarlar saqlagan terminal atsetilen spirtlari asosida diindiollar sintez qilish usuli ishlab chiqilgan. Terminal atsetilen spirtlari molekulasidagi radikallar tabiatining mahsulot unumiga ta’siri asosida diindiollarning hosil bo‘lish samadorlik qatori aniqlangan. Qo‘llanilgan kompleks katalitik sistema uchun eng muqobil sharoit topilgan va reaksiya mexanizmlari taklif etilgan. Tanlangan sistemada diindiollarni sintez qilish jarayoniga- harorat, reaksiya davomiyligi, erituvchi va katalizator tabiati, boshlang‘ich moddalar mol miqdori ta’siri tizimli ravishda tahlil etilgan va olingan natijalar asosida jarayon uchun eng muqobil sharoit topilgan. Diindiollarni sintez qilish reaksiya bosqichlari, erituvchi, katalizator, ligand va oraliq birikmalarning reaksiya tezligi va faollanish energiyasiga ta’siri hisoblangan, terminal atsetilen spirtlari tabiati, ularning reaksion qobiliyati, jarayon borishi va mahsulot unumiga ta’sir qilish qonuniyatlari ishlab chiqilgan, katalizatorlarning stabilligi, faolligi va qaytar reaksiyalarga ta’siri aniqlangan. Sintez qilingan birikmalarning tuzilishi, tozaligi va tarkibi zamonaviy fizik-kimyoviy tadqiqot usullarida isbotlangan.

Kalit so‘zlar. terminal atsetilen spirtlari, alifatik, aromatik, siklik va geterotsiklik radikallar, nukleofil birikish, katalitik sistema, erituvchi, reaksiya mexanizmi, mahsulot unumi.

ABSTRACT

A method of synthesizing diindiols based on terminal acetylene alcohols containing aliphatic, aromatic, cyclic and heterocyclic substituents was developed using the catalytic system of CuCl/TMEDA/CCl_4/MeOH in this work. Based on the influence of the nature of the radicals in the molecule of terminal acetylene alcohols on the yield of the product, the series of production of diindiols has been determined. The most alternative conditions for the used complex catalytic system were found and reaction mechanisms were proposed. The influence of temperature, duration of reaction, nature of solvent and catalyst, mole amount of starting materials on the process of synthesis of

diindiols in the selected system was systematically analyzed and based on the obtained results, the most alternative conditions for the process were found. The reaction stages diindiols, the influence of the solvent, catalyst, ligand and intermediate compounds on the reaction speed and activation energy is calculated, the nature of terminal acetylene alcohols, their reactivity, process progress and product yield have been calculated. The laws of reaction have been developed, the stability, activity and effect of catalysts on reactions have been determined. The structure, purity and composition of the synthesized compounds have been proven using modern physico-chemical research methods.

Keywords: terminal acetylene alcohols, aliphatic, aromatic, cyclic and heterocyclic radicals, nucleophilic coupling, catalytic system, solvent, reaction mechanism, product yield.

KIRISH

Hozirgi vaqtda jahonda tabiiy xom-ashyolarning kimyoviy qayta ishlash asosida neft-gaz, kimyo, elektrotexnika, farmatsevtika, kosmetika, ridiokimyo va elektronika sanoatida keng miqyosida qo‘llaniladigan organik moddalarga bo‘lgan talab tobora kuchayib bormoqda. Natijada yuqori ehtiyojga ega organik preparatlar, materiallar va bioqo‘shimchalar ishlab chiqarish yildan yilga ortib bormoqda, bu esa nozik organik sintez asosida yangi avlod organik moddalar olish, ularning qo‘llanish sohasini keng ko‘lamda o‘rganishni taqozo qilmoqda. Jumladan, yuqori faollikga ega bo‘lgan atsetilen spirtlarini olishning yangi usullarini topish, fizik-kimyoviy xususiyatlarini tadqiq qilish hamda maqsadli qo‘llanish sohalarini aniqlash dolzarb hisoblanadi.

