

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

**İZOTERMİK KİMYƏVİ REAKSIYALARIN SÜRƏT
SABİTİNİN VƏ DAYANIQLIĞININ QEYRİ-SƏLİS MƏNTİQ
ƏSASINDA QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ**

İxtisas: 3303.01- Kimya texnologiyası və mühəndisliyi

Elm sahəsi: Texnika

İddiaçı: **Məhsəti Mustafa qızı Cəfərli**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş
dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı - 2021

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin "Üzvi maddələr və yüksək molekullu birləşmələrin texnologiyası" kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərlər:

texnika elmləri doktoru, professor
Çingiz Şirin oğlu İbrahimov
texnika elmləri doktoru, professor
Lətafət Abbas qızı Qardaşova

Rəsmi opponentlər:

texnika elmləri doktoru, dosent
Aqil Rafiq oğlu Səfərov
texnika elmləri doktoru, professor
Əli Həsən oğlu Nağiyev
texnika üzrə fəlsəfə doktoru
Sahib Hacı oğlu Yunusov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası akademik Y.H. Məmmədaliyev adına Neft-Kimya Prosesləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.17 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

kimya elmləri doktoru, akademik
Vaqif Məhərrəm oğlu Abbasov

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Zaur Zabil oğlu Ağamaliyev

Elmi seminarın sədri:

texnika elmləri doktoru, dosent
Səyyarə Qulam qızı Əliyeva

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Kimyəvi reaksiya mexanizminin əsası onun sürət qanunudur. Bu, reaksiya sürəti ilə kimyəvi reaktivlərin konsentrasiyası arasındakı münasibəti təsvir edir.

Bu dissertasiyanın məqsədi izotermik kimyəvi reaksiyaların qeyri-müəyyənlik şəraitində sürət sabitini təyin etməyin metod və modellərinin işlənməsidir. Bu cür vasitələrin yaradılması həm sənaye proseslərinin idarə olunmasında, həm də reaksiya mexanizmlərinin öyrənilməsində çox faydalı ola bilər. Sürət sabitlərinin daha adekvat qiymətlərinin müəyyənləşdirilməsi, kimyəvi reaksiyanın zəruri parametrləri daxil olmaqla reaktor dizaynının optimal şərtlərini müəyyənləşdirməyə imkan verir.

Təcrübə məlumatları temperatur dəyişikliyi, reaktiv maddələrin ölçü xətası və insan faktoru daxil olmaqla bir neçə növ xətalari özündə ehtiva edir.

İnformasiyanın təbiəti kimyəvi proseslərə nəzarət edilməsində zəruri olan faktorlardandır. Belə ki, kimyəvi proseslərin davranışı haqqında kifayət qədər məlumat olmadıqda ona nəzarət etmək çətindir. Buna səbəb prosesi xarakterizə edən parametrlərin dəqiq təyin oluna bilməməsidir.

Bu proseslər böyük həcmli verilənlərlə xarakterizə olunarsa, ona nəzarət etmək tədqiqatçıdan yeni təcrübə bilik tələb edir ki, bu da tətbiqi kimya və informasiya texnologiyaları ilə əlaqədardır. Belə hallarda verilənlərdən faydalı biliyin əldə edilməsi aktual məsələdir. Digər tərəfdən uzun illər boyu aparılan eksperimentlər, kimyəvi reaksiyalar üzrə elmi ədəbiyyatlarda toplanmış verilənlər bazasında milyonlarla verilənlər yerləşdirilib. Təcrübə aparmaq əvəzinə o verilənlərdən qeyri-müəyyənliyi nəzərə alan müasir texnologiyalar əsasında yaradılan üsullardan istifadə ilə məlumat əldə etmək və kimyəvi reaksiyaların sürət sabitini proqnozlaşdırmaq aktual elmi-tədqiqat məsələsidir. Bu məsələnin həlli üçün “hesablama kimyası” (Computational chemistry), Soft computing texnologiyasının əsas sayılan qeyri-səlis məntiqdən istifadə olunmuşdur.

İki kimyəvi reaksiyanın simulyasiyası nümunə kimi təsvir

edilmişdir. Analitik qatılığın zaman profillərinə nisbətən əldə edilməsi üçün qeyri-səlis sürət tənlikləri (qeyri-səlis diferensial tənliklər) həll edilmişdir.

Kompüter təcrübə nəticələri göstərdi ki, təklif olunan vasitələr reaksiyaların həqiqi sürət sabitlərini təyin etmək üçün çox səmərəli, sürətli və daha adekvat alətlərdir.

Təklif olunan metodologiyalardan müəyyən bir temperaturda hər hansı bir mürəkkəb reaksiyanın sürət sabitini təyin etmək üçün istifadə edilə bilər. Təklif olunan vasitələr reaksiyanın təbiətindən asılı deyil, hər hansı bir yeni reaksiya üçün yalnız sürət tənlikləri və ilkin şərtlər dəyişdirilməlidir.

Tədqiqatın obyektı və predmeti.

İzotermik kimyəvi reaksiyaların qeyri-müəyyənlik şəraitində qeyri-səlis məntiq əsasında tədqiqi, reaksiyanın sürət sabitinin dayanıqlıq seçiminin təhlili.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri.

Dissertasiya işinin məqsədi izotermik kimyəvi reaksiyaların sürət sabitinin və dayanıqlılığının qeyri-müəyyən davranışını nəzərə almaqla qeyri-səlis məntiq əsasında onların qiymətləndirilməsindən ibarətdir.

Tədqiqat metodları. Dissertasiya işində tədqiqat üsulları kimi Soft Kompüter texnologiyası, qeyri-səlis differensial tənliyin Matlab mühitində həlli, qeyri-səlis məntiqi nəticə çıxarış üsulu, Fuzzy C-means klasterləşmə üsulu istifadə edilmişdir.

Kompüter simulyasiyası MATLAB mühitində aparılmış və alınan nəticələrin doğruluğu və effektivliyi təsdiq olunmuşdur.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar.

Dissertasiyada aşağıdakı məsələlərə baxılmışdır:

- İzotermik kimyəvi reaksiya sistemlərinin qeyri-müəyyən şəraitdə riyazi təhlili;
- İzotermik kimyəvi reaksiyalarda sürət sabitinin təyini üçün ƏGƏR ... ONDA tip qeyri-səlis modelin yaradılması;
- Təklif olunan qeyri-səlis modellərin keyfiyyətinin tədqiqi;
- İzotermik kimyəvi reaksiyaların sürət sabitinin müxtəlif qiymətlərində qeyri-səlis dayanıqlılığın tədqiqi;
- Təklif olunmuş qeyri-səlis modellərin həssaslıq təhlilinin

aparılması;

- Hidrogen-peroksidin parçalanma reaksiyasının qeyri-səlis modelinin tədqiqi;
- Alkülləşmə reaksiyasının qeyri-səlis modelinin tədqiqi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Dissertasiyada əldə edilmiş əsas elmi yeniliklər aşağıdakılardan ibarətdir:

- Qeyri-müəyyənlik davranış mühitində baş verən izotermik reaksiyaların sürət sabitinin təyini üçün İF.. THEN tip qeyri-səlis model yaradılmışdır;
- Qurulan qeyri-səlis modelin keyfiyyətinin çoxmeyarlı tədqiqi aparılmışdır.
- Qeyri-səlis differensial tənliklə yazılan izotermik kimyəvi reaksiyanın sürət sabitindən asılı olaraq dinamik davranış təhlil edilmişdir.
- İlk dəfə, qeyri-müəyyənliklə xarakterizə olunan izotermik kimyəvi reaksiyaların qeyri-səlis dayanıqlığı tədqiq olunmuşdur;
- Alınan nəzəri nəticələr hidrogen-peroksid və alkülləşmə reaksiyalarının təhlili üçün tətbiq olunmuşdur.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Qeyri-müəyyənlik şəraitində izotermik kimyəvi reaksiya sistemlərinin riyazi təhlili aparılmışdır. İzotermik kimyəvi reaksiyanın qeyri-səlis riyazi modeli qurulmuş, izotermik reaksiyanın sürət sabitinin təyini üçün qeyri-səlis model yaradılmış, izotermik kimyəvi reaksiyaların qeyri-səlis dayanıqlığı və həssaslıq təhlili tədqiq edilmişdir. Bu da istifadəçiyə kimyəvi reaktorun arzu olunan sabit davranışını müəyyən etməyə imkan verir. İzotermik kimyəvi reaksiyaların qeyri-səlis modellərinin eksperimental tədqiqi aparılmışdır. Hidrogen-peroksidin parçalanma reaksiyası və propilen və benzol arasında alkülləşmə reaksiyasının qeyri-səlis modeli tədqiq edilmişdir. Qeyri-səlis modellərin keyfiyyətinin tədqiqi qurulan modellərin və tətbiq edilən yanaşmanın doğruluğunu sübut edir. Təklif olunan yanaşma qeyri-səlis qeyri-müəyyənliyi nəzərə almağa imkan verdiyinə görə real mühitə daha adekvatdır.

