

# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

*Əlyazması hüququnda*

## **TSİKLOPENTAN VƏ METİLTsiklopentanin OKSIDLƏŞDİRİCİ ÇEVİRİLMƏ REAKSİYALARI ÜÇÜN EFFEKTİV KATALİZATORLARIN İŞLƏNMƏSİ**

İxtisas: 2316.01 – Kimyəvi kinetika və kataliz

Elm sahəsi: Kimya

İddiaçı: **Mahir Yaşar oğlu Abbasov**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş  
dissertasiyanın

### **AVTOREFERATI**

**Bakı – 2024**

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi akad. Murtuza Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun “Oksidləşdirici heterogen kataliz” şöbəsinin “Seolit katalizi” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: Akademik, texnika üzrə elmlər doktoru,  
professor  
**Ağadadaş Mahmud oğlu Əliyev**

Rəsmi opponetlər: Akademik, kimya elmləri doktoru,  
professor  
**Adil Abdulxalq oğlu Qəribov**

kimya elmləri doktoru, professor  
**Vaqif Laçın oğlu Bağiyev**

kimya elmləri doktoru, dosent  
**Aygün Zabit qızı Əliyeva**

Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Elm və Təhsil Nazirliyi akad. M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-Üzvi Kimya İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən ED I.15 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya Şurasının sədri:

kimya elmləri doktoru, AMEA-nın  
müxbir üzvü

**Məhəmməd Baba oğlu Babanlı**

Dissertasiya Şurasının  
Elmi katibi:

kimya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent  
**Ülviyyə Əhməd qızı Məmmədova**

Elmi seminarın sədri:

kimya elmləri doktoru, professor  
**Arif Cavanşir oğlu Əfəndi**

## İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Sənayedə naften karbohidrogenlərinin alitsiklik dienlərin alınması istiqamətində oksidləşdirici çevrilməsi prosesləri olduqca aktual mövzu hesab edilir. Bu alitsiklik dienlərdə tsiklik həlqədə yerləşən ikiqat rabitənin yüksək reaksiyaya girmə qabiliyyəti ilə xarakterizə edilir. Bu nöqteyi-nəzərdən tsiklopentan və metiltsiklopentanın müvafiq olaraq tsiklopentadien və metiltsiklopentadienə oksidləşdirici çevrilmə reaksiyaları mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Tsiklopentadien başlıca olaraq tsiklopenten və onun törəmələrinin alınmasında əsas məhsul kimi istifadə edilir. Eyni zamanda metalüzvi kimyada tsiklopentadien kompleksinin tsiklopentadienil liqandı kimi geniş tətbiq olunur. Həmçinin aromatik birləşmələrin və aldirin, dildrin insektisidlərin alınmasında əsas məhsul kimi istifadə edilir<sup>1</sup>. Tsiklopentadien əsasən kömür qətranlarından 10-20 gr/ton və naften neftlərinin 14kq/ton buxar krekinqi yolu ilə əldə edilir<sup>2</sup>.

Qısa ədəbiyyat xülasəsinə əsasən məlum olmuşdur ki, tsiklopentadienin termiki və katalitik yolla sintezi zamanı çıxım faizi aşağı və tətbiq olunan katalizatorların yaşama müddəti qısamdır. Təqdim olunan dissertasiyada prioritet götürülmüş məsələ reaksiyanın temperaturunun aşağı salınması və bir mərhələdə tsiklopentadienin çıxımının, prosesin selektivliyinin və katalizatorun işləmə müddətinin artırılmasından ibarətdir.

Metiltsiklopentadien üç tsiklik izomer şəklində mövcuddur və bu izomerlər başlıca olaraq metal üzvi kimyada (ferrosen və.s) geniş şəkildə istifadə olunan metiltsiklopentadienil liqandının alınmasında ilkin üzvi məhsul kimi istifadə olunur. Həmçinin geniş metal törəmələri, xüsusi yapışdırıcı maddələr və alov keçirməsinin qarşısını alan maddələr kimi tətbiq sahəsinə malikdir. Eyni zamanda bioloji

---

<sup>1</sup> Hartwig, J. F. Organotransition Metal Chemistry // From Bonding to Catalysis. New York University Science Books, -2010, 10 Feb; 1st Edition-p.1160.

<sup>2</sup> Hönicke, D. Cyclopentadiene and Cyclopentene / R.Födisch, P.Claus // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. - 2000, 15 June; Vol. 11.15, - p.62-73.

toksik maddə kimi faydalıdır və sintetik rezin kompozitlərinin hazırlanmasında aralıq məhsul kimi istifadə olunur<sup>3</sup>.

Metiltsiklopentadien əsasən 2 fazada maye və qaz fazada alınma üsulu mövcuddur. Maye fazada alınma üsulunun çatışmayan cəhəti bu zaman alınan reaksiya məhsullarının katalizatorndan ayrılma çətinliyidir. Bu səbəbdən tərəfimizdən aparılan elmi tədqiqat işləri metiltsiklopentadienin qaz fazasında alınma üsullarına istinad edir. Tsiklik həlqədə metil əvəzedici qrupunun olması tsiklopentan molekulu ilə müqayisədə metiltsiklopentan molekulu daha çox reaksiya girmə qabiliyyətli olmasını stimullaşdırır. Bu anlamda metiltsiklopentan molekulu daha çox alitsiklik dienlərin alınması istiqamətində seçici xarakter daşıyır.

Ədəbiyyat məlumatlarına əsasən deyə bilərik ki, alitsiklik karbohidrogenlərin müvafiq olaraq tsikloolefinlərə oksidləşdirici dehidrogenləşməsi prosesləri istiqamətində görkəmli azərbaycan alimləri S.C.Mehdiyev., T.N.Şahtaxtinski., A.M.Əliyev., H.M.Əlimərdanov və.b tərəfindən çox böyük nailiyyətlər əldə edilmişdir.

Bu nöqteyi-nəzərdən tsiklopentan və metiltsiklopentanın müvafiq tsiklopentadien və metiltsiklopentadienə buxar fazada oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyası üçün aktiv və selektiv katalizatorların seçilməsi, aparılmış reaksiyaların kinetikasının və getməsi mərhələlərinin ətraflı araşdırılmasına həsr edilmiş dissertasiya işi böyük aktualıq kəsb edir.

### **Tədqiqatın obyektı və predmeti:**

Dissertasiyanın tədqiqat obyektı metal kationları ilə modifikasiya edilmiş təbii klinoptilolit katalizatorları, tsiklopentan və metiltsiklopentan olmuşdur. Metal kationlarının verilmiş faiz nisbətləri { $\text{Cu}^{2+}$ (0.5 küt.%),  $\text{Zn}^{2+}$ (0.2 küt.%),  $\text{Co}^{2+}$ (0.1 küt.%),  $\text{Cr}^{3+}$ (0.1 küt.%)} ilə modifikasiya edilmiş klinoptilolitə əmələ gətirdiyi katalitik sistem tsiklopentan və metiltsiklopentanın müvafiq

---

<sup>3</sup> Darkwa, J. Bis( $\eta$ 5-Methylcyclopentadienyl) Titanium Pentasulfide, Bis ( $\eta$ -Methylcyclopentadienyl) -Divanadium Pentasulfide, and Bis ( $\eta$ 5-Methylcyclopentadienyl) Divanadium Tetrasulfide / D.M.Giolando, C.J.Murphy, T.B.Rauchfuss // Inorganic Syntheses, - 1990, February. v.27.p.52-55.

olaraq tsiklopentadien və metilsiklopentadienə oksidləşdirici dehidrogenləşməsi üçün daha aktiv və selektiv olmuşdur.

### **Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri:**

Dissertasiya işinin məqsədi klinoptilolit mürəkkəb keçid metal kationları ilə modifikasiya edilmiş aktiv seolit katalizatorlarının sintezi və bu katalizatorlar üzərində tsiklopentan və metilsiklopentanın müvafiq olaraq tsiklopentadien və metilsiklopentadienə oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyalarının mərhələli mexanizmlərinin və kinetik qanunauyğunluqlarının öyrənilməsi və prosesin nəzəri cəhətdən əsaslandırılmış kinetik modelinin qurulmasıdır. Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı vəzifələrin həlli nəzərdə tutulmuşdur:

- Buxar fazada tsiklopentanın tsiklopentadienə, metilsiklopentanın metilsiklopentadienə oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyası üçün aktiv seolit tərkibli katalizatorların sintezi.
- Seçilmiş aktiv katalizatorlar üzərində bu reaksiyanın kinetik qanunauyğunluqlarının təcrübi tədqiqi.
- Reaksiyanın ehtimal olunan mərhələli mexanizminin müəyyən edilməsi.
- Prosesin nəzəri cəhətdən əsaslandırılmış kinetik modelinin işlənilib hazırlanması.
- Reaksiyanın aşağı temperaturda aparılması.
- Bir mərhələdə tsiklopentadienin və metilsiklopentadienin çıxımının, prosesin selektivliyinin və katalizatorun işləmə müddətinin artırılması.

### **Tədqiqatın metodları:**

Dissertasiya işinin nəticələri aşağıda qeyd edilmiş yüksək dəqiqlik və həssaslıqla tətbiq edilən eksperimental tədqiqat metodları əsasında müəyyən edilmişdir;

- Xromatoqrafik üsul "Agilent-7820" qaz xromatoqrafında,
- Ultrabənövşəyi (UB) və İnfraqırmızı (İQ) spektroskopiya metodları;
- Elektron Paramaqnit rezonans (EPR) metodu;
- Fiziki-kimyəvi və kimyəvi analiz metodları;

- Kinetik metod;

Kinetik metod əsasında reaksiyaların mərhələli mexanizmi verilmiş və uyğun kinetik tənliklər tərtib edilərək, experimental dəlillər əsasında onların doğruluğu yoxlanılmışdır.

#### **Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:**

- Təbii və sintetik seolitlərin ilkin formalarının katalitik aktivliklərinin tsiklopentan və metilsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşməsi proseslərində yoxlanılması.
- Klinoptilolitın keçid metal kationları ilə modifikasi olunmuş katalizatorların nümunələrinin hazırlanması.
- Bu hazırlanmış katalizatorların katalitik aktivliklərinin tsiklopentan və metilsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşməsi prosesində yoxlanılması.
- Hər iki proses üçün nəzəri məlumatlara əsasən mərhələli mexanizm əsasında tərtib edilmiş kinetik model qurulması.
- Təqdim edilən kinetik modelin parametrlərinin verilən intervalda reaksiyanın mexanizmini tam əks etdirməsinin mümkünlüyünün yoxlanılması.