Dunyoda atsetilen birikmalari asosida garmonlar, vitaminlar, fungitsidlar, deemulgatorlar va ingibitorlar sintez qilish usullarini aniqlash, jarayonlar borishi va mahsulot unumiga turli omillarning ta’sirini o‘rganish, yangi katalitik sistemalarni qo‘llash, ishlab chiqarish texnologiyalarini joriy etish, ularning fizik-kimyoviy, texnik, farmakologik, ekologik va biologik xossalarini o‘rganish, tarkibi va tuzilishini aniqlash, xususiy va kvant-kimyoviy tavsiflari, texnik shartlari va talablarini ishlab chiqish bo‘yicha keng qamrovli tadqiqotlar bajarilmoqda. Bu borada, atsetilen spirtlari, ularning efirlari, alkogolyatlari, diollari va diatsetilen diollarini sintez qilish usullari va ishlab chiqarish texnologiyalarini yaratish, fizikaviy, kimyoviy, energetik va mexanik xossalarini, kimyoviy o‘zgarishlari va faolliklarini tadqiq qilish, ulardan yangi avlod ionitlar, biotsidlar, ingibitorlar, erituvchilar, bo‘yoqlar, tikuvchi va bloklovchi agentlar, erituvchilar va polimer kompozitlar sifatida foydalanishga alohida e’tibor berilmoqda.

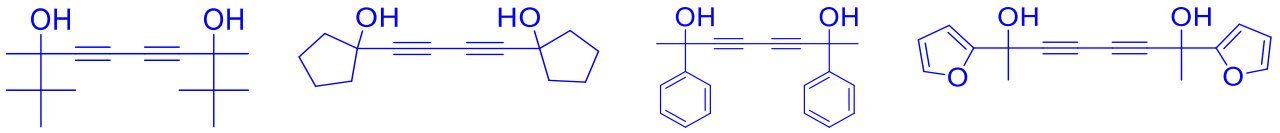
ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYA

Propargil spirtlari kimyoviy sintezda keng tarqalgan qurilish bloklari bo‘lib, qimmatli sintetik oraliq mahsulotlar yoki dorivor preparatlarning o‘zagi sifatida keng qo‘llanilishi mumkinligi sababli juda qadrlanadi [1-5]. Ushbu yo‘nalishda dunyoning yetakchi mamlakatlarida tizimli tadqiqotlar olib borilmoqda, jumladan, Shanxay an’anaviy Xitoy tibbiyot universiteti professori Changhong Wang va uning ilmiy jamoasi tomonidan poliatsetilen birikmalari asosida yangi avlod katalitik sistemalar yordamida 90% unumgacha turli xil biologik faollikka ega bo‘lgan atsetilen diollarini sintez qilingan va olingan mahsulotlarning farmakologik va biologik funktsiyalari bo‘yicha keng qamrovli tadqiqotlar olib borilgan [6]. *Launaea capitata* (Spreng) yovvoyi o‘simligi ekstrakti kolonkali xromatografiya yordamida tozalanib poliatsetilen hosilalari olingan, jumladan, (3*S*, 8*E*)-deken-8-diin-4,6-diol-1,3, (3*S*)-dekatrien-4,6,8-diol-1,3, (3*S*)-(6*E*, 12*E*)-tetradekadiendiin-8,10-diol-1,3, bidensineozid, va (3*S*)-(6*E*, 12*E*)-tetradekadien-8,10-diin-1-ol-3-*O*-b-D-glukopiranozid ajratib olingan va fermentlarga qarshi yangi inhibitorlarni ishlab chiqish uchun xom ashyo sifatida taklif qilingan [7].

NATIJALAR

Termik bardoshli shliflangan besh og‘izli kolbada dastlab ekvimolyar nisbatda olingan 3,3,4-trimetilpentin-1-ol-3 va tetrametiletilendiamin (TMEDA) ning emulsiyasi 60 minut davomida tayyorlandi. So‘ngra ushbu emulsiyaga 120 ml CuCl ning metanoldagi suspenziyasi 60 minut davomida aralashtirildi. Kolbadagi eritmaga (katalitik komponentga) 20 ^{o}C haroratida 2,2 mol miqdordagi tetraxlormetan (CCl_4) 11 soat davomida aralashtirildi va 24 soat tindirishga qo‘yildi. Tindirilgan aralashma tarkibidagi erituvchi metanol oddiy sharoitda bug‘latildi, organik va anorganik komponent 300 ml suv eritildi va suv fazasi 300 ml dixlorometan (3×200 ml) bilan ekstraktsiya qilindi. Organik qatlam Na_2SO_4 orqali quritildi. Erituvchi vakuumda bug‘latildi va qolgan mahsulotni silikagel 60 kolonkali xromatografiyada turli elyuentlar (CH_2Cl_2:MeOH 100:1, 30:1) orqali o‘tkazildi. Natijada 215 g oq kukun 2,2,3,8,9,9-geksametildekadiin-4,6-diol-3,8 (**1**) 86% unum bilan sintez qilindi.