Dissertasiyada alınmış elmi nəticələr digər bu tip reaksiyalara tətbiq oluna bilər.

Aprobasiyası və tətbiqi. Aparılan tədqiqatlar nəticəsində 8 iş nəşr edilmişdir, o cümlədən: 5 məqalə, onlardan 4 həmmüəllifsiz, 4

xaricdə nəşr edilmişdir; 3 konfrans materialı, onlardan 1 xaricdə, 2 həmmüəllifsiz.

Dissertasiyanın əsas elmipraktiki nəticələri ICAFS-2018-“Thirteenth International Conference on Application of fuzzy Systems and Soft Computing” (Warsaw, 2018), ICSCCW-2019-“Tenth International Conference on Theory and Application of Soft Computing with words and Perceptions (Czech, 2019), ICAFS-2020-“14th International Conference on Applications of Fuzzy Systems, Soft Computing and Artificial Intelligence Tools (Monteneqro, Budva, 2020), APCE-2020-“1th International Conference on Actual Problems of Chemical Engineering” (Bakı, 2020) GTDOEK-“Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin (ADNSU) 100 illik yubileyinə həsr olunmuş gənc tədqiqatçı və doktorantların online elmi konfransı” nda dinlənilmiş və müzakirə olunmuşdur.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin “Üzvi maddələr və yüksək molekullu birləşmələrin texnologiyası” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın strukturu və həcmi. Dissertasiyanın əlyazması giriş, beş fəsil, nəticələr, istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısı və əlavələrdən ibarətdir. Dissertasiyanın ümumi həcmi 166 səhifə olmaqla 165090 işarədən ibarətdir: o cümlədən işin əsas hissəsi 29 şəkil, 21 cədvəl, 5 əlavə və 96 adda ədəbiyyat siyahısı.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə tədqiq olunan problemin aktuallığı əsaslandırılmış, həlli tələb edilən əsas məqsəd və məsələlər qısaca ifadə edilmiş, elmi yeniliklər və aparılan tədqiqatın praktiki qiymətləndirilməsi verilmişdir.

Birinci fəsildə izotermik kimyəvi reaksiya sistemlərinin qeyri-müəyyən şəraitdə riyazi təhlili problemlərinə baxılmış, məsələnin formal qoyuluşu müəyyən edilmişdir.

Son illərin elmi ədəbiyyatlarının təhlili əsasında mürəkkəb kimyəvi proseslərin idarəetmə sistemlərinin inkişafı üçün ən uğurlu texnologiyalardan birinin qeyri-səlis məntiq texnologiyası olduğu sübut olunmuşdur. Belə ki, qeyri-səlis məntiq real həyat

problemlərini həll etmək üçün istifadə edilə bilən bir texnologiya olub, kimya mühəndisliyində parçalanma, yanma, ayrılma proseslərini, kimyəvi reaksiyalarda giriş-çıxış verilənləri və reaksiyanın sürəti arasındakı asılılıqları, kimyəvi reaksiyalarda risklərin idarə edilməsini qiymətləndirmək üçün istifadə oluna bilər. Burada reaksiyanın sürətinə təsir edən faktorlar- temperatur, qatılıq, reaksiyanın dayanıqlı və dayanıqsız olmasına təsir edən faktorların qiymətləri və s. qeyri-müəyyənliklə səciyyələnə bilər. Bu sahədə müəyyən qədər konseptual səviyyəli işlər mövcuddur. Kimyəvi proseslərdə qeyri-səlis məntiqdən istifadə aktual problem olub, analitiklərin diqqət mərkəzində olan məsələlərdəndir. İzotermik kimyəvi reaksiyaların səlis və qeyri-səlis mühitdə təhlilinə aid işlərin icmalından aşağıdakı uyğun nəticələr çıxarılmışdır.

Kimyəvi reaksiyaların stoxastik modelləşdirilməsi üzrə xeyli ədəbiyyat mövcuddur. Lakin icmal xarakterli məqalələrin əksəriyyəti simulyasiyaya əsaslanan üsulları əhatə edir. Digərləri isə daha çox texniki xarakter daşıyır və dərk edilməsi üçün riyazi biliklərin yüksək səviyyədə olmasını tələb edir. Digər tərəfdən mürəkkəb kimyəvi proseslərin idarə olunmasında insan (tədqiqatçı) iştirak etdiyindən bu proseslərdə tək ehtimal qeyri-müəyyənliyi deyil, daha yüksək tərtibli qeyri-müəyyənlik də iştirak edir.

Klassik sərt riyazi qanunauyğunluqlarla reaksiyanın sürətinin təyini mümkün olmadıqda insan yönümlü riyazi və sözlə hesablama əsaslanan üsullara üstünlük verilməlidir.

Belə problemlər linqvistik ölçü əsasında qərarlar qəbul edən insan tərəfindən idarə olunur. Aparılan elmi icmal göstərdi ki, elmi ədəbiyyatlarda bu istiqamətdə aparılan işlər və alınan nəticələr rüşeym halındadır, onların genişləndirilməsinə, yeni elmi nəticələrin alınmasına böyük ehtiyac var.

İkinci fəsildə qeyri-səlis məntiq haqqında ümumi məlumatlara baxılır. Burada qeyri-səlis çoxluqlar, qeyri-səlis ədədlər, qeyri-səlis differensial tənliklər, Əgər- Onda tip qeyri səlis modellər haqqında əsas anlayışlar şərh edilib. Bunlardan da təbii dildə ifadə olunan informasiya və reaksiyada davranış aspektləri arasındakı asılılığı ifadə edən qeyri-səlis bilikləri modelləşdirmək və modellər üzrə alınan nəticələri təhlil etmək, kimyəvi prosesi ifadə edən qeyri-səlis

differential tənliyin dayanıqlığını araşdırmaq üçün istifadə edilib. Qeyri-səlis texnologiyanın istifadə olunan bəzi anlayışları dissertasiyada verilmişdir.

Qeyri-səlis çoxluq¹. Fərz edək ki, X elementləri x ilə işarə edilmiş universal çoxluqdur. Elementlərin $A \subset X$ altçoxluğuna daxil olması çox vaxt $\mu_A: X \rightarrow \{0, 1\}$ xarakteristik funksiyasının vasitəsi ilə ifadə olunur, yəni

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

$\{0, 1\}$ qiymətləndirmə çoxluğu adlanır.

Əgər qiymətləndirmə çoxluğu olaraq $\{0, 1\}$ deyil, $[0, 1]$ parçası götürülsə, A qeyri-səlis çoxluq olar. Bu halda $\mu_A(x)$ mənsubiyyət funksiyası adlandırılır. $\mu_A(x)$ 1-ə nə qədər yaxındırsa x elementi A çoxluğuna bir o qədər çox aiddir.

A qeyri səlis çoxluğunu,

$$A = \{x, \mu_A(x), x \in X\}$$

çütlər çoxluğu ilə xarakterizə etmək olar.

Qeyri-səlis ədəd¹. Həqiqi ədəd düz xəttində təyin edilmiş qeyri-səlis A ədədi mənsubiyyət funksiyası $\mu_A: R \rightarrow [0, 1]$ olan, qabarıq, normal, daşırıçısı məhdud qeyri-səlis çoxluqdur və onun hər bir $\alpha \in (0, 1]$ üçün α -kəsiyi qapalı intervaldır. Qeyri-səlis A ədədi

$$A = \int_R \mu_A(x) / x$$

kimi təsvir oluna bilər.

α -kəsik¹. Əgər A qeyri-səlis ədəddirsə, onun α -kəsiyi

$$A^\alpha = [a_1^\alpha, a_2^\alpha]$$

şəklində ədəddir. Burada $A^\alpha = \{x / \mu_A(x) \geq \alpha\}$.

Qeyri-səlis nöqtə¹. \tilde{x}_0 qeyri-səlis nöqtəsi R^n -də qabarıq qeyri-səlis altçoxluqdur. R -də qeyri-səlis nöqtə yerləşdiyi yer yalnız təxminən məlum olan x_0 nüvəsi ilə xarakterizə olunur.

$x_0 \in R^n$ səlis nöqtəsi ondan bütün istiqamətlərdə mənsubiyyət funksiyası monoton azalan nüvədir.

Qeyri-səlis tənlik¹. Əgər f_1 və f_2 adi cəbri ifadələr ($x \in R^1$ elementləri, dəyişənlər və onları bağlayan $+, -, \times, :$ əməllərindən düzəldilmiş riyazi konstruksiyalar), Q qeyri-səlis münasibətdirsə, onda

$$f_1 Q f_2$$

qeyri-səlis münasibətli qeyri-səlis tənlik adlanır.