#### **Tədqiqatın elmi yeniliyi:**

- Tsiklopentanın tsiklopentadienə, metilsiklopentanın metilsiklopentadienə dissosiativ adsorbsiya olunmuş oksigenin iştirakı ilə selektiv oksidləşdirici dehidrogenləşməsi üçün klinoptilolitın kütləsinin {Cu<sup>2+</sup>(0.5 küt.%), Zn<sup>2+</sup>(0.2 küt.%), Co<sup>2+</sup>(0.1 küt.%), Cr<sup>3+</sup>(0.1 küt.%)} kationlar ilə modifikasiya edilmiş aktiv və selektiv katalitik sistem seçilmişdir.
- Modifikasiya edilmiş CuZnCoCr-KL seolit katalizatoru üzərində tsiklopentan və metilsiklopentan molekulunun oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyasının mümkün mərhələli mexanizminin sxemi təklif olunmuş və bu reaksiyaların kinetik qanunauyğunluqları öyrənilmişdir.
- Bu mexanizmlər əsasında proseslərin nəzəri əsaslandırılmış kinetik modeli tərtib olunmuşdur.

#### **Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti:**

- ✓ Tsiklopentanın tsiklopentadienə və metilsiklopentanın

metiltsiklopentadienə selektiv oksidləşdirici dehidrogenləşməsi üçün təklif edilmiş CuZnCoCr-klinoptilolit katalizatoru aktiv katalizator olmaqla yanaşı eyni sinifin hər iki nümayəndəsi üçün alitsiklik dienlərin alınması istiqamətində qeyd olunan prosesin sənayedə reallaşdırılmasında istifadə edilə bilər.

- ✓ Prosesin nəzəri olaraq müəyyən edilmiş kinetik modeli riyazi modelin işlənilib hazırlanmasında və bu prosesin optimal layihələndirilməsində tətbiq edilə bilər.
- ✓ Həmçinin prosesin atmosfer təzyiqində və havanın oksigeni hesabına aparılması işin praktiki əhəmiyyətli olduğuna əyani sübutdur.

### **Aprobasiyası və tətbiqi:**

Dissertasiya işinin əsas nəticələri, aşağıdakı Respublika və Beynəlxalq səviyyəli tədbirlərdə məruzə edilmişdir:

- Международная научно-техническая конференция «Нефтехимический синтез и катализ в сложных конденсированных системах», посвященная 100-летию юбилею академика Б.К.Зейналова – 2017, 29-30 июня, Баку;
- Академик М.Нағиёвün 110 illiyinə həsr olunmuş “Nağıyev Qiraətləri” elmi konfransının materialları – 2018, Bakı;
- Second International Scientific-Practical Conference: Modern Information, Measurement and Control Systems: Problems and Perspectives– 2020, 07-08 december, Bakı;
- The XVIII International Science Conference “ Perspective directions for the development of science and practice” –2021, 14-16 June, Athens, Greece;
- Modern problems of theoretical & experimental chemistry. Devoted to the 90th anniversary of academician Rafiga Aliyeva. Baku state university. 29 - 30 September 2022, Baku, Azerbaijan.
- Техногенные Системы Экологический Риск VI Международная (XIX региональная) Научная Конференция, тезисы докладов, 20-21 апреля 2023. Обнинск.

### **Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı:**

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil

Nazirliyi akad. M. Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-Üzvi Kimya İnstitutunun “Seolit katalizi” laboratoriyasında institutun tədqiqat işlərinin planına uyğun olaraq həyata keçirilmişdir.

**Nəşr olunmuş elmi işlər.** Dissertasiya işinin nəticələrinə görə 19 elmi əsər, o cümlədən 10 məqalə və 7 tezis dərc olunmuş və iki ixtiraya patent alınmışdır.

**Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi.**

Giriş- 9284, I fəsil – 70878, II fəsil – 23361, III fəsil – 40564, IV fəsil – 29678, nəticələr – 2646 işarədən istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısı 15 səifədən ibarətdir, dissertasiya cəmi – 202751 işarədən ibarətdir.

**Dissertasiyanın quruluşu və həcmi:** Dissertasiya işi giriş və 4 fəsildən, ədəbiyyat icmalından, təcrübi hissədən, nəticələrin müzakirəsindən (3-cü və 4-cü fəsil) ibarətdir. Dissertasiya işi ümumi nəticələrdən, 129 sayda istinad olunmuş ədəbiyyat siyahısından, eləcə də ixtisarlar və şərti işarələrin siyahısından ibarətdir. Dissertasiya işinin həcmi kompüter çapı ilə 141 səhifədən ibarətdir. İşdə 27 şəkil və 19 cədvəl var.

## İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

**Girişdə** mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış və tədqiqat üsulları haqqında məlumat verilmiş, işin elmi yeniliyi və praktiki əhəmiyyəti göstərilmiş, işin məqsədi, strukturu və məzmunu barədə məlumat verilmiş, müdafiəyə çıxarılacaq əsas müddəalar və işin aprobeiası göstərilmişdir.

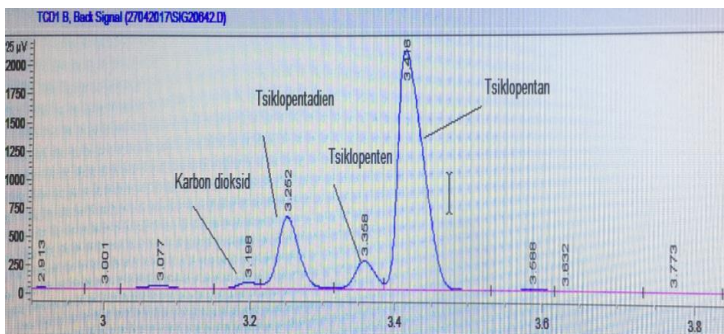
**Birinci fəsilə** dissertasiya mövzusunə uyğun şəkildə mövcud ədəbiyyat məlumatları və onların təhlili qeyd edilmişdir. Naften karbohidrogenlərinin oksidləşdirici dehidrogenləşməsi sahəsindəki tədqiqatların müasir vəziyyətinə baxılmış və alitsiklik dienlərin mövcud əsas alınma üsulları verilmişdir [17]. Eyni zamanda naftenlərin oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyasının kinetikasi və mexanizminin tədqiqi göstərilmişdir.

**İkinci fəsilə** dissertasiya işinin təcrübi hissəsi təsvir edilmişdir. Heterogen katalitik proseslərin tədqiq olunduğu axın tipli

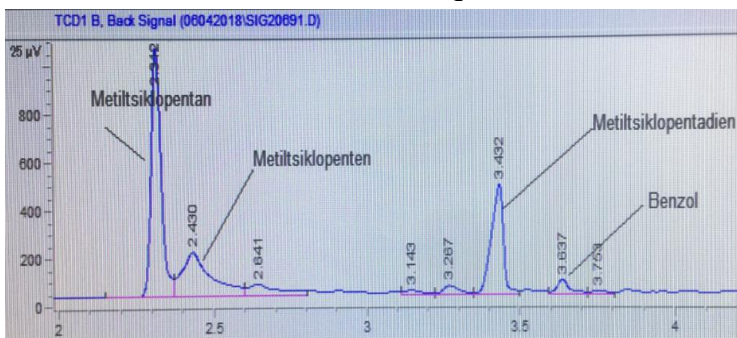


laboratoriya təcrübə qurğusu göstərilmiş, reagentlərin və reaksiya məhsullarının analizi, katalizatorların hazırlanması və təcrübələrin aparılması metodikası qeyd edilmişdir. Reaksiyadan sonra alınan məhsullar və aralıq məhsullar qaz xromatoqrafiya, İQ və UB–spektroskopiyasından istifadə edilərək analiz edilmişdir [4].

Mövcud metodiki məlumatlara əsasən təbii və sintetik seolitlərdən bir sıra modifikasiya olunmuş seolit katalizatorları hazırlanmış və təcrübədə sınaqdan keçirilmişdir. Reaksiya gedişinə nəzarət etmək üçün reaktor birbaşa Agilent 7820A qaz xromatoqrafa birləşdirilmiş və reaksiya məhsullarının analizi qaz-xromatoqrafiya üsulu ilə aparılmışdır. Şəkil 1 və 2-də tsiklopentan və metilsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşmə reaksiyaları məhsullarının xromatoqrafik analizi göstərilmişdir [4,6,7].

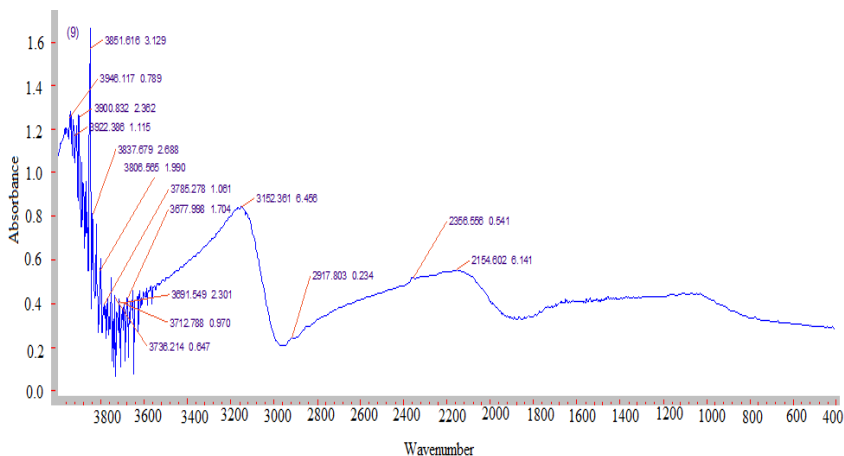


**Şəkil 1. Tsiklopentanın dehidrogenləşmə reaksiyası məhsullarının xromatoqrafik analizi**

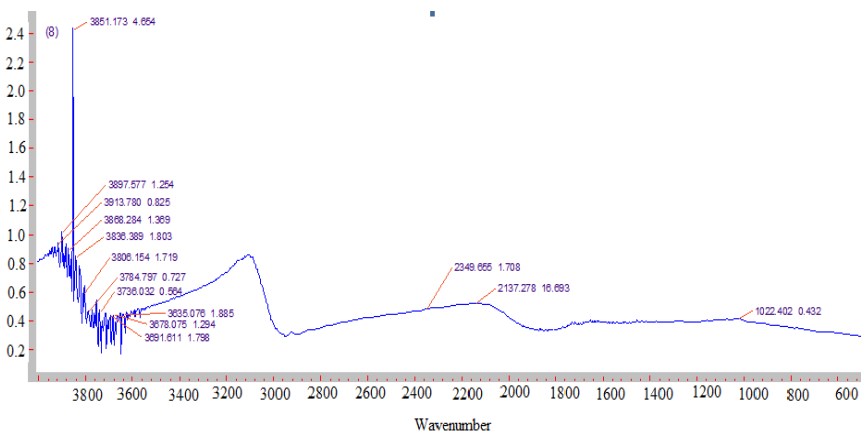


**Şəkil 2. Metilsiklopentanın dehidrogenləşmə reaksiyası məhsullarının xromatoqrafik analizi**

Aşağıdakı şəkil 3 və 4 –də tsiklopentan və metilsiklopentanın  $\text{Cu}^{2+}$ —0,5%;  $\text{Zn}^{2+}$ —0,2%;  $\text{Co}^{2+}$ —0,1%;  $\text{Cr}^{3+}$ —0,1% klinoptilolitdə katalizatoru üzərində oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyası məhsullarının İQ şüaların təsiri altında analizinin nəticələri verilmişdir. Reaksiyadan alınan maddələr Furiye-İQ spektroskopiya metodu ilə Varian 640 FT-İR spektrometrində  $4000\text{-}400\text{ sm}^{-1}$  tezlik diapazonunda tədqiq edilmişdir.