Ushbu usul bo‘yicha 1-etinilsiklopentanol, 2-fenilbutin-3-ol-2 va 2-(furanil-2)butin-3-ol-2 kabi terminal atsetilen spirtlarining dimerlanish jarayoni bo’yicha mos ravishdagi 185 g 1,1'-(butadiin-1,3-diil-1,4)bis(siklopentanol-1) (85%) (**2**), 148 g 2,7-difeniloktadiin-3,5-diol-2,7 (51%) (**3**) va 176 g 2,7-di(furanil-2)oktadiin-3,5-diol-2,7 (65%) (**4**) unum bilan sintez qilindi [8].



1 **2** **3** **4**

Sintez qilingan diindiollar (DD) ayrim hususiy kattaliklari aniqlandi, tuzilishi IQ spektroskopik usulda tahlil qilindi va tarkibi fizik-kimyoviy usullarida isbotlandi.

1-Jadval

Sintez qilingan DDning ayrim fizik kattaliklari

DD	Brutto formulasi	Molyar massasi	$T_{q,}$ °C	n_d^{20}	d_n^{20}
1	$C_{16}H_{26}O_2$	250	153	1,502	0,983
2	$C_{14}H_{18}O_2$	218	134	1,585	1,181
3	$C_{20}H_{18}O_2$	290	187	1,621	1,183
4	$C_{16}H_{14}O_4$	270	185	1,587	1,281

1 – IQ spektrida quyidagicha yutilish sohalari: 3310,55 sm^{-1} sohada DD molekulasidagi gidroksil guruhining, 2963,65-2928,57 sm^{-1} sohada $–CH_3$ guruhining asimmetrik valent tebranishi, 2238,73-2189,18 sm^{-1} da −C≡C− guruhinig valent, 1465,33-1362,07 da $–CH_3$ guruhini asimmetrik deformatsion va 1137,07-1104,04 sm^{-1} da −C−OH guruhini valent tebranishlari kuzatildi.

2 – IQ spektrida quyidagicha yutilish sohalari: 3202,75 sm^{-1} sohada −OH guruhining, 2988,93-2927,42 sm^{-1} sohada halqadagi $–CH_2$ guruhining asimmetrik va simmetrik, 2234,62-2196,34 sm^{-1} da −C≡C− guruhi, 1475,37-1408,14 sm^{-1} da siklik halqadagi $–CH_2$ guruhini asimmetrik va simmetrik, 1362,81-1292,40 sm^{-1} sohada $>CH_2$ guruhi, 1208,52-1104,53 sm^{-1} sohada −C−OH guruhi, 966,58 sm^{-1} da $=CH_2$ guruhining va 729,36-712,61 sm^{-1} sohada $>CH_2$ guruhini valent va deformatsion tebranishlari kuzatildi.

3 – IQ spektrida quyidagicha yutilish sohalari: 3309,13 sm^{-1} sohada −OH guruhining, 2988,45-2916,61 sm^{-1} da siklik halqadagi $–CH_3$ guruhining asimmetrik va simmetrik, 2278,71-2161,84 sm^{-1} da −C≡C− guruhining valent tebranishlari, 1978,15 da =C–H guruhining asimmetrik valent tebranishi, 1668,53-1582,13 sm^{-1} sohada –C=C− guruhi, 1575,22-1378,14 sm^{-1} da Ar (C_6H_6) guruhi, 1218,09-1082,40 sm^{-1} da −C−OH guruhi, 826,90 sm^{-1} da Ar (C_6H_6) guruhi va 649,83 sm^{-1} da (C_6H_6) –C–H guruhining valent va deformatsion tebranishlari kuzatildi.