Məsələn, Q münasibəti $Q \underline{\Delta}$ “təqribən bərabərdir” şəklində verilə bilər.

Əgər f_1 və f_2 qeyri-səlis termlər, R isə adi riyazi münasibətdirsə, onda α -kəsik vasitəsilə aşağıdakı tənlikləri təyin etmək olar:

$$\left(\bigcup_{\alpha} f_1^{\alpha} \right) R \left(\bigcup_{\alpha} f_2^{\alpha} \right) = \left(\bigcup_{\alpha} [\delta_{f_1, \gamma_{f_1}}] \right) Q \left(\bigcup_{\alpha} [\delta_{f_2, \gamma_{f_2}}] \right) \quad (1)$$

Burada

$$\delta_{f_1} \underline{\Delta} \delta_{f_1}(\alpha); \quad \delta_{f_2} \underline{\Delta} \delta_{f_2}(\alpha); \quad \gamma_{f_1} \underline{\Delta} \gamma_{f_1}(\alpha); \quad \gamma_{f_2} \underline{\Delta} \gamma_{f_2}(\alpha);$$

$\delta_f(\alpha) = \mu_+^{-1}(\alpha)$, $\gamma_f(\alpha) = \mu_-^{-1}(\alpha)$, $\mu_+^{-1}(\alpha)$, $\mu_-^{-1}(\alpha)$ $\mu_f(x)$ mənsubiyyət funksiyasının uyğun olaraq artan və azalan hissəsinin tərs funksiyasıdır.

$f_1 R f_2$ şəklindəki tənlikləri həll etmək üçün onu (1) şəklinə gətirib, δ_x və γ_x -ə nəzərən ayrılıqda həll etmək olar.

Qeyri-səlis diferensial tənliklər¹.

Fərz edək ki, $\tilde{f}(t, \tilde{y})$ adi (crisp) t və qeyri-səlis \tilde{y} dəyişənlərinin qeyri-səlis funksiyasıdır.

$$\tilde{y}' = \tilde{f}(t, \tilde{y}), \quad -\infty < t < \infty$$

tənliyinə birinci tərtib qeyri-səlis diferensial tənlik deyilir. Bu tənlik

$$(\underline{y})'(t) = \underline{f}(t, y), \quad (\overline{y})'(t) = \overline{f}(t, y); \quad y(t_0) = y_0$$

tənliyi ilə əvəz edilə bilər.

Burada $\underline{y}(t)$ və $\overline{y}(t)$ uyğun olaraq $[\tilde{y}(t)]^{\alpha}$ -nin sol və sağ uclarıdır.

$$\underline{f}(t, y) = F(t, \underline{y}(t), \overline{y}(t)); \quad \overline{f}(t, y) = G(t, \underline{y}(t), \overline{y}(t))$$

işarə etsək

$$(\underline{y})'(t) = F(t, \underline{y}(t), \overline{y}(t)),$$

$$(\overline{y})'(t) = G(t, \underline{y}(t), \overline{y}(t)),$$

$$\underline{y}(t_0) = \underline{y}_0, \quad \overline{y}(t_0) = \overline{y}_0$$

yaza bilərik. Buradan tənliyin həlli

$$\underline{y}(t) = \underline{y}_0 + \int_{t_0}^t F[s, \underline{y}(s), \bar{y}(s)] ds,$$

$$\bar{y}(t) = \bar{y}_0 + \int_{t_0}^t G[s, \underline{y}(s), \bar{y}(s)] ds$$

kimi təyin edilir.

Linqvistik dəyişən¹. Liqvistik dəyişən.

$$(x, T(x), U, G, M)$$

kimi təyin edilir. Burada x -dəyişənin adı, $T(x)$ x -dəyişənin term-çoxluğu, yəni x -dəyişənin liqvistik qiymətlərinin adları çoxluğudur, belə ki, hər bir belə qiymət u təməl dəyişəninin U universal çoxluğunda qiymətlər alan X dəyişənidir. G adətən qrammatika formasında olan, sintaksis qayda olub x dəyişəninin X adını təyin edir. M semantik qayda olub, hər bir X qeyri-səlis dəyişəninə onun uyğun mənasını, yəni universal U çoxluğunun $M(X)$ qeyri-səlis altçoxluğunu qarşı qoyur.

ƏGƏR ... ONDA tip qeyri-səlis model¹. Bu model produksiya qaydaları şəklində verilən aşağıdakı tip qaydalarla təsvir olunur:

G_1 : Əgər x A_1 -dirsə, Onda y B_1 -dir,

G_2 : Əgər x A_2 -dirsə, Onda y B_2 -dir,

...

G_n : Əgər x A_n -dirsə, Onda y B_n -dir.

burada x – giriş dəyişəni, y – çıxış dəyişənidir, $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ və $B = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ uyğun olaraq x və y -in qiymətləri olan liqvistik termlər üzrə mənsubiyyət funksiyalarıdır.

Üçüncü fəsildə birinci tərtib izotermik kimyəvi reaksiyanın qeyri-səlis riyazi modelinə və izotermik reaksiyanın sürət sabitinin təyini üçün qeyri-səlis modelin yaradılması məsələsinə baxılır. Burada məqsəd qeyri-səlis model əsasında sürət sabitini müəyyən etmək və bu model üzrə test aparılmaqla əldə edilən nəticəni, yəni sürət sabitinin qiymətini differensial tənliklə ifadə olunan izotermik kimyəvi reaksiyanın davranışında təhlil etməkdir.

Elmi ədəbiyyatlarda mövcud olan verilənlərdən istifadə ilə

¹ Alev R.A., Alev R.R. Soft Computing and its Applications. World Scientific, – 2001, – 444 p.

parçalanan maddənin qatılığı və sürət sabiti arasındakı münasibəti ifadə edən linqvistik modelin qurulması prosesi aşağıda verilmişdir. İzotermik reaksiya üçün parçalanan maddənin qatılığı və reaksiyanın sürət sabiti arasındakı asılılıq haqqında məlumatların fraqmenti cədvəl 1-də verilmişdir.

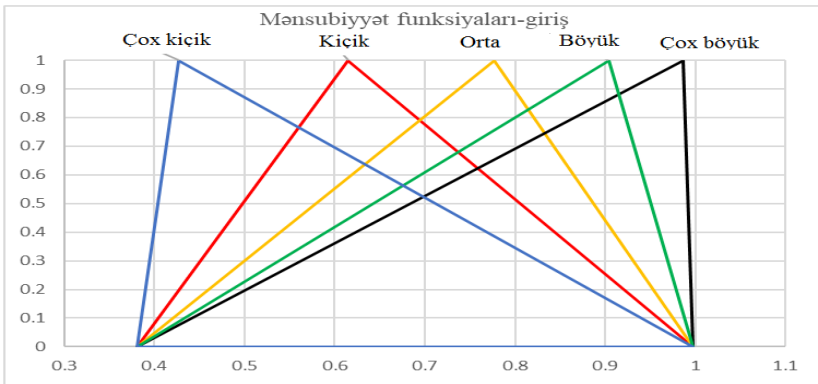
Çoxsaylı verilənlərdən qeyri-səlis Əgər-Onda tip bilik modeli almaq üçün klasterizasiya üsulundan, daha doğrusu FCM üsulundan istifadə olunmuşdur. Bunun üçün alınacaq modelin girişi (maddənin parçalanan qatılığı) və çıxış (reaksiyanın sürət sabiti) dəyişənləri qranul şəklində linqvistik təsvir olunmalıdır.

Cədvəl 1.

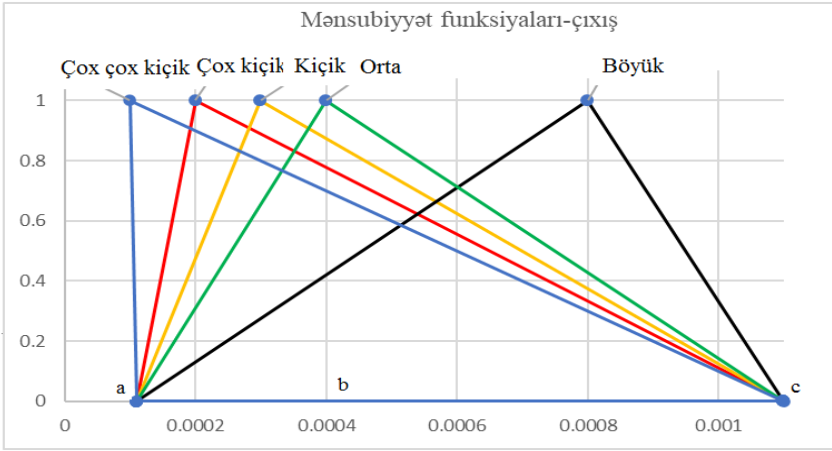
Parçalanan maddənin qatılığı və reaksiyanın sürət sabiti

Verilənlər	maddənin parçalanan qatılığı	Reaksiyanın sürət sabiti
1	0,381217	8,33E-05
2	0,472708	0,000111
3	0,550671	0,000139
...
34	0,996849	0,001
37	0,99805	0,001083
38	0,998338	0,001111
...