**Şəkil 3. Tsiklopentanın dehidrogenləşmə reaksiyası məhsullarının İQ spektri**

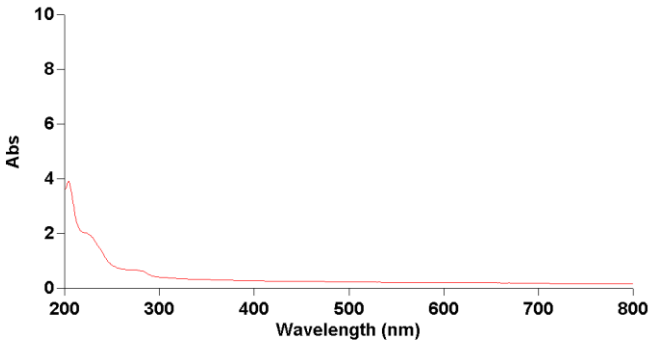


**Şəkil 4. Metilsiklopentanın dehidrogenləşmə reaksiyası məhsullarının İQ spektri**

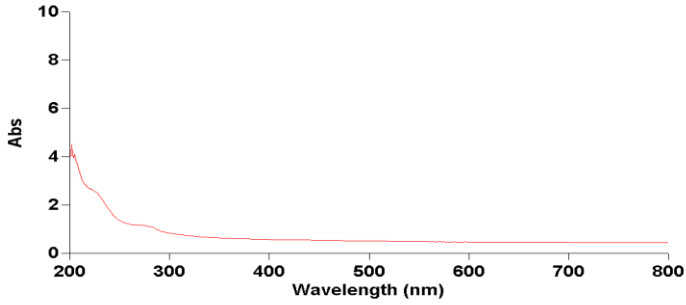
Spektrlərdə müşahidə edilən qrupları uyğun olaraq aşağıdakı kimi göstərmək olar:

- N-H və O-H qrupları üçün ( $3650-2500\text{ sm}^{-1}$ ) valent rəqsləri oblastı; - C-H ( $3300-2800\text{ sm}^{-1}$ ):  $-\text{C}^\circ\text{C-H}$ -  $3300\text{ sm}^{-1}$ , C(arom)-H –  $3100\text{ sm}^{-1}$ , C(alif)-H –  $2800\text{ sm}^{-1}$  valent rəqsləri oblastı; - “şəffafıq” sahəsi ( $2700-1850\text{ SM}^{-1}$ ) –  $-\text{C}^\circ\text{N}$ ,  $-\text{C}^\circ\text{C}$ ,  $\text{C}=\text{C}=\text{C}$  və s. valent rəqsləri oblastı; - iqiqat ( $1950-1350\text{ sm}^{-1}$ ) –  $\text{C}=\text{O}$  ( $1850-1650\text{ sm}^{-1}$ -də güclü udulma),  $\text{C}=\text{C}$  (təxminən  $1650\text{ sm}^{-1}$ -də zəif udulma) və s. rabitələrin valent rəqslərinə uyğun olduğu müəyyən edilmişdir. İki daha intensiv udulma zolaqları C-H ( $3100-2990\text{ sm}^{-1}$ ) valent rəqsləri və bu rabitələrin deformasiya rəqslərinə ( $1450\text{ sm}^{-1}$ ) məxsusdur. C-C rabitələrinin valent ( $1200-800\text{ sm}^{-1}$ ) və deformasiya rəqslərinə ( $500\text{ sm}^{-1}$ -dən az) uyğun gələn udulma zolaqlarının intensivliyi nisbətən kiçikdir. Gözlənilmədiyi kimi, spektrdə, məsələn, O-H və ya N-H, həmçinin  $\text{C}=\text{O}$ ,  $\text{C}=\text{C}$  və s. rabitələrin valent rəqslərinə uyğun udulma zolaqları yoxdur. İQ spektrin  $1350$ -dən  $750\text{ sm}^{-1}$ -dək oblastı “**barmaq izləri**” (ingilis. fingerprint) adlanır. Bu oblastda udulma mürəkkəb ola bilər, çünki ayrı-ayrı zolaqları müəyyən rəqslərə aid etmək çətinidir.

Eyni zamanda reaksiya məhsulları UB spektroskopiyaya üsulu ilə Cary 50 Scan spektrometrində,  $200-800\text{ nm}$  diapazonunda analiz edilmiş və şəkil 5 və 6-da tsiklopentan və metiltsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşmə reaksiyasının UB spektri təsvir olunmuşdur.

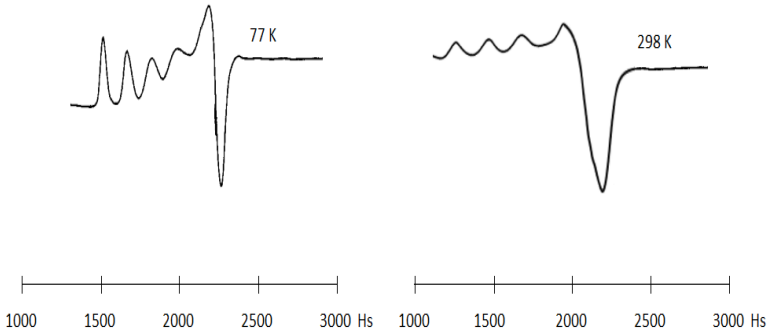


**Şəkil 5. Tsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşmə reaksiyası məhsullarının ultrabənövşəyi spektri**



**Şəkil 6. Metilsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyası məhsullarının ultrabənövşəyi spektri**

**Modifikasiya edilmiş klinoptilolit nümunələrinin EPR-şüalanması:** Hidratlaşmış CuKL, KL(He)HCu formasının spektrində polikristallik nümunələrdə anizotropiya zamanı  $g_{\parallel}=2,38$ ;  $g_{\perp}=2,08$  parametrləri ilə g-amili üçün xarakterik olan assimetrik xətlər müşahidə edilmişdir şəkil 7. Alçaq yer sahəsində supernazik strukturun dörd komponenti müşahidə olunur ki, bu da  $I=3/2$  ilə  $\text{Cu}^{2+}$  nüvə spinlərinin olduğu dəlalət edir.



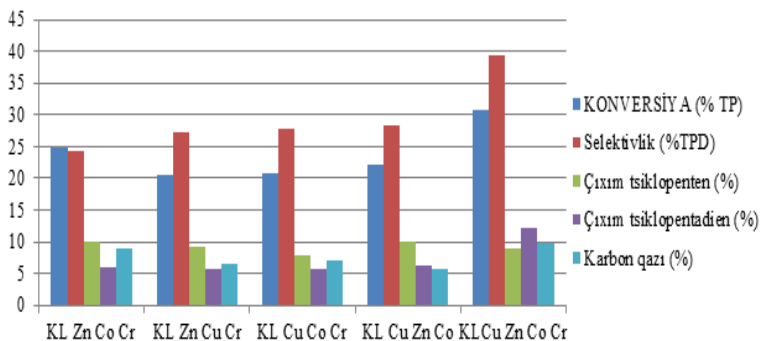
**Şəkil 7. Hidratlaşmış KL(He)HCu nümunələrinin 77 və 298 K-də çəkilmiş EPR-spektrləri**

Simmetrik komponentlər klinoptilolit strukturunda oktaedrik heksaakvakompleks şəklində  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$  yerləşərək mis ionları üçün xarakterik olduğu sübut edilmişdir. Belə akvakomplekslərdə,

ümumi qaydaya uyğun olaraq, fırlanma müşahidə edilir ki, bu da g-amili anizotropiyasını ortalamasına uyğun gəlir və eyni zamanda supernazik strukturun genişlənməsinə gətirib çıxarır. Ehtimal etmək olar ki, bu akvokomplekslər klinoptilolit böyük kanallarında strukturlaşmışdır.

**Üçüncü fəsil**də tsiklopentan və metiltsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyası üçün aktiv və selektiv katalizatorların seçilməsinə aid qoyulmuş təcrübələrin nəticələri göstərilmişdir. Katalizator seçimi zamanı alifatik, alitsiklik və alkilaromatik karbohidrogenlərin oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyalarında istifadə olunan katalizatorlar barədə ədəbiyyat məlumatları ümumiləşdirilərək, aktiv katalizatorların hazırlanması prioritet olaraq qarşıya qoyulmuşdur.

**Tsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşməsi:** Beləliklə klinoptilolit mineralına keçid metal kationları daxil edilərək, katalitik aktivliyi tədqiq etdiyimiz tsiklopentan molekulunda ətraflı nəzərdən keçirilmiş və alınan məlumatlar şəkil 8-də verilmişdir. Modifikasiya edilmiş  $Zn^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ - kationlarda tsiklopentan alınması və karbon dioksid əmələ gəlməsi ilə dərin oksidləşdirici dehidrogenləşmə gedir.



**Şəkil 8. Klinoptilolit Cu,Zn,Co,Cr kationları ilə modifikasiya edilmiş katalizatorları üzərində tsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşməsi (T=380-390°C, V<sub>0</sub>=2000saat<sup>-1</sup>, C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>:O<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>=2:1:3,7)**

Buradan aydın olur ki, Zn metalı promotorlaşdırıcı xarakter

daşıyır. Aparılmış təcrübələr nəticəsində bəlli olmuşdur ki, tsiklopentadienə görə ən yüksək çıxım tərkibində  $\text{Cu}^{2+}$ —0,5%;  $\text{Zn}^{2+}$ —0,2%;  $\text{Co}^{2+}$ —0,1%;  $\text{Cr}^{3+}$ —0,1% olan klinoptilolitdə müşahidə edilir. Müəyyən edilmiş aktiv katalizator üzərində temperaturun və reaksiyaya gedən maddələrin qatılığının, oksigenin parsial təzyiqinin reaksiya məhsullarının çıxımına təsiri və prosesin selektivliyi ətraflı öyrənilmişdir. Tsiklopentadienin çıxımı 12,1% və selektivliyi 39,4% təşkil etmişdir [5, 19].

**Metiltsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşməsi:**  
Cədvəl 1-də modifikasiya olunmuş üçlü və dördlü metal kompozisiyalı klinoptilolit katalizatorlarının katalitik aktivliyi verilmişdir.