4 – IQ spektrida quyidagicha yutilish sohalari: 3341,64-3202,37 sm^{-1} sohada DD molekulasidagi −OH guruhi, 3127,41 sm^{-1} sohada furan molekulasidagi =C–H va 2992,19-2872,61 sm^{-1} sohada $−CH_3$ guruhining simmetrik va asimmetrik valent tebranishlari, 1502,35 sm^{-1} da furan halqasi tebranishi, 1468,59 sm^{-1} sohada $−CH_3$ guruhining asimmetrik deformatsion tebranishi, 1160,25 sm^{-1} sohada

–C–OH bog‘ining valent tebranishi, 884,21 sm^{-1} va 742,06 sm^{-1} sohalarda furan molekulasidagi =C–H bog‘ning simmetrik va asimmetrik deformatsion tebranishlari kuzatildi.

2-Jadval

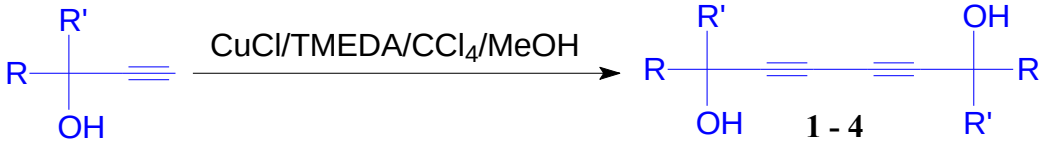
Sintez qilingan DDning element tahlili natijalari

DD	Brutto formulasi	Molekulyar massasi, g/mol	Tahlil natijalari	Elementlar nomi va tahlili, %		
				C	H	O
1	$C_{16}H_{26}O_2$	250	Hisoblangan	76,80	10,40	12,80
			Aniqlangan	76,75	10,47	12,78
2	$C_{14}H_{18}O_2$	218	Hisoblangan	77,06	8,26	14,68
			Aniqlangan	77,03	8,13	14,66
3	$C_{20}H_{18}O_2$	290	Hisoblangan	82,73	6,25	11,02
			Aniqlangan	82,76	6,21	11,03
4	$C_{16}H_{14}O_4$	270	Hisoblangan	71,11	5,18	23,71
			Aniqlangan	71,10	5,22	23,68

MUHOKAMA

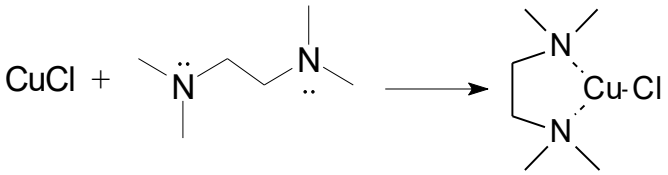
Ushbu ishda mis (I)-xlorid, ligand sifatida *N,N,N′,N′*-tetrametiletilendiamin (TMEDA), promotor tetraxlorometan (CCl_4) va erituvchi metanol (MeOH) dan tashkil topgan katalitik sistema ($CuCl/TMEDA/CCl_4$) yordamida tanlangan terminal atsetilen spiertlari – 3,4,4-trimetilpentin-1-ol-3, 1-etinilsiklopentanol, 2-fenilbutin-3-ol-2 va 2-(furanil-2)butin-3-ol-2larning dimerlanish jarayoni amalga oshirildi va mos ravishda molekulasida ikkita uch bog‘ va ikkita gidroksil guruhi hamda alifatik, aromatik, siklik va geterosiklik o‘rinbosarlar saqlagan diatsetilen diollari (DD) – 2,2,3,8,9,9-geksametildekadiin-4,6-diol-3,8 (**1**) 1,1'-(butadiin-1,3-diil-1,4)bis(siklopentanol-1) (**2**), 2,7-difeniloktadiin-3,5-diol-2,7 (**3**) va 2,7-di(furanil-2)oktadiin-3,5-diol-2,7 (**4**) sintez qilindi.

Dimerlanish reaksiyasi umumiy sxemasi va mexanizmi adabiyot manbaalari asosida quyidagicha taklif etildi [9, 10].