Qeyri-səlis modelin dəyişənlərinin linqvistik təsviri “code book” kimi 1 və 2 şəkillərində verilmişdir.



Şəkil 1. Maddənin parçalanan qatılığı üçün mənsubiyyət funksiyalarının qrafiki təsviri



Şəkil 2. Reaksiyanın sürət sabiti üçün mənsubiyyət funksiyalarının qrafiki təsviri

Modelin giriş və çıxış linqvistik dəyişənlərini təsvir edən üçbucaq şəkilli qeyri-səlis ədədlərin qiymətləri Cədvəl 2-də verilmişdir.

Matlab mühitində FCM algoritmi istifadə edilərək Cədvəl 1-də əks olunan verilənlər əsasında klasterləşmə prosesi aparılmışdır.

Cədvəl 2.

Giriş və çıxış dəyişənlərinin linqvistik qiymətləri üçün qeyri-səlis ədədlər

maddənin parçalanma qatılığı	Qeyri-səlis ədəd $Tr(a,b,c)$	Sürət sabiti	Qeyri-səlis ədəd $Tr(a,b,c)$
Çox kiçik	(0.3812,0.427,0.998)	Çox çox kiçik	(0.00011,0.0001,0.0011)
Kiçik	(0.3812,0.6152,0.998)	Çox kiçik	(0.00011,0.0002,0.0011)
Orta	(0.3812,0.7768,0.998)	Kiçik	(0.00011,0.0003,0.0011)
Böyük	(0.3812,0.9036,0.998)	Orta	(0.00011,0.0004,0.0011)
Çox böyük	(0.3812,0.9867,0.998)	Böyük	(0.00011,0.0008,0.0011)

Qaydaların giriş və çıxışları üçbucaq şəkilli $Tr(a,b,c)$ qeyri-səlis ədədlə təsvir olunub.

$$Tr((a, b, c), x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x < b \\ 1; & x = b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b < x \leq c \end{cases}$$

burada a, b, c üçbucağın parametrləridir.

Kompüter simulyasiyası üçün klasterlərin sayı- 5, iterasiyaların sayı -1000, fazzifikasiya eksponenti 2, yol verilən xəta 0.000001 seçilmişdir. Klasterlərin mərkəzləri Cədvəl 3-də, ilkin verilənlərin klasterlərə daxil olmasının mənsubluq qiymətləri Cədvəl 4-də verilmişdir.

Cədvəl 3.

Klasterlərin mərkəzləri

0.6152	0.0002
0.7768	0.0003
0.9867	0.0008
0.9036	0.0004
0.4271	0.0001

Cədvəl 4.

Verilənlərin klasterlər üzrə mənsubiyyət qiymətlərinin fraqmenti

Klaster 1	Klaster 2	Klaster 3	Klaster 4	Klaster 5
0.0361	0.0126	0.0054	0.0072	0.9387
0.0897	0.0197	0.0069	0.0098	0.8739
0.6761	0.2183	0.0237	0.0438	0.0381
0.1839	0.6985	0.0299	0.0636	0.0241
0.0084	0.9771	0.0037	0.0093	0.0016

0.0007	0.0021	0.9853	0.0116	0.0003
0.0008	0.0023	0.9841	0.0125	0.0003
0.0008	0.0024	0.9830	0.0134	0.0004

FCM klasterizasiyası əsasında alınan qeyri-səlis model 5 qayda,

bir giriş və bir çıxışdan ibarətdir:

ƏGƏR maddənin parçalanan qatılığı kiçikdirsə, ONDA sürət sabiti çox kiçikdir;

ƏGƏR maddənin parçalanan qatılığı ortadırsa, ONDA sürət sabiti kiçikdir;

ƏGƏR maddənin parçalanan qatılığı çox böyükdürsə, ONDA sürət sabiti böyükdür;

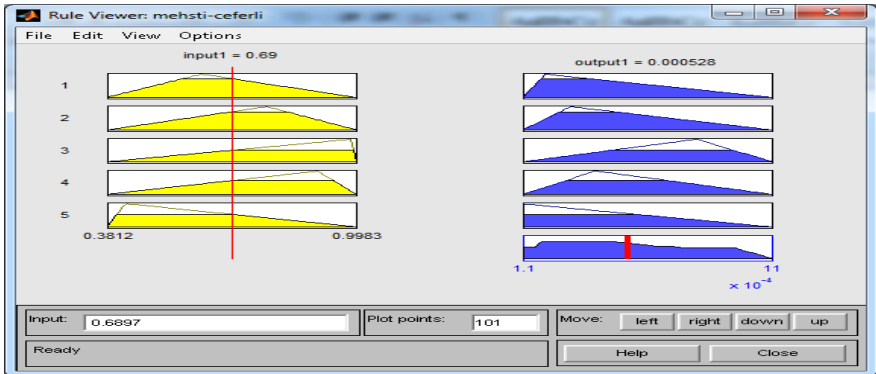
ƏGƏR maddənin parçalanan qatılığı böyükdürsə, ONDA sürət sabiti ortadır;

ƏGƏR maddənin parçalanan qatılığı çox kiçikdirsə, ONDA sürət sabiti çox-çox kiçikdir;

Klasterləşmədən alınan qeyri-səlis modeldə qaydaların sayı və giriş və çıxışların sayı istənilən sayda ola bilər. Bu parametrlər elə olmalıdır ki, alınan qeyri-səlis modelin keyfiyyəti optimala yaxın olsun. Bu fəsilə o məsələyə də baxılır.

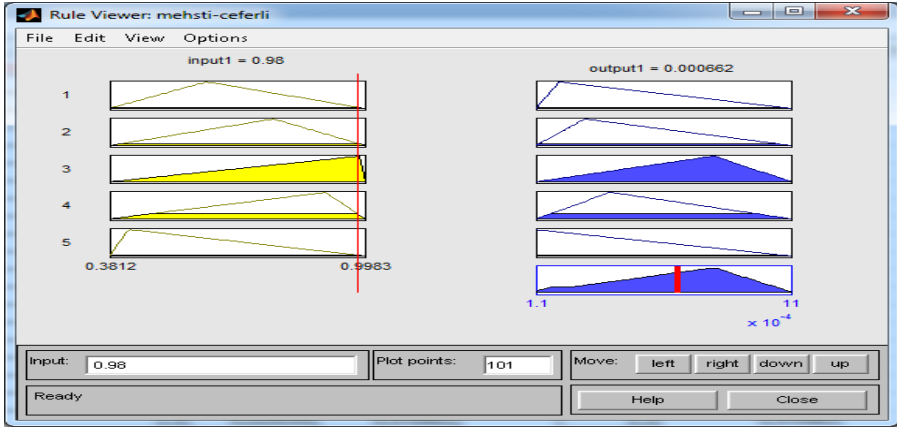
Modelin işləkliyini və effektivliyini yoxlamaq üçün çoxlu sayda testlər simulyasiya edilmişdir. Əgər qeyri-səlis modelin girişindəki dəyişənlərin səlis və ya qeyri-səlis qiymətləri verilibsə, çıxış dəyişəninin qiymətini tapmaq üçün qeyri-səlis nəticə çıxarma vasitələrindən istifadə olunur. Bizim halda Matlab mühitində olan Mamdani nəticə çıxartma üsulundan istifadə olunur.

Test.1. ƏGƏR maddənin parçalanan qatılığı 0.6897 ONDA sürət sabiti 0.000528(Şəkil 3).



Şəkil 3. Kompüter simulyasiyasının fraqmenti (parçalanan maddənin qatılığı $c=0.6897$ olduqda)

Test 2. ƏGƏR Parçalanan maddənin qatılığı 0.98- dirsə ONDA sürət sabiti 0.000662- yə bərabərdir(Şəkil 4.).



Şəkil 4. Kompüter simulyasiyasının fraqmenti (parçalanan maddənin qatılığı $c=0.98$ olduqda)

İzotermik reaksiyanın sürətinin təyininin qeyri-səlis modelinin keyfiyyəti bir neçə meyarla xarakterizə olunur.

Modelin optimala yaxın keyfiyyəti parametrlər arasındakı kompromis seçimlə müəyyənləşir və çoxmeyarlı riyazi seçim məsələsinin həllini tələb edir.