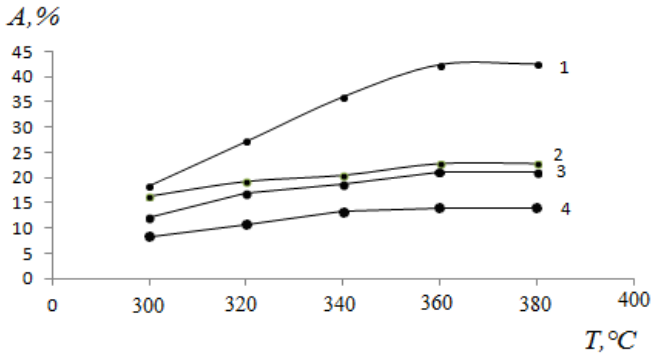
**Cədvəl 1.**

**Modifikasiya edilmiş təbii klinoptilolitlərin üçlü və dördlü metal kompozisiyaları üzərində metiltsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşməsi ( $T=360^\circ\text{C}$ ,  $V_0=1500\text{saat}^{-1}$ ,  $\text{C}_5\text{H}_9\text{CH}_3:\text{O}_2:\text{N}_2=1,74:1:3,72$ )**

MTP-nın konversiyası, MTPD-ə görə selektivlik və reaksiya məhsulları (%)	Klinoptilolit			
	2%Cu 1%Pd 2%Zn	0,2%Zn 0,5%Co 0,25Cr	2%Cu 2%Zn 1%Co 0,5%Cr	0,5%Cu 0,2%Zn 0,1%Co 0,1%Cr
Konversiya, %	44,1	45,7	50	74,6
Selektivlik, MTPD %	33,3	49,7	51,8	56,7
Tsiklopenten	2,9	3,4	2,8	1,5
Tsiklopentadien	1,6	2,1	6,3	4,8
Metiltsiklopenten	10,8	4,5	5,8	17
MTPD	14,7	22,7	25,9	42,3
Tsikloheksen	3,2	2,7	3,4	4,3
Benzol	4,5	2,2	1,1	2
Karbon qazı	6,4	8,1	4,7	3,9

Cədvəldən görünür ki, Zn metalı promotorlaşdırıcı xarakter daşıyır. Aparılmış təcrübələr nəticəsində bəlli olmuşdur ki, metiltsiklopentadienə görə ən yüksək çıxım tərkibində  $\text{Cu}^{2+}$ —0,5%;  $\text{Zn}^{2+}$ —0,2%;  $\text{Co}^{2+}$ —0,1%;  $\text{Cr}^{3+}$ —0,1% olan  $\text{CuZnCoCr}$ -klinoptilolitdə müşahidə edilir. Metiltsiklopentadienin çıxımı 42,3%

bərabərdir və selektivliyi 56,7% təşkil edir [11]. Müəyyən edilmiş aktiv katalizator üzərində temperaturun və reaksiya gedən maddələrin qatılığının, oksigenin parsial təzyiqinin reaksiya məhsullarının çıxımına təsiri və prosesin selektivliyi ətraflı öyrənilmişdir. Məlum olmuşdur ki, katalizatorun tərkibindəki kationların konsentrasiyasını artırıqda tsiklopentadienin çıxımı aşağı düşür və parsial oksidləşmə məhsullarının çıxımı artır. Bunun əsasən turşu mərkəzlərinin gücünün artması ilə əlaqəli olduğu məlum olmuşdur.



**Şəkil 9. Metilsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyasında klinoptilolit aktivliyinin temperaturdan asılılığı**

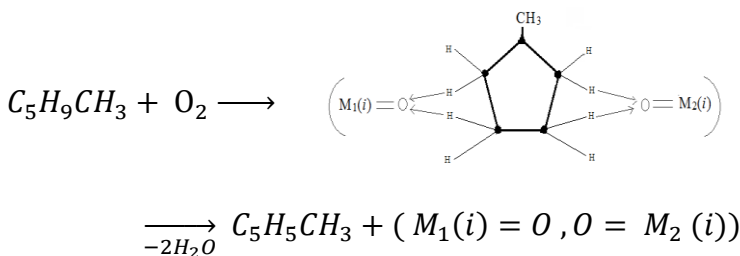
Şəkil 9-da müvafiq olaraq metal seolit katalizatorları üzərində 300-380°C temperatur intervalında və  $C_5H_9CH_3:O_2:N_2=1,74:1:3,72$  mol nisbətində aparılan təcrübələrin nəticələri təsvir edilmişdir. Burada müvafiq olaraq (1–CuZnCoCr-KL; 2–ZnCoCr-KL; 3–CoCr-KL; 4–Co-KL) verilmişdir. Tsiklopentanın tsiklopentadienə, metilsiklopentanın metilsiklopentadienə oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyaları zamanı iki cür aktiv mərkəzlər vardır. 1) Orta qüvvətli brensted turşu mərkəzləri 2) Metal kationları.

**Turşu mərkəzlərin rolu:** Müəyyən olmuşdur ki, zəif turşu mərkəzli katalizator nümunələri tsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyasında aktiv deyil. Turşu mərkəzlərin gücünün artması turşu-əsas tipli reaksiyaların sürətinin artmasına şərait yaradır. Güclü turşu mərkəzlərində aralıq doymamış birləşmələrin elektronlarının, adsorbsiya mərkəzləri hesab edilən metal kationlarının daxili orbitallarına sürüşməsi baş verir. Bu zaman

doymamış birləşmə molekulunda müəyyən müsbət yük əmələ gəlir ki, bu da onun oksigen anionu ilə qarşılıqlı təsirinə və oksigen tərkibli birləşmələrin əmələ gəlməsinə səbəb olur.

**Metal kationları:** Molekulyar oksigenin aktivasiyası yolu ilə atomar oksigenin əmələ gəlməsi heterogen oksidləşmə proseslərində mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Oksigen molekulunun metal səthlərdə adsorbsiyası zamanı elektronların metal atomlarından oksigen molekuluna ötürülməsi baş verir. Elektronların ötürülməsi oksigen molekulunun dissosiasiya etməsinə və metal səthlə oksigen atomları arasında Me-O rabitəsinin əmələ gəlməsinə səbəb olur. Metallardan oksigen molekuluna elektron axını Me-O və Me-seolit rabitələrinin strukturundan asılıdır. Seolitlərdə metal  $Me^+$  şəklində olur. Dissosiativ adsorbsiya olunmuş oksigenlə mübadilə kationlarının əmələ gətirdiyi rabitə enerjisinin qiymətindən asılı olaraq metal seolit katalizatorları adsorbsiya olunmuş tsiklopentan və metilsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyasında fərqli katalitik aktivliklər göstərir. Kationların rabitə enerjisi oksigen molekulunun dissosiasiya enerjisi ilə əlaqədar hesablanır. Ədəbiyyat məlumatlarından bilirik ki, oksigen molekulunun dissosiasiya enerjisi-500 kc/mol-a bərabərdir. Katalizatorun komponentlərinin oksigenlə əmələ gətirdiyi rabitə enerjisi isə müvafiq qiymətlər alacaq;  $q_0(Cr)=612$  kc/g-atom,  $q_0(Zn)=370$  kc/g-atom,  $q_0(Cu)=489$  kc/g-atom,  $q_0(Co)=459$  kc/g-atom olacaq. Buradan kationların rabitə enerjisi  $q_0(Me-O) \geq E_D(O_2)$  kimi olması vacibdir. Katalizator komponentlərinin aktiv mərkəzlərinin qruplaşmasından asılı olaraq metilsiklopentan və metilsiklopentadienin formalaşması müşahidə edilir. Modifikasiya edilmiş klinoptilolit katalizatorunun aktiv mərkəzində oksidləşdirici dehidrogenləşmə reaksiyasının sxematik təsvirinə şəkil 10-da nəzər salsaq aktiv mərkəzlərin qruplaşmasını görə bilərik. Metilsiklopentanın metilsiklopentadienə oksidləşdirici dehidrogenləşməsinin reaksiyası zamanı katalizator üzərində metal kationlarının əmələ gətirdiyi üç növ aktiv mərkəzin olduğu müşahidə edilmişdir: a)  $\{M_1(1), M_2(2)\}$ ; b)  $\{M_1(1), M_2(4)\}$ ; c)  $\{M_1(2), M_2(4)\}$ . Kationların oksigen atomları ilə əmələ gətirdiyi rabitələrinin möhkəmliyinə görə;  $Cr^{3+}$ ,  $Co^{2+}$  və  $Cu^{2+}$  metilsiklopentanın hidrogen atomlarını çox güclü çəkmə qüvvəsinə malikdirlər [3].

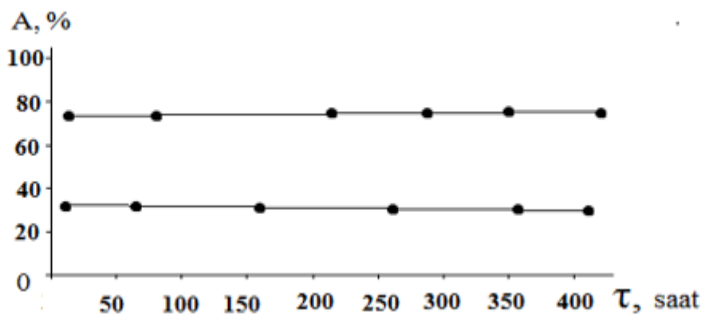




**Şəkil 10. Modifikasiya olunmuş (KLCuCrCoZn) klinoptilolit katalizatorunun  $\{M_1(1), M_2(4)\}$  aktiv mərkəzində metilsiklopentadienin əmələ gəlməsinin sxematik təsviri. i- mübadilə kationları (i=1-4; 1-Cr<sup>3+</sup>, 2-Cu<sup>2+</sup>, 3-Zn<sup>2+</sup>, 4-Co<sup>2+</sup>)**

Təcrübi məlumatlarının təhlili və katalizatorun komponentlərinin oksigen atomları ilə əmələ gətirdiyi rabitə enerjilərinin xarakterinə görə metilsiklopentanın metilsiklopentənə oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyası üçün də həmçinin üç növ aktiv mərkəz təklif oluna bilər: a)  $\{M_1(1), M_2(3)\}$ ; b)  $\{M_1(2), M_2(3)\}$ ; c)  $\{M_1(4), M_2(3)\}$ . Zn əlavə etməklə eyni vaxtda stabilləşmə müşahidə olunur yəni promotorlaşdırıcı xarakter daşıyır [6, 10].