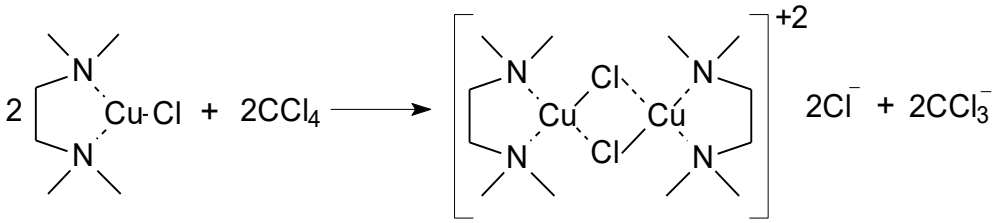


Reaksiya mexanizmi

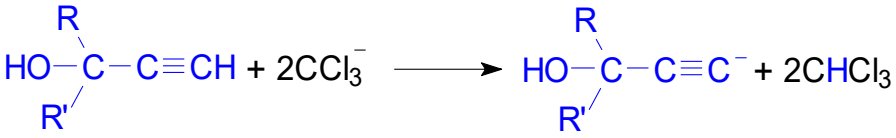
Jarayonda dastlab katalizator CuCl ligand TMEDA bilan ta’sirlashib mis (I) kompleks tuzini hosil qiladi.



Hosil bo‘lgan mis (I) kompleks tuzi sistemaga qo‘shilgan CCl_4 yordamida oksidlanib mis (II) kompleks tuziga aylanishi hisobiga sistemada trixlormetan anioni hosil bo‘ladi. Ushbu jarayonda CCl_4 bir vaqtning o‘zida ham erituvchi ham oksidlovchi vazifasini bajaradi.

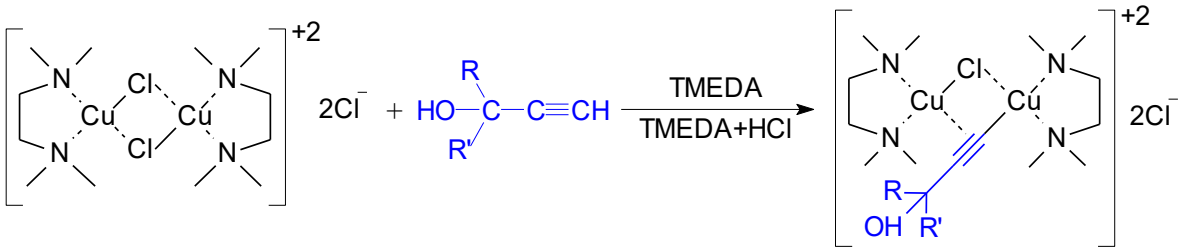


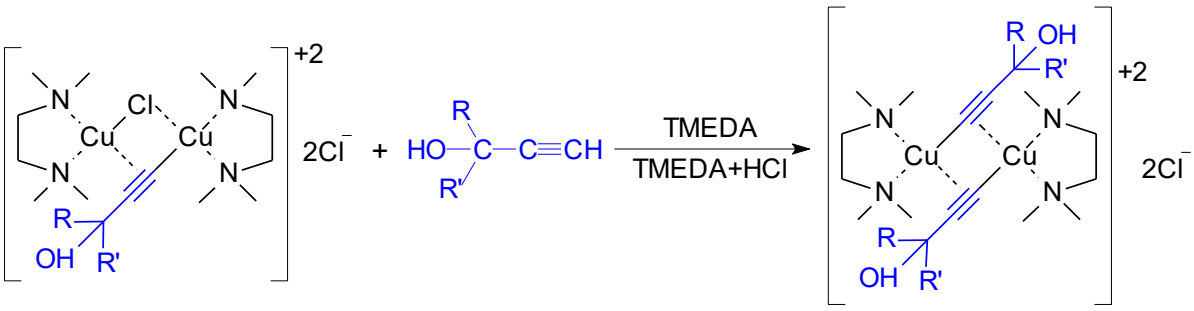
Ma’lumki, AS tarkibidagi C≡C ning bog‘ uzunligi oddiy σ bog‘ga nisbatan qisqa bo‘lib, bog‘ energiyasi yuqori bo‘lishi hisobiga uchbog‘ga birikkan vodorodning harakatchanligi ortadi va ≡C–H bog‘ning oson uzilishiga sabab bo‘ladi. Sistemada trixlormetan anioni ushbu harakatchan vodorodni biriktirib trixlormetan molekulasini va deprotonlangan AS anionini hosil qiladi.