Qeyri-səlis model üçün “Coverage-əhatəetmə”, “Transparency-şəffaflıq”, “Spesifity-spesifiklik” indeksləri keyfiyyət meyarları kimi seçilmişdir.

İlk öncə qurulan qeyri-səlis qaydalar bazası üçün “əhatəetmə” indeksinin tapılmasına baxılır.

“Əhatəetmə” indeksi klasterizasiyadan tapılmış qaydanın verilənlərin dəyişmə intervallarını nə dərəcədə əhatə etdiyini ifadə edir. “Əhatəetmə” indeksi qaydaların giriş hissəsi üçün hesablanır.

Bu halda $[0.3812 - 0.998]$ intervalından müəyyən sayda nöqtə götürülür və hər bir qaydanın nöqtələr üzrə mənsubiyyət dərəcələri tapılır. Hər bir qaydanın mənsubiyyət dərəcəsinin qiyməti düsturun köməyi ilə təyin edilir.

Əgər p_i mənsubiyyət funskiyaları $\{\mu_i^{(1)}, \dots, \mu_i^{(p_i)}\}$ şəklində olan i -ci giriş dəyişəninin domenidirsə, onda əhatəetmə cov_i meyarı

aşağıdakı kimi hesablanılır:

$$\text{cov}_i = \frac{\int x_i \tilde{h}_i(x) dx}{N_i} \quad (2)$$

$$\text{burada } \tilde{h}_i(x) = \begin{cases} h_i(x), 0 < h_i(x) < 1 \\ \frac{p_i - h_i(x)}{p_i - 1}, \text{ qalan hallarda} \end{cases} \quad \text{və } h_i(x) = \sum_{k=1}^{p_i} \mu_i^k(x)$$

burada, h_i – i -ci giriş dəyişəninə $N_i = \int_{X_i} dx$ ardıcıl domeni üçün

olan cəmidir.

Əhatətmə əmsalı aşağıdakı düsturun köməyi ilə normallaşdırılır.

$$\overline{\text{cov}} = \sum_{i=1}^r \text{cov}_i / n_i$$

burada n_i -baxılan nöqtələrin sayını, r - qaydaların sayı, cov_i -hər bir qaydanın giriş dəyişənləri üçün hesablanmış əhatətmə əmsalındır.

Beləliklə, bizim halda 5 qaydanın girişi üzrə əhatətmə əmsalı:

$$\overline{\text{cov}} = 0.545247117.$$

“Şəffaflıq” əmsalı qaydalar bazasının istifadəçi üçün nə dərəcədə anlaşılqı, başa düşülən olmasını müəyyən edir. “Şəffaflıq” əmsalının tapılması üçün ən çox istifadə olunan üsullardan biri də “Nauck indeks”-inin tapılmasıdır. “Nauck indeksi” komplekslik (complexity), əhatəlilik (əhatətmə) və qranulyasiya (partition) əmsallarının hasilinə bərabərdir. “Naucks indeksi” aşağıdakı düsturun köməyi ilə tapılır.

$$\text{Nauck index} = \overline{\text{comp}} \times \overline{\text{cov}} \times \overline{\text{part}}$$

“Komplekslik” əmsalı qaydaların çıxış dəyişənlərinin mənsubiyyət funksiyalarının sayının (m) giriş dəyişənlərinin sayına (n) nisbəti ilə ölçülür. Belə ki bizdə qaydaların çıxışında 5 fərqli mənsubiyyət funksiyası vardır. Giriş dəyişənlərinin sayı isə hər bir qayda üçün 1 olaraq götürülür.

$$\text{comp} = m / \sum_{i=1}^r n_i = \frac{5}{5} = 1,$$

burada, m - çıxış dəyişənlərinin sayı, r - qaydaların sayı, n_i - i -ci qaydada istifadə olunan giriş dəyişənlərinin sayıdır.

Qranulyasiya indeksi hər bir giriş dəyişəni üçün mənsubiyyət funksiyalarının sayını 1 vahid azaldaraq inversinin tapılması ilə əldə olunur.

$$part_i = \frac{1}{p_i - 1}$$

$$\overline{part} = \sum_{i=1}^r \frac{part_i}{n_i}$$

burada, p_i - hər bir giriş dəyişəni üçün linqvistik terminlərin ümumi sayı, \overline{part} – bütün giriş dəyişənləri üçün orta normallaşdırılmış qranulyasiya indeksidir.

Bizim baxdığımız halda

$$\overline{part} = 0.25$$

Beləliklə, Nauck indeksinin qiyməti aşağıdakı kimi olacaqdır.

$$Nauck\ index = comp \times cov \times \overline{part} = 1 \times 0.545247117 \times 0.25 = 0.136311779$$

“Spesifiklik” əmsalı aşağıdakı kimi tapılır .

$$Sp(A) = \int_0^{hgt(A)} \frac{1}{|A^\mu|} d\mu$$

5 qaydanın girişi üzrə spesifiklik əmsalı bu şəkildə dəyərləndirilir:

$$Sp(A) = 0.491760052735662 \text{ s}$$

Ümumi nəticə aşağıdakı kimidir:

komplekslik:1; əhatəlilik:0,545247117; Spesifiklik:0,491760053; qranulyasiya :0,25; Nauck index:0,136311779.

Bu göstəricilər qeyri-səlis modelləri təhlil etməyə və onun yararlılığı haqqında fikir yürütməyə imkan verir.

Burada izotermik kimyəvi reaksiyanın sürətinin təyininin qeyri-səlis modelinin təhlili aparılmışdır. Modelin komplekslik, əhatətmə dərəcəsi, dəqiqlik və şəffaflyq xüsusiyyətlərini ifadə edən göstəricilərin qiymətləri təyin edilmişdir. Təklif olunan yanaşma qeyri-səlis modelləşmə ilə məşğul olan tədqiqatçılara modellərini

analiz etmək və modelləşdirmə prosesindəki xətalara düzəltmək imkanını verir. Məsələn, qeyri-səlis modelləşdirmədə nəticə mənsubiyyət funksiyasının sayı, seçilən implikasiya və məntiqi nəticə çıxarış üsulundan və yuxarıda göstərilən indekslərdən asılı olduğuna görə bu mərhələlərdə seçimdə dəyişiklik etməklə yüksək keyfiyyətli model əldə etmək olar.

Bu fəsildə eyni zamanda izotermik kimyəvi reaksiyanın ƏGƏR-ONDA tip qeyri-səlis model əsasında tapılmış sürət əmsalında reaksiyanın dinamika məsələsinə baxılmışdır. Baxılan reaksiyanın davranışı qeyri-səlis differensial tənliklə ifadə olunur.

Tutaq ki, izotermik $A \rightarrow B$ reaksiyası aşağıdakı diferensial tənliklə ifadə olunur:

$$y''(s) = -Ny'(s) + RNy(s) - RN \quad (3)$$

$$N = \frac{\mathcal{G}L}{E_a}, \quad R = \frac{kL}{\mathcal{G}}$$

şəklində ifadə etmək olar.

burada E_a - effektiv diffuziya əmsalı, k - reaksiyanın sürət sabiti, L - reaktorda borunun uzunluğu, \mathcal{G} qatışıqın reaksiyaya girmə sürətidir.

Bu tənlikdə

$$y = \frac{C_A}{C_{A0}}, \quad z = \frac{x}{L}, \quad N = \frac{\mathcal{G}L}{E_a}, \quad R = \frac{kL}{\mathcal{G}}$$

Başlanğıc şərtlər $y(0)=0, y'(0)=0$ kimidir.

Əvvəlcə müəyyənlik üçün fərz edirik ki, $N = 1$ və $R = 1$. Onda (3) tənliyi

$$y''(s) = -y'(s) + y(s) - 1$$

şəklində düşər.

Başlanğıc şərtlərdəki qeyri-müəyyənlik nəzərə alınarsa,

$$y(0) = \tilde{0}, \quad y'(0) = \tilde{0}$$

qeyri-səlis başlanğıc şərtlərə müvafiq

$$y''(s) = -y'(s) + y(s) - 1$$

qeyri-səlis diferensial tənliyi alınar.

Burada $y(s) \in E^1$ və E^1 R həqiqi ədədlər çoxluğunun qeyri səlis altçoxluğu, $\tilde{0}$ isə qeyri-səlis sıfırdır.

Bunları nəzərə alsaq aşağıdakı qeyri-səlis başlanğıc şərt məsələsini alarıq.

$$y''(s) = -y'(s) + y(s) - 1$$

$$y(0) = \tilde{0}, \quad y'(0) = \tilde{0} \quad (4)$$

(4) məsələsini α -kəsiklərlə aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$y''(s, \alpha) = -y'(s, \alpha) + y(s, \alpha) - 1$$

$$y(0) = (0, \alpha) \quad y'(0) = (0, \alpha)$$

Bu tənlik α -kəsiyi müvafiq intervalla təsvir etməklə

$$[y_l''(s, \alpha), y_r''(s, \alpha)] = [y_l'(s, \alpha), y_r'(s, \alpha)] - [y_l'(s, \alpha), y_r'(s, \alpha)] - 1 \text{ ş}$$

əklində interval diferensial tənliyə gətirilir.