**Dördüncü fəsilə** tsiklopentanın və metilsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyasının kinetik qanunauyğunluqlarının öyrənilməsinə aid aparılmış təcrübi tədqiqatların nəticələri verilmişdir. Reaksiyanın ehtimal olunan getmə mexanizminin mərhələli sxemi və reaksiyanın nəzəri əsaslanmış kinetik modelinin işlənilib hazırlanmasına aid nəticələr göstərilmişdir. Katalizatorun katalitik aktivliyinin zamandan asılı olaraq dəyişməsi şəkil 11-də göstərilmişdir [14]. Məlum olmuşdur ki, klinoptilolit (0.5% Cu<sup>2+</sup>, 0.2% Zn<sup>2+</sup>, 0.1% Co<sup>2+</sup> və 0.1% Cr<sup>3+</sup>) kationları ilə əmələ gətirdiyi modifikasiya edilmiş katalizator üzərində tsiklopentan (C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>:O<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>=2:1:3.7 mol nisbətində, 380-390°C temperaturda və 2000 saat<sup>-1</sup> həcmi sürət), metilsiklopentan isə (C<sub>5</sub>H<sub>9</sub>CH<sub>3</sub>:O<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>=1,74:1:3,72 mol nisbətində, 360°C temperaturda və 1500 saat<sup>-1</sup> həcmi sürət) oksidləşdirici dehidrogenləşməsi vaxtı 400 saat ərzində katalizatorların katlitik aktivliyi praktiki olaraq heç bir dəyişikliyə uğramır.



**Şəkil 11. CuZnCoCr-kinoptilolit katalizatorunun katalitik aktivliyinin təcrübənin aparılma müddətindən ( $\tau$ ) asıllığı ( $T=380^{\circ}\text{C}$ ,  $V=2000 \text{ saat}^{-1}$ ,  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{:O}_2\text{:N}_2=2\text{:1:3,7}$ )**

Katalizator ölçülərinin katalitik sistemə təsirinin müəyyən edilməsi cədvəl 2-də verilmişdir [14].

**Cədvəl 2.**

**CuZnCoCr-KL hissəciklərinin ölçüsünün katalitik sistemə təsiri**

№	Katalizator hissəciklərinin ölçüsü, mm	Reagentlərin xətti sürəti, m/saat	Reaksiya məhsulunun çıxım %		Selektivlik %	
			TPD	MTPD	TPD	MTPD
1	0,23-0,40	71,56	12,0	42,3	39,4	56,8
		31,43	12,1			
		21,77	11,8			
2	0,40-0,63	71,56	11,9	42,1	39,1	56,6
		31,43	11,7			
		15,50	12,0			
3	0,63-1,25	71,56	12,1	42,2	39,3	56,5
		31,43	11,9			
		15,50	11,7			
4	1,25-1,75	71,56	11,8	42,0	39,2	56,7
		21,77	12,0			
		15,50	12,1			
5	1,75-2,00	71,56	11,0	42,1	39,3	56,6
		21,77	11,8			
		15,50	12,0			

Reaksiyaya daxil olan maddələrin həcmi sürətini sabit saxlamaqla və ya dəyişməklə (xarici) və ya katalizator hissəciklərinin ölçülərini dəyişməklə (daxili) diffuziya amilinin olmadığı müəyyən edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, reaksiya kinetik oblastda gedir.

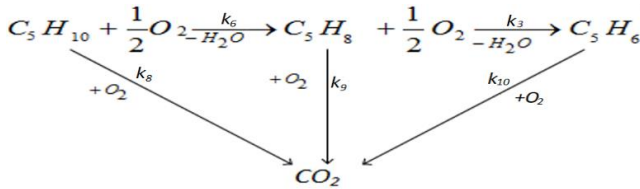
**Tsiklopentanın tsiklopentadienə oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyasının kinetik qanunauyğunluqlarının təcrübi tədqiqi:** Cədvəl 3-də CuZnCoCr-klinoptilolit (0,5 kütlə % Cu<sup>2+</sup>, 0,2 kütlə% Zn<sup>2+</sup>, 0,1 kütlə % Co<sup>2+</sup> və 0,1 kütlə % Cr<sup>3+</sup>) katalizatoru üzərində temperatur, həcmi sürət və reaksiya məhsullarının çıxımına və tsiklopentanın konversiyasına parsial təzyiqlərin təsiri göstərilmişdir. Cədvəldən məlum olmuşdur ki, O<sub>2</sub>-nin parsial təzyiqini 0,0768-dən 0,1540 atm-ə qədər artırıqda tsiklopentadienin çıxımının 5,6-dan 12,1%-ə qədər artmasına səbəb olur.

**Cədvəl 3.**  
**Reagentlərin parsial təzyiqlərinin və mol nisbətlərinin və reaksiya şəraitinin tsiklopentadienin alınmasına təsiri**

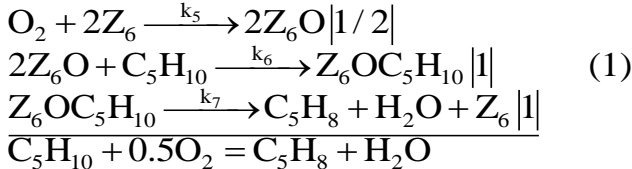
Reagentlərin parsial təzyiqi, atm	$P_{O_2}$	Reagentlərin mol miqdarı,				Həcmi sürət saat <sup>-1</sup>	Temper atur, T, °C	Konver siya, X, %	Reaksiya məhsullarının faizi, %		
		$n_{C_5H_{10}}^0$	$n_{O_2}^0$	$n_{N_2}^0$	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>				C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	CO <sub>2</sub>	
0.2738	0.1540	0.0654	0.0368	0.1367	2000	320	6.6	1.8	3.9	0.9	
0.2738	0.1540	0.0654	0.0368	0.1367	2000	340	8.2	0.7	5.1	2.4	
0.2738	0.1540	0.0654	0.0368	0.1367	2000	360	11.9	3.2	5.5	3.2	
0.2738	0.1540	0.0654	0.0368	0.1367	2000	370	13.6	3.7	6.3	3.6	
0.2738	0.1540	0.0654	0.0368	0.1367	2000	390	30.7	8.9	12.1	9.7	
0.2980	0.1489	0.0368	0.0184	0.0683	1000	320	19.8	14.7	3.2	1.9	
0.2980	0.1489	0.0368	0.0184	0.0683	1000	340	11.7	2.1	7.0	2.6	
0.2980	0.1489	0.0368	0.0184	0.0683	1000	350	11.0	1.1	3.3	6.6	
0.2980	0.1489	0.0368	0.0184	0.0683	1000	370	12.3	2.8	5.1	4.4	
0.2980	0.1489	0.0368	0.0184	0.0683	1000	380	9.4	2.5	5.7	1.2	
0.2980	0.1489	0.0368	0.0184	0.0683	1000	390	13.4	3.8	6.6	3.0	
0.3225	0.0768	0.0189	0.0045	0.0352	500	390	14.8	0.8	5.6	8.4	
0.5641	0.1491	0.0841	0.0421	0.1561	2500	370	13.1	6.6	4.9	1.6	
0.5641	0.1491	0.0841	0.0421	0.1561	2500	390	15.4	15.4	7.3	3.1	

Oksigenin parsial təzyiqinin sonrakı artım qiymətlərində isə məqsədli məhsulların çıxımında əksinə azalma müşahidə edilir. Buna səbəb olaraq oksigenin sıxlığının daha yuxarı qiymətlərində parsial oksidləşmə məhsullarının əmələ gəlməsini göstərmək olar [12].

Modifikasiya edilmiş klinoptilolit (0.5% Cu<sup>2+</sup>, 0.2% Zn<sup>2+</sup>, 0.1% Co<sup>2+</sup> və 0.1% Cr<sup>3+</sup>) kationları ilə əmələ gətirdiyi katalizator üzərində tsiklopentan molekulunun oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyasının kinetik sxemini experimental dəlillər əsasında aşağıdakı kimi vermək olar [14, 18].



Tsiklopentenin alınma reaksiyası üçün aşağıdakı mərhələli mexanizm təklif etmək olar.



Mərhələlərin alınma sürəti aşağıdakı ifadələrlə yazıla bilər:

$$r_5 = k_5 \theta_5^2 P_{O_2} \quad , \quad r_6 = k_6 \theta_6 P_{C_5H_{10}} \quad , \quad r_7 = k_7 \theta_7 \quad (2)$$

Uyğun olaraq tsiklopentenin əmələ gəlmə sürət tənliyi prosesin stasionar şəraitdə gətməsini nəzərə alaraq, təklif olunan ehtimal mərhələli mexanizmi əsasında tərtib edilmişdir və aşağıdakı (3) tənliyi şəkildə yazıla bilər.

$$r = r_{C_5H_8}^1 = k_6 P_{C_5H_{10}} \left\{ \frac{-\sqrt{\frac{k_6 P_{C_5H_{10}}}{k_5 P_{O_2}}} + \sqrt{\left(\sqrt{\frac{k_6 P_{C_5H_{10}}}{k_5 P_{O_2}}}\right)^2 + 4 \left(\frac{k_6 P_{C_5H_{10}}}{k_7} + 1\right)}}{2 \left(\frac{k_6 P_{C_5H_{10}}}{k_7} + 1\right)} + \frac{1}{2 \frac{k_6 P_{C_5H_{10}}}{k_7}} \right\}^2 \quad (3)$$

Dissosiativ adsorbsiya olunmuş oksigen molekulunun iştirakı ilə, tsiklopentandan Xinşelvd–Ləngimür mexanizminə görə tsiklopentenin əmələ gəlməsi reaksiya üçün kinetik tənliyi belə yazıla bilər:

$$r_1 = \frac{k_6 K_1 P_1 \sqrt{K_2 P_2}}{\left(1 + K_1 P_1 + \sqrt{K_2 P_2} + K_3 P_3 + K_4 P_4 + K_5 P_5\right)^2} \quad (4)$$

Eyni zamanda tsiklopentanın və tsiklopentendən CO<sub>2</sub> əmələ gəlir. Bu mexanizmi kinetik tənlikdə belə təsvir etmək olar:

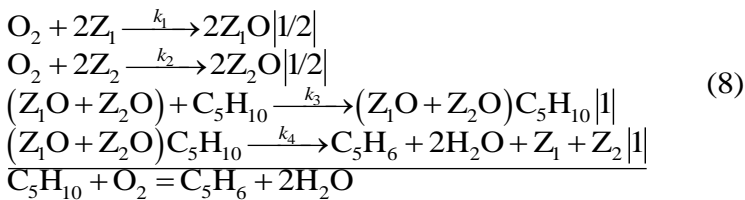
$$r_2(\text{CO}_2) = \frac{k_8 K_1 P_1 K_5 P_2}{\left(1 + K_1 P_1 + \sqrt{K_2 P_2} + K_3 P_3 + K_4 P_4 + K_5 P_5\right)^2} \quad (5)$$

$$r_3(\text{CO}_2) = \frac{k_9 K_3 P_3 K_5 P_2}{\left(1 + K_1 P_1 + \sqrt{K_2 P_2} + K_3 P_3 + K_4 P_4 + K_5 P_5\right)^2} \quad (6)$$

Sonrakı mərhələdə tsiklopentenin əmələ gəlməsinin ümumi sürət tənliyi aşağıdakı kimi tərtib edilir.