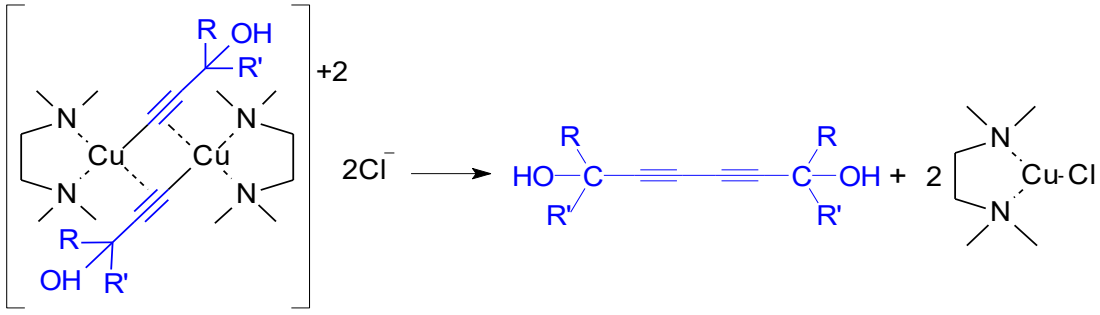
Hosil bo‘lgan anion asos TMEDA ishtirokida sistemadagi kompleks katalitik sistema- mis (II) kompleks tuzi bilan ta’sirlashib mis (II) π-kompleksini hosil qiladi. TMEDA tarkibidagi ikkita azot atomining bog‘ hosil qilishda ishtirok etmagan juft elektronlari hisobiga alkindagi vodorodni va mis (II) kompleks tuzi tarkibidagi xlor bilan donor-aktseptor bog‘ hosil qilib reaksiya borishini osonlashtiradi.

Xuddi shunday tartibda kompleks tuz molekulasidagi ikkinchi mis atomi ham alkinning ekvivalent miqdori bilan ta’sirlashadi.





Hosil bo‘lgan oraliq mahsulotning oksidlanib elimirlanishidan mis (I) kompleks va yangi C–C bog‘ hosil bo‘lish hisobiga diatsetilen diol olinadi.



Tadqiqot obyekti hisoblangan DD unumiga va jarayon selektivligiga ta’sir qiluvchi katalizator tabiati va miqdori, harorat va reaksiya davomiyligi ta’siri tizimli tahlil qilindi. Reaksiyaning borishiga reagent va substratlarning miqdori, tabiati, xossalari va tuzilishi kabi omillar tadqiq qilindi.

Bunda dastlab DD sintezi uchun aproton erituvchi– tetragidrofuran va proton erituvchilar- metanol va etanollarning mahsulot unumiga ta’siri o‘rganildi.

3-Jadval

DD unumiga katalizator va erituvchilar tabiati ta’siri
(ligand TMEDA, harorat 20 °C, reaksiya davomiyligi 12 soat)

Erituvchi	Katalizator	Mahsulot unumi, %			
		87	88	89	90
TGF	CuCl	49	47	12	26
MeOH	CuCl	86	85	51	65
	CuBr	65	63	32	42
	CuI	58	56	24	39
EtOH	CuCl	79	77	43	58
	CuBr	58	56	25	39
	CuI	50	49	17	31

Dimerlanish jarayoni aproton erituvchi TGF da olib borilganda mahsulot unumdorligi past bo‘lganligi sababli, tadqiqot proton erituvchilarda olib borildi. Qutbli proton erituvchilarda reagentlarning dissotsiyalanish darajasi yuqori bo‘lishi hisobiga ionlarning to‘qnashuvlari maksimum o‘tdi. Jadvaldan ko‘rinib

turibdiki, dielektrik konstantasi va dipol momenti EtOH ga nisbatan yuqori bo‘lgan MeOH da DD sintezida yuqori samaradorlikka erishildi.