Beləliklə, sol və sağ sərhədlərə nəzərən

$$y_l''(s, \alpha) = y_l(s, \alpha) - y_l'(s, \alpha) - 1 \quad (5)$$

$$y_r''(s, \alpha) = y_r(s, \alpha) - y_r'(s, \alpha) - 1 \quad (6)$$

tənlikləri alınar.

Əgər $y_l(s, \alpha) = x_1$ və $y_l'(s, \alpha) = x_2$ əvəzləmələrini etsək, onda (5) tənliyi

$$\dot{x}_1 = x_2,$$

$$\dot{x}_2 = x_1 - x_2 - 1 \quad (7)$$

sisteminə gətirilər.

$$A_l = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}, \quad X_l = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}, \quad \dot{X}_l = \begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix}, \quad U_l = \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \end{pmatrix}$$

əvəzləmələri etməklə (6) sisteminin matris təsviri aşağıdakı kimi olar:

$$\dot{X}_l = A_l * X_l + U_l.$$

Müvafiq başlanğıc şərt isə

$$X_{0l} = \begin{pmatrix} -0.53 \\ 1.5 \end{pmatrix}$$

olar.

Əgər $y_r(s, \alpha) = x_3$ və $y_r'(s, \alpha) = x_4$ əvəzləmələrini etsək, onda (6) tənliyi

$$\dot{x}_3 = x_4,$$

$$\dot{x}_4 = x_3 - x_4 - 1$$

sisteminə gətirilər.

$$A_r = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}, X_r = \begin{pmatrix} x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}, \dot{X}_r = \begin{pmatrix} \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{pmatrix}, U_r = \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \end{pmatrix},$$

əvəzləmələri etməklə (6) sisteminin matris təsviri aşağıdakı kimi olar:

$$\dot{X}_r = A_r * X_r + U_r.$$

Müvafiq başlanğıc şərt isə

$$X_{0r} = \begin{pmatrix} 0.53 \\ -0.2 \end{pmatrix}$$

olar.

Qeyri-səlis diferensial tənliyi həll etmək üçün α -kəşik yanaşmasından istifadə olunmuşdur.

Sürət sabitindən asılı olaraq reaksiyanın davranışına fəsil 4-də baxılır.

Dördüncü fəsildə izotermik kimyəvi reaksiyaların qeyri-səlis dayanıqlığının tədqiqi məsələlərinə baxılmış, birinci tərtib izotermal reaksiyanın qeyri-səlis dayanıqlığının analizi aparılmışdır.

Fəsil 3-də verilən qeyri-səlis diferensial tənliklə ifadə olunan reaksiyanın dayanıqlığını yoxladıqda sürət sabitinin qeyri-səlis model əsasında alınan qiymətlərindən istifadə edilir.

Fəsil 3-də verilən qeyri-səlis diferensial tənliklə ifadə olunan reaksiyanın dayanıqlığını yoxlamaq üçün α -kəşik üsulundan və dayanıqlıq şərtindən istifadə edilib.

Qeyri-səlis diferensial tənlik üçün başlanğıc şərt məsələsi

$$\dot{x} = f(t, x),$$

$$x(t_0) = y_0 \in E^n, t \geq t_0, t_0 \in R_+ \quad (8)$$

ilə ifadə olunur, f funksiyası $R_+ \times E^n$ oblastında təyin edilmiş, kəsilməz və kəsilməz diferensiallanan funksiyadır, yəni $f \in C^1[R_+ \times E^n, E^n]$. Burada, E^n R^n -in qeyri-səlis altfəzası, R isə həqiqi ədəd oxudur.

Əgər f x -ə nəzərən $\frac{\partial f}{\partial x}$ kəsilməz xüsusi törəməyə malik olarsa,

onda Zadə-Əliyev dayanıqlıq meyarını aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

(8) sisteminin $x(t, t_0, y_0)$ həlli o zaman $x(t, t_0, x_0)$ həllinə nəzərən Lipsits mənadı qeyri-səlis dayanıqlı olar ki, (6) sisteminin ixtiyari bir $x(t, t_0, x_0)$, $t \geq t_0$ həlli və $M = M(t_0) > 0$ üçün

$$\|x(t, t_0, y_0) - x(t, t_0, x_0)\|_{FH} \leq M(t_0) \|y_0 - x_0\|_{FH} \quad (9)$$

ödənsin.

Burada $-_h$ qeyri-səlis ədədlərin Hukuhara fərqi, $\|\cdot\|_{FH}$ isə E^n fəzasında qeyri-səlis Haustorf normasıdır.

$\frac{\partial f}{\partial x}$ törəməsi $R_+ \times E^n$ fəzasında kəsilməz olduqda

$$F(t, t_0, \tilde{x}_0) = \frac{\partial x(t, t_0, \tilde{x}_0)}{\partial x_0} \text{ fundamental həllər matrisi məhdud olur.}$$

Bu halda (8) sisteminin $x(t, t_0, y_0)$ həlli (9) şərtini ödəyir.

Fundamental həllər matrisinin α -kəsiyi $F^\alpha = [F_l^\alpha, F_r^\alpha]$ şəklindədir. $\alpha=0$ olduqda $F^\alpha = [F_l, R_r]$ kimi işarə edilib.

Baxılan sistemin üçün $F^\alpha = [F_l, R_r]$ aşağıdakı kimi təyin edilmişdir:

$$Fl = \text{MatrixExp}[Al * t] =$$

$$\left\{ \left\{ \frac{1}{10} (5e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})t} - \sqrt{5}e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})t} + 5e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})t} + \sqrt{5}e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})t}), \right. \right.$$

$$\left. \left. - \frac{e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})t} - e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})t}}{\sqrt{5}} \right\}, \left\{ - \frac{e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})t} - e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})t}}{\sqrt{5}}, \right. \right.$$

$$\left. \left. \frac{1}{10} (5e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})t} + \sqrt{5}e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})t} + 5e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})t} - \sqrt{5}e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})t}) \right\} \right\}$$

$$Fr = \text{MatrixExp}[Ar * t] =$$

$$\left\{ \left\{ \frac{1}{10} (5e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})t} - \sqrt{5}e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})t} + 5e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})t} + \sqrt{5}e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})t}), \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})t} - e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})t}}{\sqrt{5}} \right\}, \left\{ -\frac{e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})t} - e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})t}}{\sqrt{5}}, \right. \right. \\ \left. \left. \frac{1}{10} (5e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})t} + \sqrt{5}e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})t} + 5e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})t} - \sqrt{5}e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})t}) \right\} \right\}$$

Fls=MatrixExp[Al*s]/.s->t-s

$$\left\{ \left\{ \frac{1}{10} (5e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})(-s+t)} - \sqrt{5}e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})(-s+t)} + 5e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})(-s+t)} + \sqrt{5}e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})(-s+t)}), \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})(-s+t)} - e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})(-s+t)}}{\sqrt{5}} \right\}, \left\{ -\frac{e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})(-s+t)} - e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})(-s+t)}}{\sqrt{5}}, \right. \right. \\ \left. \left. \frac{1}{10} (5e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})(-s+t)} + \sqrt{5}e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})(-s+t)} + 5e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})(-s+t)} - \sqrt{5}e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})(-s+t)}) \right\} \right\}$$

Frs=MatrixExp[Ar*s]/.s->t-s

$$\left\{ \left\{ \frac{1}{10} (5e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})(-s+t)} - \sqrt{5}e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})(-s+t)} + 5e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})(-s+t)} + \sqrt{5}e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})(-s+t)}), \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})(-s+t)} - e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})(-s+t)}}{\sqrt{5}} \right\}, \left\{ -\frac{e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})(-s+t)} - e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})(-s+t)}}{\sqrt{5}}, \right. \right. \\ \left. \left. \frac{1}{10} (5e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})(-s+t)} + \sqrt{5}e^{\frac{1}{2}(-1-\sqrt{5})(-s+t)} + 5e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})(-s+t)} - \sqrt{5}e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})(-s+t)}) \right\} \right\}$$

Sl=Fl.X0l+Integrate[Fls.Ul, {s,0,t}] =

$$= \left\{ \left\{ 1. - 0.4362980073075309e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})t} - 1.0937019926924691e^{-\frac{1}{2}(1+\sqrt{5})t}, \right. \right. \\ \left. \left\{ e^{-\frac{1}{2}(1+\sqrt{5})t} (1.769646997739904 - 0.26964699773990397e^{\sqrt{5}t}) \right\} \right\}$$