$$r_{\text{C}_5\text{H}_8} = r_1 - r_3(\text{CO}_2) \quad (7)$$

Tsiklopentadienin alınması reaksiyası üçün isə aşağıdakı mərhələli mexanizm təklif etmək olar:



Mərhələlərin əmələ gəlmə sürəti aşağıdakı ifadələrlə göstərilir:

$$r_1 = k_1 \theta_1^2 P_{\text{O}_2}, \quad r_2 = k_2 \theta_2^2 P_{\text{O}_2}, \quad r_3 = k_3 \theta_3 P_{\text{C}_5\text{H}_{10}}, \quad r_4 = k_4 \theta_4 \quad (9)$$

Bu mexanizm əsasında tsiklopentadienin əmələ gəlmə sürət tənliyi prosesin stasionar rejimdə gəlməsini nəzərə alaraq (10) tənliyi

şəklində tərtib edilmişdir.

$$r = r_{C_5H_6}^1 = k_3 P_{C_5H_{10}} \cdot \left( \frac{- \left( \sqrt{\frac{k_3 P_{C_5H_{10}}}{k_1 P_{O_2}} + \frac{k_3 P_{C_5H_{10}}}{k_2 P_{O_2}}} \right) + \sqrt{\left( \sqrt{\frac{k_3 P_{C_5H_{10}}}{k_1 P_{O_2}} + \frac{k_3 P_{C_5H_{10}}}{k_2 P_{O_2}}} \right)^2 + 4 \frac{k_3 P_{C_5H_{10}}}{k_4}}}{2 \frac{k_3 P_{C_5H_{10}}}{k_4}} \right)^2 \quad (10)$$

Tsiklopentadienin əmələ gəlməsinin Xinşelvd–Ləngimür mexanizminə görə kinetik tənliyini belə yazıb bilərik:

$$r_4 = \frac{k_3 K_3 P_3 \sqrt{K_2 P_2}}{\left( 1 + K_1 P_1 + \sqrt{K_2 P_2} + K_3 P_3 + K_4 P_4 + K_5 P_5 \right)^2} \quad (11)$$

Tsiklopentadiendən karbon qazı əmələ gəlir. Bu mexanizmi kinetik tənlikdə belə təsvir etmək olar:

$$r_5(CO_2) = \frac{k_{10} K_4 P_4 K_5 P_5}{\left( 1 + K_1 P_1 + \sqrt{K_2 P_2} + K_3 P_3 + K_4 P_4 + K_5 P_5 \right)^2} \quad (12)$$

Sonrakı mərhələdə tsiklopentadienin və karbon qazının əmələ gəlməsinin ümumi sürət tənliyi aşağıdakı kimi tərtib edilir.

$$r_{C_5H_6} = r_4 - r_5(CO_2) \quad (13)$$

$$r(CO_2) = r_2(CO_2) + r_3(CO_2) + r_5(CO_2) \quad (14)$$

Brutto reaksiyaları üçün reaksiya məhsullarının alınmasının stexiometrik tənlikləri göstərilməmişdir.

- 1)  $C_5H_{10} + 0,5O_2 = C_5H_8 + H_2O$
- 2)  $C_5H_{10} + O_2 = C_5H_6 + 2H_2O$
- 3)  $C_5H_{10} + 7,5O_2 = 5CO_2 + 5H_2O$
- 4)  $C_5H_8 + 7O_2 = 5CO_2 + 4H_2O$
- 5)  $C_5H_6 + 6,5O_2 = 5CO_2 + 3H_2O$

Bu tənliklərə əsasən ingredientlərin material balans tənliklərini aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$\left. \begin{aligned} n_{C_5H_{10}} &= n_{C_5H_{10}}^0 - (A_1 n_{C_5H_{10}}^0 + A_2 n_{C_5H_{10}}^0 + A_3 n_{C_5H_{10}}^0) / 100 \\ n_{C_5H_8} &= A_1 n_{C_5H_{10}}^0 / 100 \\ n_{C_5H_6} &= A_2 n_{C_5H_{10}}^0 / 100 \\ n_{CO_2} &= 5A_3 n_{C_5H_{10}}^0 / 100 \\ n_{O_2} &= n_{O_2}^0 - (0,5A_1 n_{C_5H_{10}}^0 + 0,5A_2 n_{C_5H_{10}}^0 + 7,5A_3 n_{C_5H_{10}}^0) / 100 \\ n_{H_2O} &= (A_1 n_{C_5H_{10}}^0 + A_2 n_{C_5H_{10}}^0 + 5A_3 n_{C_5H_{10}}^0) / 100 \\ n_{N_2} &= n_{N_2}^0 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Ingredientlərin parsial təzyiqi aşağıdakı formula ilə tapılır:

$$P_i = \frac{n_i}{\sum n_i} P \quad (16)$$

(7), (13), (14), (15) tənlikləri prosesin kinetik modelinin bir hissəsi kimi verilmişdir. Reaksiyada olan konstantların predeksparsial vuruqları  $\ln k_i^0 (\ln K_i^0)$ , aktivləşmə enerjisi ( $E_i^0$ ) və adsorbsiya istiliyi ( $Q_i^0$ ) hesablanması «dəqiqlik hüdudunda dəyişən sərhədlər» və Pauel metoduna əsasən «Poisk» axtarış sistemində aparılmışdır, məqsədli funksiya aşağıdakı kimi göstərilmişdir. Tənliklərə əsasən  $K_i$  adsorbsiya tarazlıq əmsalı ( $k_i$ -reaksiya sürətinin konstantıdır).

$$F = \min \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left( \frac{A_{ji}^{tec} - A_{ji}^{hes}}{A_{ji}^{tec}} \right)^2 \quad (17)$$

$A_{ji}^{tec}, A_{ji}^{hes}$  – təcrübələr və  $i$ -komponent,  $j$ -təcrübə,  $m$ -təcrübələrin sayı,  $n$ -komponentlərin sayını göstərir.

Kinetik modelin parametrlərinin ədədi qiymətləri müvafiq olaraq aşağıdakı cədvəldə qeyd edilmişdir.

Hesablamalara əsasən təcrübələrin nisbi xətası 10%-dən artıq olmadığı məlum olmuşdur.

**Cədvəl 4.**  
**Kinetik modelin parametrlərinin ədədi qiymətləri**

<b>Tsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyasının kinetik modeli</b>			
$\ln k_1^0 (\ln K_1^0)$		$E_i(Q_i), kcal / mole$	
$\ln k_1^0$	32.13	$E_1$	14.77
$\ln k_2^0$	73.63	$E_2$	24.25
$\ln k_3^0$	43.90	$E_3$	58.28
$\ln k_4^0$	53.16	$E_4$	59.48
$\ln k_5^0$	54.35	$E_5$	20.29
$\ln K_1^0$	12.06	$Q_1$	28.51
$\ln K_2^0$	95.45	$Q_2$	46.34
$\ln K_3^0$	25.61	$Q_3$	-
$\ln K_4^0$	47.55	$Q_4$	50.88
$\ln K_5^0$	81.55	$Q_5$	23.42

Tədqiqatın nəticələrinə əsasən belə qənaətə gəlmək olar ki, kinetik modelin parametrləri tədqiq olunan intervalda reaksiyanın mexanizmini tam əks etdirir və prosesin optimal lahiyələndirilməsi üçün riyazi modelin işlənilib hazırlanmasında tətbiq olunması mümkündür.

**Metilsiklopentanın metilsiklopentadienə oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyasının kinetik qanunauyğunluqlarının tədqiqi:** Selektiv C-C və C-H əlaqələrinin aktivləşmə enerjilərinin müxtəlifliyi metilsiklopentan molekulunun reaksiya yolunun müxtəlif istiqamətlərdə olmasına səbəb olur. Cədvəl 5-də metilsiklopentanın metilsiklopentadienə oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyası üçün tədqiq olunan temperaturların, parsial təzyiqlərin və həcmi sürətin, maddələrin qatılığının təsiri ətraflı təsvir edilmişdir. Beləliklə məlum olmuşdur ki, tərkibində  $\{Cu^{2+}(0.5 \text{ küt.}\%), Zn^{2+}(0.2 \text{ küt.}\%), Co^{2+}(0.1 \text{ küt.}\%), Cr^{3+}(0.1 \text{ küt.}\%)\}$  faiz nisbətində kationlarla modifikasiya edilmiş təbii klinoptilolit metilsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşməsində aktiv katalitik sistem əmələ gətirir.



**Cədvəl 5.**  
**Reagentlərin parsial təzyiqlərinin və mol nisbətlərinin metiltitsiklopentadienin alınmasına təsiri**

Reagentlərin parsial təzyiqi, atm	Reagentlərin mol miqdarı, (mol/saat)			Həcmi <sup>1</sup> , saat, saat <sup>1</sup>	Temperatur, °C	Konversiya, %	Reaksiya məhsullarının faizi, %						
	C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> CH <sub>3</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>				T/Penten	TPD	MTP	MTPD	T/Heksen	Benzol	CO <sub>2</sub>
0,2196	0,1438	0,0178	0,00987	0,0367	300	31,5	-	8,1	12,8	5,8	0,7	4,1	
					320	34,9	0,3	9,0	14,6	6,0	-	5,0	
					340	42,7	0,9	10,5	15,7	6,3	4,2	4,7	
					360	48,1	1,4	13,7	17,5	7,4	1,9	5,6	
0,2675	0,1512	0,0356	0,0597	1000	300	47,5	2,7	12,4	18,5	5,4	2,4	3,7	
					320	50,8	3,1	13,9	18,8	5,9	3,4	3,0	
					340	53,5	4,1	15,9	19,4	5,9	3,7	2,9	
					360	58	2,4	16,3	22,7	6,3	3,0	3,5	
0,2836	0,1533	0,045	0,0897	1500	300	54,8	3,8	12	25,9	2,7	3,5	4,3	
					320	60,5	5,2	14,4	27,2	4,5	2,6	2,7	
					340	70,6	3,1	15,8	36,0	2,3	4,0	4,5	
					360	74,6	1,5	17,0	42,3	4,3	2,0	3,9	
0,3199	0,1659	0,0591	0,126	2000	300	40,9	2,7	10,7	14,7	3,3	1,9	3,4	
					320	43,7	1,9	13,2	15,9	4,6	2,7	2,7	
					340	50,7	2,9	15,5	17,0	4,9	4,1	4,8	
					360	58,4	3,4	15,8	20,4	5,5	4,9	6,3	

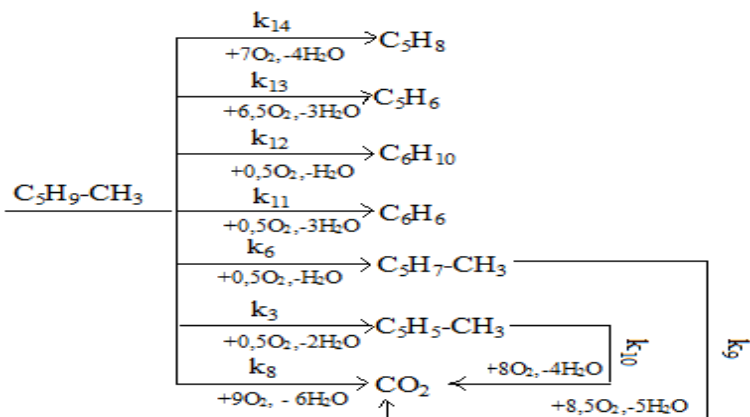
Cədvəl 5-də verilmiş nəticələrdən aydın olur ki, seçilmiş aktiv katalizator üzərində bütün tədqiq olunan temperaturalarda oksigenin parsial təzyiqi 0,1438-dən–0,1659atm-ə qədər artdıqda metiltsiklopentadienin çıxımı 18,8-dən 42,3% qədər artır [11].