Mahsulot unumiga katalizator tabiati ta’siri o‘rganildi. Bunda reaksiya CuCl da olib borilganda DD- **1**- 86%, **2**- 85%, **3**- 51% va **4**- 65% unum bilan eng yuqori selektivlikni namoyon qildi. Misning 3d elektron qobiqchasi uning ligandlar bilan donor-akseptor bog‘ hosil qilish imkoniyatini beradi va bu misning bir valentli kationidan ikki valentli kationiga o‘tishi natijasidagi oksidlanish-qaytarilish jarayonlariga asoslangan gomolitik birikish reaksiyasi uchun juda qulay hisoblanadi [11]. Ma’lumki, mis (I) galogenidlarda yadro zaryad va elektromanfiylik yoddan ftorga tomon ortib boradi ammo ftorning aktivligi juda yuqori bo‘lganligi sababli mis (I) ftorid barqaror holatda mavjud bo‘la olmaydi va tezda mis (II) ftoridga o‘tadi [12]. Shu sababli jarayonda mis (I) xloridning boshqa katalizatorlar bilan taqqoslanganda yuqori katalitik faollikni namoyon qildi.

DD sintezi reaksiyalari 10 ^{o}C dan 30 ^{o}C gacha bo‘lgan intervallarda olib borildi. Reaksiya 20 ^{o}C da olib borilganda **1**- 86%, **2**- 85%, **3**- 51%, **4**- 65% unum bilan eng yuqori chiqishi aniqlandi. Harorat 0 dan 20 ^{o}C gacha oshirilganda, diatsetilen diollar unumdorligi oshib borishi kuzatildi. Ya’ni jarayonda boshlang‘ich moddalar dissotsiyalanishi va katalizator selektivligi ham harorat ko‘tarilgan sari faollanishi aniqlandi va diatsetilen diollar unumi **1**- 79% dan 86% ga, **2**- 77% dan 85% ga, **3**- 40% dan 51% ga va **4**- 57% dan 65% ga ko‘tarilishi aniqlandi. Biroq harorat 30 ^{o}Cga ko‘tarilganida katalizator va ligandning selektivligi kamayishi hisobiga qaytar jarayon va polimerlanish sodir bo‘lishi natijasida mahsulot unumi pasaydi.

CuCl/TMEDA/CCl_4 katalitik sistema mol miqdori 0,1:2,0:2,2 nisbatda foydalanilganda sistemada molekula va ionlarning maksimum g‘alayonlangan holatga o‘tishi kuzatildi, ya’ni faollanish energiyasi kamayishi hisobiga oraliq mahsulot barqarorligi ortdi va katalizator o‘zining yuqori faolligini namoyon qildi.

4-Jadval

DD unumiga reaksiya davomiyligi va CuCl:TMEDA:CCl_4 miqdori mol nisbati ta’siri (harorat 20 ^{o}C, erituvchi MeOH)

Miqdoriy nisbatlar			Mahsulot unumi, %			
CuCl	TMEDA	CCl_4	**1**	**2**	**3**	**4**
reaksiya davomiyligi 6 soat						
0,05	1,5	2,0	60	58	16	32
0,1	2,0	2,2	79	77	34	49
0,2	2,5	2,5	72	70	41	44

reaksiya davomiyligi 12 soat						
0,05	1,5	2,0	68	66	32	47
0,1	2,0	2,2	86	85	51	65
0,2	2,5	2,5	81	79	45	61
reaksiya davomiyligi 18 soat						
0,05	1,5	2,0	65	64	30	44
0,1	2,0	2,2	84	81	48	61
0,2	2,5	2,5	78	75	43	57

Dimerlanish jarayoni 6÷18 soat interval oralig‘ida olib borildi. 6÷12 soat oralig‘ida mahsulot unumi oshib borishi kuzatildi. Biroq reaksiya davomiyligini yana ortishi natijasida sistemada hosil bo‘lgan DDning degidratlanishi va polimerlanishi kuzatildi. Qo‘shimcha mahsulot sifatida hosil bo‘lgan poliatsetilen birikmalar DD unumini qisman pasayishiga sabab bo‘ldi.