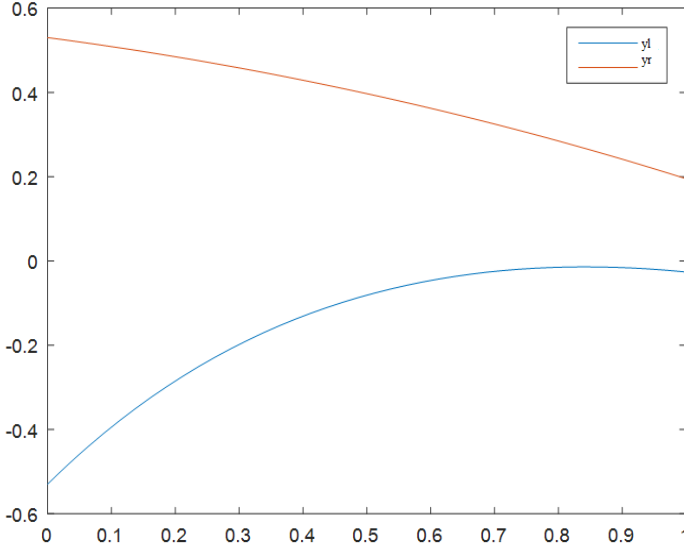
Sr=Fr.X0r+Integrate[Frs.Ur, {s,0,t}] =

$$= \left\{ \left\{ 0.9999999999999999 - 0.42953791404248176e^{\frac{1}{2}(-1+\sqrt{5})t} - \right. \right.$$

$$-0.040462085957518296e^{-\frac{1}{2}(1+\sqrt{5})t},$$

$$\{e^{-\frac{1}{2}(1+\sqrt{5})t} (0.06546903033498441 - 0.2654690303349845e^{\sqrt{5}t})\}$$

$S^\alpha = [S_l, S_r]$ qeyri-səlis bağlanğıc şərt məsələsinin həllinin α -kəsik vasitəsilə təsviridir. Onda həllin qrafiki təsviri şəkil 5-dəki kimi olar.



Şəkil 5. Qeyri-səlis diferensial tənliklə yazılan reaksiyanın dinamikası

Bu halda həll Lipşits mənadada dayanıqlıdır.

Misal. Dayanıqsız hal. (3) tənliyində N və R parametrlərini aşağıdakı kimi dəyişək, $R_l = 0.5$, $R_r = 1.5$, $N_l = 0.5$, $N_r = 1.5$.

$$A_l = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ R_l * N_l & -N_l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0.25 & -0.5 \end{pmatrix},$$

$$X_l = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}, \quad \dot{X}_l = \begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix}, \quad U_l = \begin{pmatrix} 0 \\ -R_l * N_l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -0.25 \end{pmatrix},$$

$$\dot{X}_l = A_l * X_l + U_l$$

$$X0l = \begin{pmatrix} -0.53 \\ 1.5 \end{pmatrix};$$

olar.

$$Ar = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ Rr * Nr & -Nr \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 2.25 & -1.5 \end{pmatrix}, X_r = \begin{pmatrix} x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}, \dot{X}_r = \begin{pmatrix} \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{pmatrix},$$

$$Ur = \begin{pmatrix} 0 \\ -Rr * Nr \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -2.25 \end{pmatrix},$$

$$\dot{X}_r = A_r * X_r + U_r,$$

$$X0r = \begin{pmatrix} 0.53 \\ -0.2 \end{pmatrix} \text{ alarıq.}$$

Fundamental həllər matrisi aşağıdakı kimi olur:

$$Fl = MatrixExp[Al*t] =$$

$$\begin{aligned} & \{ \{-0.777437524821136(0.-0.3555182164812668e^{-0.8090169943749475t}) + \\ & 0.9554225632202383(0.+0.757368369074649e^{0.3090169943749475t}), \\ & -0.777437524821136(0.+1.1504811157728663e^{-0.8090169943749475t}) + \\ & 0.9554225632202383(0.+0.9361587484235894e^{0.3090169943749475t}) \}, \\ & \{0.628960169645094(0.-0.3555182164812668e^{-0.8090169943749475t}) + \\ & 0.29524180884432627(0.+0.757368369074649e^{0.3090169943749475t}), \\ & 0.628960169645094(0.+1.1504811157728663e^{-0.8090169943749475t}) + \\ & 0.29524180884432627(0.+0.9361587484235894e^{0.3090169943749475t}) \} \} \end{aligned}$$

$$Fr = MatrixExp[Ar*t] =$$

$$\begin{aligned} & \{ \{-0.38095372233513364(0.-0.7255296012224595e^{-2.4270509831248424t}) + \\ & 0.7333492283402898(0.+0.986715155325983e^{0.9270509831248424t}), \\ & -0.38095372233513364(0.+0.782621036414731e^{-2.4270509831248424t}) + \\ & 0.7333492283402898(0.+0.40654900213739287e^{0.9270509831248424t}) \}, \\ & \{0.9245941063185542(0.-0.7255296012224595e^{-2.4270509831248424t}) + \\ & 0.6798521231067103(0.+0.986715155325983e^{0.9270509831248424t}), \\ & 0.9245941063185542(0.+0.782621036414731e^{-2.4270509831248424t}) + \\ & 0.6798521231067103(0.+0.40654900213739287e^{0.9270509831248424t}) \} \} \end{aligned}$$

$$Fls = MatrixExp[Al*s]/.s \rightarrow t-s$$

$$\begin{aligned} & \{ \{-0.777437524821136(0.-0.3555182164812668e^{-0.8090169943749475(-s+t)}) + \\ & 0.9554225632202383(0.+0.757368369074649e^{0.3090169943749475(-s+t)}), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -0.777437524821136(0.+1.1504811157728663e^{-0.8090169943749475(-s+t)}) + \\
& 0.9554225632202383(0.+0.9361587484235894e^{0.30901699437494745(-s+t)}), \\
& \{0.628960169645094(0.-0.3555182164812668e^{-0.8090169943749475(-s+t)}) + \\
& 0.29524180884432627(0.+0.7573683369074649e^{0.30901699437494745(-s+t)}), \\
& 0.628960169645094(0.+1.1504811157728663e^{-0.8090169943749475(-s+t)}) + \\
& 0.29524180884432627(0.+0.9361587484235894e^{0.30901699437494745(-s+t)})\}
\end{aligned}$$

$$Frs = MatrixExp[Ar*s_j] /.s \rightarrow t-s$$

$$\begin{aligned}
& \{-0.38095372233513364(0.-0.7255296012224595e^{-2.4270509831248424(-s+t)}) + \\
& 0.7333492283402898(0.+0.986715155325983e^{0.9270509831248424(-s+t)}), \\
& -0.38095372233513364(0.+0.782621036414731e^{-2.4270509831248424(-s+t)}) + \\
& 0.7333492283402898(0.+0.40654900213739287e^{0.9270509831248424(-s+t)})\}, \\
& \{0.9245941063185542(0.-0.7255296012224595e^{-2.4270509831248424(-s+t)}) + \\
& 0.6798521231067103(0.+0.986715155325983e^{0.9270509831248424(-s+t)}), \\
& 0.9245941063185542(0.+0.782621036414731e^{-2.4270509831248424(-s+t)}) + \\
& 0.6798521231067103(0.+0.40654900213739287e^{0.9270509831248424(-s+t)})\}
\end{aligned}$$

$$Sl = Fl.X0l + Integrate[Fls.Ul, \{s, 0, t\} =$$

$$\begin{aligned}
& \{ \{1.-1.7645223859424062e^{-0.8090169943749475t} + \\
& 0.23452238594240615e^{0.30901699437494745t}\}, \\
& \{5.551115123125782 \times 10^{-17} + 1.4275285971824365e^{-0.8090169943749475t} + \\
& 0.07247140281756381e^{0.30901699437494745t}\} \}
\end{aligned}$$

$$Sr = Fr.X0r + Integrate[Frs.Ul, \{s, 0, t\} =$$

$$\begin{aligned}
& \{ \{0.9999999999999997-0.07027632565751546e^{-2.4270509831248424t} - \\
& 0.39997236743424843e^{0.9270509831248424t}\}, \\
& \{1.110223024625156 \times 10^{-16} + 0.17056422527747434e^{-2.4270509831248424t} - \\
& 0.3705642252774744e^{0.9270509831248424t}\} \}
\end{aligned}$$

alarıq.