Oksigenin parsial təzyiqinin daha yuxarı qiymətlərini parsial oksidləşmə məhsullarının əmələ gəlməsi kimi izah etmək olar. Oksigenin parsial təzyiqinin sabit qiymətində tsiklopentan və metiltsiklopentanın parsial təzyiqinin artması zamanı məqsədli reaksiya məhsullarının (tsiklopentadien və metiltsiklopentadienin) faizinin azalmasını tsiklopentanın və metiltsiklopentanın yüksək parsial təzyiqlərində molekulyar oksigenin metalseolit katalizatorlarının aktiv mərkəzlərinə koordinasiyasına maneçilik törətməsi ilə əlaqəli olduğunu deyə bilərik [15, 16].

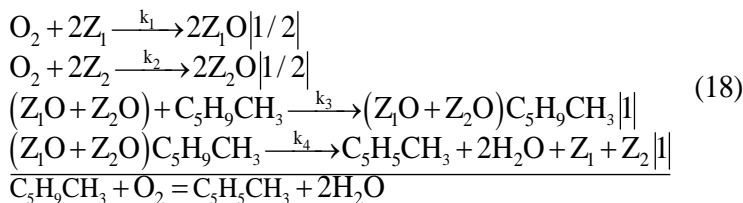
Hazırlanmış katalizator nümunəsi üzərində proses apardıqda məlum olmuşdur ki, 300-400<sup>0</sup>C temperatur intervalında, (C<sub>5</sub>H<sub>9</sub>CH<sub>3</sub>:O<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>=1,74:1:3,72) mol nisbətində və 1.8–7.2 san kontakt müddətində metiltsiklopentanın hava ilə oksidləşdirici dehidrogenləşməsi üçün ən yüksək katalitik aktivlik göstərir. Reagentlərin parsial təzyiqi C<sub>5</sub>H<sub>9</sub>CH<sub>3</sub>=0.2196-0.3199 atm; O<sub>2</sub>=0.1438-0.1659 atm; katalizatorun kütləsi G<sub>kat</sub>=1.78 gr kimidir.

Məlum olmuşdur ki, müvafiq katalizator üzərində 360<sup>0</sup>C temperaturda və 1500 saat<sup>-1</sup> həcmi sürətdə metiltsiklopentadienin çıxımı 42,3%, prosesin metiltsiklopentadienə görə selektivliyi isə 56,7% təşkil edir.

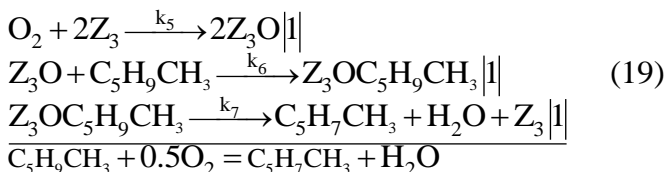
Modifikasiya edilmiş klinoptilolit (0.5% Cu<sup>2+</sup>, 0.2% Zn<sup>2+</sup>, 0.1% Co<sup>2+</sup> və 0.1% Cr<sup>3+</sup>) kationları ilə əmələ gətirdiyi katalizator üzərində metiltsiklopentan molekulunun oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyasının kinetik sxemini experimental dəlillər əsasında aşağıdakı kimi vermək olar [14].



Metiltsiklopentadienin alınma reaksiyası üçün aşağıdakı mərhələli mexanizm (18) təklif etmək olar [18].



Metiltsiklopentenin və alınma reaksiyası üçün isə aşağıdakı mərhələli mexanizm (19) təklif etmək olar.



Bu mexanizmlər əsasında metiltsiklopentenin gəlmə sürət tənliyi, prosesin stasionar şəraitdə getməsini nəzərə alaraq (20) tənliyi şəklində tərtib edilmişdir.

$$r = r_{C_5H_7CH_3}^1 = k_6 P_{C_5H_9CH_3} \left\{ \frac{-\sqrt{\frac{k_6 P_{C_5H_9CH_3}}{k_5 P_{O_2}}} + \sqrt{\left(\sqrt{\frac{k_6 P_{C_5H_9CH_3}}{k_5 P_{O_2}}}\right)^2 + 4\left(\frac{k_6 P_{C_5H_9CH_3}}{k_7} + 1\right)}}{2\left(\frac{k_6 P_{C_5H_9CH_3}}{k_7} + 1\right)} \right\}^2 \quad (20)$$

Eyni zamanda metiltsiklopentadienin gəlmə sürət tənliyi isə, prosesin stasionar şəraitdə getməsinə nəzərə alaraq (21) tənliyi şəklində tərtib edilmişdir.

$$r_{C_5H_7CH_3}^1 = k_3 P_{C_5H_9CH_3} \times \left( \frac{\left( \sqrt{\frac{k_3 P_{C_5H_9CH_3}}{k_1 P_{O_2}}} + \sqrt{\frac{k_3 P_{C_5H_9CH_3}}{k_2 P_{O_2}}} \right) + \sqrt{\left( \sqrt{\frac{k_3 P_{C_5H_9CH_3}}{k_1 P_{O_2}}} + \sqrt{\frac{k_3 P_{C_5H_9CH_3}}{k_2 P_{O_2}}} \right)^2 + 4\frac{k_3 P_{C_5H_9CH_3}}{k_4}}}{2\frac{k_3 P_{C_5H_9CH_3}}{k_4}} \right)^2 \quad (21)$$

Xinşelvud–Ləngimür mexanizminə görə dissosiativ adsorbsiya olunmuş oksigen molekulunun iştirakı ilə metiltsiklopentandan metiltsiklopentenin və metiltsiklopentəndən metiltsiklopentadienin əmələ gəlmə kinetik tənlikləri (22) və (23) aşağıdakı kimi təsvir etmək olar:

$$r_1 = \frac{k_6 K_1 P_1 \sqrt{K_2 P_2}}{\left(1 + K_1 P_1 + \sqrt{K_2 P_2} + K_3 P_3 + K_4 P_4 + K_5 P_5 + K_6 P_2\right)^2} \quad (22)$$

$$r_4 = \frac{k_3 K_3 P_3 \sqrt{K_2 P_2}}{\left(1 + K_1 P_1 + \sqrt{K_2 P_2} + K_3 P_3 + K_4 P_4 + K_5 P_5 + K_6 P_2\right)^2} \quad (23)$$

Kinetik modelin parametrlərinin ədədi qiymətləri müvafiq olaraq aşağıdakı şəkildə qeyd edilmişdir.

Hesablamalara əsasən təcrübələrin nisbi xətası 15%-dən artıq olmamışdır.

**Cədvəl 6.**  
**Kinetik modelin parametrlərinin ədədi qiymətləri**

<b>Metilsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşməsinin kinetik modeli.</b>			
<i>ln k<sub>1</sub><sup>0</sup> ( ln K<sub>1</sub><sup>0</sup>)</i>		<i>E<sub>i</sub>(Q<sub>i</sub>) , kcal / mole</i>	
ln k <sub>1</sub> <sup>0</sup>	17.28	E <sub>1</sub>	78.42
ln k <sub>2</sub> <sup>0</sup>	11.88	E <sub>2</sub>	31.82
ln k <sub>3</sub> <sup>0</sup>	84.93	E <sub>3</sub>	76.41
ln k <sub>4</sub> <sup>0</sup>	37.98	E <sub>4</sub>	72.81
ln k <sub>5</sub> <sup>0</sup>	18.59	E <sub>5</sub>	55.37
ln k <sub>6</sub> <sup>0</sup>	64.12	E <sub>6</sub>	93.55
ln k <sub>7</sub> <sup>0</sup>	94.88	E <sub>7</sub>	30.18
ln k <sub>8</sub> <sup>0</sup>	-10.91	E <sub>8</sub>	30.39
ln k <sub>9</sub> <sup>0</sup>	-48.37	E <sub>9</sub>	56.98
ln k <sub>10</sub> <sup>0</sup>	19.06	E <sub>10</sub>	30.27
ln k <sub>11</sub> <sup>0</sup>	14.63	E <sub>11</sub>	20.17
ln k <sub>12</sub> <sup>0</sup>	96.07	E <sub>12</sub>	15.24
ln k <sub>13</sub> <sup>0</sup>	20.54	E <sub>13</sub>	27.69
ln k <sub>14</sub> <sup>0</sup>	16.26	E <sub>14</sub>	25.43
ln K <sub>1</sub> <sup>0</sup>	97.61	Q <sub>1</sub>	73.54
ln K <sub>2</sub> <sup>0</sup>	11.53	Q <sub>2</sub>	20.13
ln K <sub>3</sub> <sup>0</sup>	11.19	Q <sub>3</sub>	84.11
ln K <sub>4</sub> <sup>0</sup>	13.61	Q <sub>4</sub>	10.41
ln K <sub>5</sub> <sup>0</sup>	14.42	Q <sub>5</sub>	83.88
ln K <sub>6</sub> <sup>0</sup>	35.72	Q <sub>1</sub>	88.54

## ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. İşin nəticəsi olaraq təbii və sintetik seolitlərin keçid metal kationları ilə əmələ gətirdiyi çoxkomponentli metalseolit katalizatorları sintez edilmiş və onların katalitik aktivliyi atmosfer təzyiqi altında havanın iştirakı ilə tsiklopentanın tsiklopentadienə və metilsiklopentanın metilsiklopentadienə buxar fazada oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyasında müəyyən edilmişdir [4,5,6,7].
2. Müəyyən edilmişdir ki, silikat modulu  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=8.68$  tərkibində  $\text{Cu}^{2+}-0,5\%$ ;  $\text{Zn}^{2+}-0,2\%$ ;  $\text{Co}^{2+}-0,1\%$ ;  $\text{Cr}^{3+}-0,1\%$  metal kationları olan təbii klinoptilolit tsiklopentan və metilsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşməsində nisbətən yüksək katalitik aktivlik və selektivlik göstərir. Tsiklopentan üçün  $390^\circ\text{C}$  temperaturda,  $2000\text{saat}^{-1}$  həcmi sürətdə və  $\text{C}_5\text{H}_{10}:\text{O}_2:\text{N}_2=2:1:3,7$  mol nisbətində tsiklopentadienin çıxımı  $12,1\%$ , prosesin tsiklopentadienə görə selektivliyi  $39,4\%$ , konversiya isə  $30,7\%$  təşkil etmişdir. Metilsiklopentan üçün isə  $360^\circ\text{C}$  temperaturda,  $1500\text{saat}^{-1}$  həcmi sürətdə və  $\text{C}_5\text{H}_9\text{-CH}_3:\text{O}_2:\text{N}_2=1,74:1:3,72$  mol nisbətində metilsiklopentadienin çıxımı  $42,3\%$ , prosesin selektivliyi  $56,7\%$ , konversiyası isə  $74,6\%$  təşkil etmişdir [5,9,11,12,14].
3. Tsiklopentanın kinetik qanunauyğunluqları təcrübi olaraq ( $\text{Cu}^{2+}-0,5\%$ ;  $\text{Zn}^{2+}-0,2\%$ ;  $\text{Co}^{2+}-0,1\%$ ;  $\text{Cr}^{3+}-0,1\%$ ) metalseolit katalizatoru üzərində  $320-390^\circ\text{C}$  temperatur,  $500-2500\text{saat}^{-1}$  həcmi sürət və tsiklopentanın  $0,2738-0,5641$  atm və oksigenin  $0,0768-0,1540$  atm parsial təzyiqlərdə müəyyən edilmişdir [4,16].
4. Metilsiklopentanın kinetik qanunauyğunluqları isə təcrübi olaraq  $300-380^\circ\text{C}$  temperatur,  $500-2000\text{saat}^{-1}$  həcmi sürət və metilsiklopentanın  $0,2196-0,3199$  atm və oksigenin  $0,1438-0,1659$  atm parsial təzyiqlərində müəyyən edilmişdir [13,14,15,16].
5. Modifikasiya edilmiş ( $\text{Cu}^{2+}-0,5\%$ ;  $\text{Zn}^{2+}-0,2\%$ ;  $\text{Co}^{2+}-0,1\%$ ;  $\text{Cr}^{3+}-0,1\%$ ) metalseolit katalizatoru üzərində tsiklopentan və metilsiklopentan molekulunun oksidləşdirici dehidrogenləşməsi

- reaksiyasının mümkün mərhələli mexanizminin sxemi təklif olunmuşdur. Bu mexanizmlər əsasında proseslərin nəzəri əsaslandırılmış kinetik modeli tərtib olunmuşdur [4,13,18].
6. Tərtib edilmiş kinetik modellərin parametrlərinin ədədi qiymətləri experimental dəlillər əsasında təyin edilmiş və hesablamalara əsasən təcrübələrin nisbi xətası tsiklopentan üçün 10%, metiltsiklopentan üçün isə 15% -dən artıq olmadığı müəyyən edilmişdir [4,13,18].
  7. Kinetik modelin parametrləri tədqiq olunan intervalda reaksiyanın mexanizmini tam əks etdirməsi müəyyən edilmişdir və prosesin optimal lahiyələndirilməsi üçün riyazi modelin işlənilib hazırlanmasında tətbiq olunması mümkündür [4,7,13].
  8. (0.5%Cu<sup>2+</sup>, 0.2%Zn<sup>2+</sup>, 0.1%Co<sup>2+</sup> və 0.1%Cr<sup>3+</sup>) klinoptilolit katalizatorunun katalitik aktivliyinin zamandan asılı olaraq dəyişilməsi, tsiklopentan və metiltsiklopentanın oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyasında müəyyən edilmişdir və məlum olmuşdur ki, 400 saat ərzində katalizatorun katalitik aktivliyi praktiki olaraq heç bir dəyişikliyə uğramır. Deyilənlər əsasında bu qərara gəlmək olar ki, bu katalizatorlar böyük sənaye əhəmiyyətli proseslərin həyata keçirilməsində istifadə olunması mümkündür [14].

**Dissertasiyanın əsas nəticələri aşağıdakı tezis və məqalələrdə çap edilmişdir.**

1. Алиев, А.М., Шабанова, З.А., Керимов, А.И., Наджаф-Кулиев У.М., Аббасов, М.Я. Селективное окислительное дегидрирование метилциклогексана на модифицированных цеолитных катализаторах // Международная научно-техническая конференция «Нефтехимический синтез и катализ в сложных конденсированных системах», посвященной 100-летию юбилею академика Б.К.Зейналова, - Баку: -29-30 июня, -2017, -с.187.
2. Алиев, А.М., Шабанова, З.А., Али-заде, Г.А., Наджаф-Кулиев У.М., Аббасов, М.Я. Механизм окислительного дегидрирования циклогексана на модифицированном

- клинотилолите // Международная научно-техническая конференция “Нефтехимический синтез и катализ в сложных конденсированных системах” посвященной 100-летнему юбилею академика Б.К.Зейналова, - Баку: -29-30 июня, -2017, -с.176.
3. Алиев, А.М., Шабанова, З.А., Наджаф-Кулиев, У.М., Гусейнова, Т.И., Аббасов, М.Я. Механизм окислительного дегидрирования циклопентана на модифицированном клинотилолите // Akademik M.Nağıyevin 110 illiyinə həsr olunmuş “Nağıyev Qıraətləri” elmi konfransının materialları, - Баку:-2017, -с.207.
  4. Aliyev, A.M. A Study of the kinetics and mechanism of the selective oxidative dehydrogenation reaction of cyclopentane to cyclopentadiene-1,3 over modified zeolite catalysts/ A.M.Aliyev., M.Y.Abbasov., Z.A.Shabanova // Azerbaijan Chemical Journal, -Baku: -2018. №3, -p.11-20.
  5. Əliyev, A.M., – 1.3-Tsiklopentadienin alınma üsulu, İxtira i2020 0068, Azərbaycan Respublikası / Əliyev A.M., Abbasov M.Y., Nəcəf-Quliyev Ü.M. [və b.].
  6. Aliyev, A.M. Oxidative dehydrogenation of methylcyclopentane to methylcyclopentadiene-1,3 over modified zeolite catalysts / A.M.Aliyev, M.Y.Abbasov, U.M.Najaf-Guliyev [et al.] // Azerb.Chem.Journ, -2020.No1. -p.26-31.
  7. Aliyev, A.M. Selective Oxidative dehydrogenation reaction of methylcyclopentane to methylcyclopentadiene-1,3 over modified zeolite catalysts / A.M.Aliyev, M.Y.Abbasov, U.M.Najaf-Guliyev [et al.] Azərbaycan Texniki Universiteti Elmi Əsərləri,- Bakı: -2020. №1, p.74-80.
  8. Abbasov, M.Y. Tsiklopentan və metiltsiklopentan molekulunun oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyası üçün uyğun katalizatorların sintezi və orta q katalizatorun tapılması // Second International Scientific-Practical Conference: Modern Information, Measurement and Control Systems: Problems and Perspectives,-Baku, - 07-08 dekabr,-2020,- s.269.
  9. Алиев, А.М. Окислительное дегидрирование 4-метилциклогексанола в 4-метилциклогексанон на



- модифицированном катионами меди и палладия природном клиноптилолите / А.М.Алиев, М.Г.Алиева, Г.А.Али-заде [и др.] // Нефтепереработка и нефтехимия, – Москва: –2021. №1, – с.29-31.
10. Алиев, А.М., Аббасов, М.Я. Исследование окислительного дегидрирования метилциклопентана на клиноптилолитном катализаторе // XVIII International scientific and practical conference «perspective directions for the development of science and practice», – Athens, Greece: – June 14 – 16, – 2021, – с.24–25.
  11. Əliyev, A.M., – Metiltsiklopentadienin alınma üsulu, İxtira i2021 0057, Azərbaycan Respublikası / Əliyev, A.M., Abbasov M.Y., Abbasova N.K. [və b.].
  12. Abbasov, M.Y. Tsiklopentan və metiltsiklopentan molekulunun oksidləşdirici dehidrogenləşməsi reaksiyası üçün uyğun katalizatorların sintezi və ortaq katalizatorun tapılması // Tbilisi: The Caucasus Economic & Social Analysis Journal of Southern Caucasus, – 2021. Volume 45 Issue 06, –s.38-44.
  13. Aliyev, A.M. The kinetics and mechanism of the selective oxidative dehydrogenation reaction of methylcyclopentane / A.M. Aliyev., M.Y. Abbasov., M.G. Aliyeva [et al.] // Azerbaijan Chemical Journal, –2021. №3. –p.12-20.
  14. Аббасов, М.Я. Влияние размера частиц катализатора металл-клиноптилолита на образование молекул 1,3-циклопентадиена и метилциклопентадиена-1,3. кинетические уравнения процесса // Нефтепереработка и Нефтехимия, –Москва: –2021, №8, – с. 29-32.
  15. Abbasov, M.Y. Study of the reaction pathway of five cyclic naften hydrocarbons and their methyle derivative over clinoptilolite zeolite //-Ganja: Azerbaijan National Academy of Sciences Ganja Branch «Proceedings» “Natural and technical sciences” , –2021. № 3(82). –p.31– 37.
  16. Аббасов, М.Я. Активность катализатора на основе природного клиноптилолита при селективном окислительном дегидрировании циклопентана и метилциклопентана // Нефтепереработка и Нефтехимия, –

Москва:–2022, №2, – с. 13-15.

17. Aliyev, A.M. Catalytic oxidative conversion of lower olefins and paraffins Over zeolites modified with different metal cations / A.M.Aliyev, M.Y.Abbasov, F.V.Aliyev [et al.] // Azerbaijan Chemical Journal, - Baku: -2022. №1, -p.13-21.
18. Abbasov M.Y. A Study Kinetic Model of Clinoptilolite Modified with Metal Cations Over Cyclopentane, Methylcyclopentane, Lower Olefins, Paraffins and 4 Methylcyclohexanol // International conference. Modern problems of theoretical & experimental chemistry. Devoted to the 90th anniversary of academician Rafiga Aliyeva, -Baku, Azerbaijan: - 29 - 30 September, - 2022, -p.355-356.
19. Аббасов М.Я. Исследование Металлцеолитовых Катализаторов При Окислительном Дегидрировании Молекулы Циклопентана // Техногенные Системы Экологический Риск VI Международная (XIX региональная) Научная Конференция, Тезисы докладов, Москва Обнинск, Россия:- 20-21 апреля, -2023, -с. 305-306.

Dissertasiyanın müdafiəsi 07 may 2024-cü il tarixində, saat 10<sup>00</sup> da Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi akad. M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-Üzvi Kimya İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.15 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1143, Bakı şəhəri, H.Cavid prospekti, 113.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi akad. M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları [www.kqkiamea.az](http://www.kqkiamea.az) rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 01 aprel 2024-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanmışdır: 28.03.2024  
Kağız formatı: A5  
Həcm: 38884  
Tiraj:100