XULOSA

Ilmiy izlanishlar, tajriba natijalari va nazariy qonuniyatlar asosida DD sintezi uchun eng muqobil sharoit topildi. CuCl/TMEDA/CCl_4/MeOH katalitik sistemada, reaksiya 20 ^oC haroratda, 12 coat davomida olib borilganda DD unumi maksimum (%), **1**– 86; **2**– 85; **3**– 51 va **4**– 65 unum bilan sintez qilindi. Terminal atsetilen spirtlari molekulasida radikallar tabiati va ularning fazoviy ta’sir etish xossasiga ko‘ra dimerlanish jarayonining faollanish qatori 2,7-difeniloktadiin-3,5-diol-2,7 < 2,7-di(furanil-2)oktadiin-3,5-diol-2,7 < 1,1'-(butadiin-1,3-diil-1,4)bis(siklopentan-ol-1) < 2,2,3,8,9,9-geksametildekadiin-4,6-diol-3,8 bo‘yicha ortib borishi isbotlandi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI / REFERENCES

1. Krzysztof Kuciński, AlicjaŁuczak, Aliaksei Mankouski Base-Catalyzed Addition of Silylacetylenes to Ketones // Organic Chemistry Frontiers, 2023. Volume 10, Issue 11, pp. 2752-2759.
2. Pandey A.R., Tiwari D.K., Prakhar A., Mishra D.P., Sharma S.K. A Review Towards Synthesis of Heterocycles Using Propargyl Alcohols and Propargyl Amines // Monatshefte Fur Chemie, 2022. Volume 153, pp. 383-407.
3. Goulart T.A., Recchi A.S., Back D.F., Zeni G. Selective 5-Exo-Dig versus 6-Endo-Dig Cyclization of Benzoimidazole Thiols with Propargyl Alcohols // Advansed Synthesis and Catalysis 2022. Volume 364, pp. 1989-1997.
4. Mishra S.R., Nair B.B. Recent Approaches for the Synthesis of Pyridines and (iso)Quinolines using Propargylic Alcohols // Organic and Biomolecular Chemistry, 2022. Volume 20, pp. 6037-6056.

5. Du A.X. Recent Advances in the Direct Transformation of Propargylic Alcohols to Allenes // Organic Chemistry Frontiers, 2021. №8, pp. 6760-6782.
6. Qi Xie, Changhong Wang Polyacetylenes in Herbal Medicine: A Comprehensive Review of its Occurrence, Pharmacology, Toxicology and Pharmacokinetics // Phytochemistry, 2022. Volume 201, pp. 113-288.
7. Fatma M. Abdel Bar, Amira Mira, Ahmed I. Foudah, Manal A. Alossaimi In Vitro and in Silico Investigation of Polyacetylenes from Launaea Capitata // Molecules, 2023. Volume 28, Issue 8, pp. 3526.
8. Ziyadullayev O.E., Otamuxamedova G.Q., Tirkasheva S.I., Nenaydenko V.G., Abduraxmonova S.S. Yangi katalitik sistemalarda atsetilen spirtlaridan diindiollar sintez qilish jarayoni // O‘zMU xabarlari, 2024. 321-324 b.
9. Qingwei Zheng, Ruimao Hua, Youzhi Wan. An alternative CuCl-Piperidine-Catalyzed Oxidative Homocoupling of Terminal Alkynes Affording 1,3-diyenes in Air // Applied Organimetallic Chemisrty, 2010. № 24, pp. 314-316.
10. Tirkasheva S.I., Ziyadullaev O.E., Samatov S.B., Buriev F.X., Ikramov A. Dimerization of Some Terminal Acetylene Alcohols / VI North Caucaus Organic Simpozium, Stavropol (Russia), 2022. P. 133.
11. Rabia Akhtar, Ameer Fawad Zahoor Transition Metal Catalyzed Glaser and GlaserHay Coupling Reactions// Synthetic Communications, 2020. Volume 50, Issue 22, pp. 3337-3368.
12. Housecroft Catherine E., Alan G. Sharpe Inorganic Chemistry: – Harlow: Pearson Education, 2008. pp. 737-738.