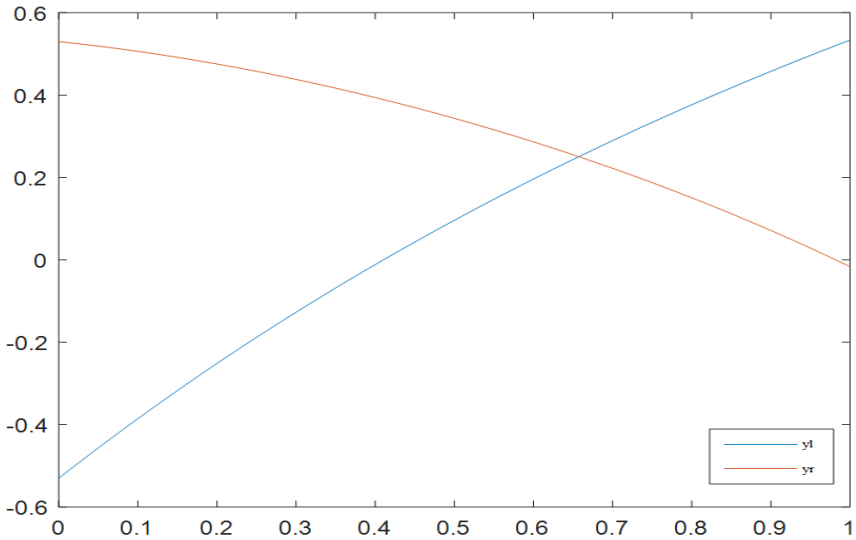
Bu da sistemin vəziyyətinin dayanıqsız olduğunu göstərir. Onda tənliyin həll qrafikindən görüldüyü kimi reaksiya dayanıqsızdır.

Dayanıqsızlıq sərhədlərinin nöqtələrlə qiymətləri Əlavədə verilmişdir.

Şəkil 6-da izotermik reaksiyanın davranışının dayanıqsız dinamikası verilib.

k-nın müxtəlif qiymətlərində həssaslıq təhlili yoxlanılmışdır (Nəticələr əlavələrdə verilib).

Diferensial tənliyin həllərinin digər fraqmentləri və ya reaksiyanın davranış qiymətləri Əlavələrdə verilmişdir.



Şəkil 6. Reaksiyanın dayanıqsız davranışı

Bəşinci fəsildə izotermik kimyəvi reaksiyaların qeyri-səlis modellərinin kompüter simulyasiyası vasitəsilə eksperimental tədqiqinə baxılmışdır. Burada hidrogen-peroksidin parçalanma reaksiyası, propilen və benzol arasında alkiləşmə reaksiyasının qeyri-səlis modelinin analizi və kompüter simulyasiyası əsasında eksperimental tədqiqin nəticələri verilib.

Hidrogen-peroksidin parçalanma reaksiyası əsasında sürət sabitininin müəyyən edilməsi məsələsinə baxaq. Bu məqsədlə hidrogen peroksidin parçalanma reaksiyası 550 saniyə üçün modelləşdirilmişdir.

Bu məsələnin həlli üçün ilkin verilənlər olaraq aşağıdakılardan istifadə olunmuşdur.

$$k = [6.1, 6.9] \cdot 10^{-5} \cdot s^{-1}$$

$$\Delta = \frac{[H_2O_2]_{t=550s}}{[H_2O_2]_0} = e^{-kt}$$

Δ -550 saniyə ərzində parçalanmayan hidrogen peroksidin miqdarının onun başlanğıc andakı miqdarına nisbətini ifadə edir.

$\delta = (100 - \Delta)\%$ 550 saniyə ərzində hidrogen-peroksidin parçalanma faizinin ifadəsidir.

Bu göstərici ilə sürət sabiti arasında asılılıqlar kompüter simulyasiyası ilə əldə edilmişdir. Fraqment Cədvəl 5-də verilib.

Cədvəl 5

Δ və k arasında asılılıqların fraqmenti

İterasiyalar		Delta(%)	$k(10^{-5}s^{-1})$
1		3,299344	6,1
2		3,315298	6,13
3		3,33125	6,16
...
29		3,745071	6,94
30		3,760951	6,97

FCM klasterizasiya üsulundan istifadə ilə fraqmenti yuxarıda verilən ilkin verilənlərdən klasterlər alınmış və hidrogen peroksidin parçalanma faizi və k sürət sabiti arasında münasibəti ifadə edən qeyri-səlis model qurulmuşdur. Bu məqsədlə yaradılan code book Cədvəl 6-də verilmişdir.

Cədvəl 6.

Giriş və çıxış dəyişənlərinin linqvistik qiymətləri üçün qeyri-səlis ədədlər

maddənin parçalanan qatılığı	Qeyri-səlis ədəd (a,b,c)* 10^{-5}	Sürət sabiti	Qeyri-səlis ədəd (a,b,c)* 10^{-5}
Təxminən 3.53	(3.30,3.53,3.75)	Təxminən 6.53	(6.12,6.53,6.75)
Təxminən 3.33	(3.30,3.33,3.75)	Təxminən 6.16	(6.12,6.16,6.75)
Təxminən 3.63	(3.30,3.63,3.75)	Təxminən 6.72	(6.12,6.72,6.75)
Təxminən 3.72	(3.30,3.72,3.75)	Təxminən 6.9	(6.12,6.9,6.75)

Qaydaların giriş və çıxışlarını təsvir edən üçbucaq şəkilli $Tr(a,b,c)$ qeyri-səlis ədədi Cədvəl 6-da göstərilmişdir.

Bu verilənlər əsasında tapılan klasterlərin mərkəzləri aşağıdakı kimidir:

Klaster 1=(3.5272; 6.5289*10⁻⁵);

Klaster 2=(3.3336; 6.1645*10⁻⁵);

Klaster 3=(3.6265; 6.7161*10⁻⁵);

Klaster 4=(3.7251; 6.9022*10⁻⁵).

Klasterləşmənin nəticəsindən istifadə edərək aşağıdakı qaydalar bazası qurulmuşdur.

Əgər hidrogen peroksidin parçalanma faizi təxminən 3.53

*ONDA sürət sabiti təxminən 6.53*10⁻⁵-dir;*

Əgər hidrogen peroksidin parçalanma faizi təxminən 3.33

(10)

*ONDA sürət sabiti təxminən 6.16*10⁻⁵-dir;*

Əgər hidrogen peroksidin parçalanma faizi təxminən 3.63

*ONDA sürət sabiti təxminən 6.72*10⁻⁵-dir;*

Əgər hidrogen peroksidin parçalanma faizi təxminən 3.72

*ONDA sürət sabiti təxminən 6.9*10⁻⁵-dir.*

Qaydalar bazası hidrogen peroksidin parçalanma faizi və sürət sabiti arasında münasibəti ifadə edir. Bu matris şəklində ifadə edilə bilər. Bu model üzrə Larsen məntiqi çıxarılış alqoritmindən istifadə edərək hidrogen peroksidin parçalanma reaksiyası təhlil edilmişdir.

Qaydalar üzrə Larsen implikasiyasından istifadə ilə münasibət matrisləri qurulmuşdur (Cədvəl 7). Larsen implikasiyası aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$R_p = A \times B = \int_{X \times Y} \mu_{A(x)} \cdot \mu_{B(y)} / (x, y)$$

Münasibət matrisinin biri aşağıda verilib:

Hər bir qayda üzrə münasibət matrisi qurulmuş və onların əsasında ümumi qeyr-səlis münasibət matrisi müəyyən edilmişdir.

Aqreqasiya operatorundan istifadə ilə alınan ümumi qeyri-səlis münasibət matrisi Cədvəl 8-də göstərilmişdir.

Cədvəl 7

Birinci qayda üzrə qeyri-səlis münasibət matrisi

	0,1	0,4	0,92	1	0,37	0,26	0,2
0	0	0	0	0	0	0	0
0,73	0,073	0,4	0,6716	0,73	0,2701	0,1898	0,146
0,91	0,091	0,4	0,8372	0,91	0,3367	0,2366	0,182
1	0,1	0,4	0,92	1	0,37	0,26	0,2
0,87	0,087	0,4	0,8004	0,87	0,3219	0,2262	0,174
0,08	0,008	0,08	0,0736	0,08	0,0296	0,0208	0,016
0,01	0,001	0,01	0,0092	0,01	0,0037	0,0026	0,002

Cədvəl 8

Ümumi qeyri-səlis münasibət matrisi

0,1	0,0102	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,06
0,2	0,073	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,146
0,34	0,091	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,219
1	0,1	0,67	0,92	1	0,92	0,67	0,3
0,43	0,087	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,219
0,08	0,0108	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
0,02	0,0039	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,0052
Y1	0,1	0,67	0,92	1	0,92	0,67	0,3

Burada Y1 alınan nəticənin mənsubiyyət funksiyasının qiymətlərini ifadə edir. Yeni giriş veriləni əsasında hidrogen peroksidin parçalanma reaksiyasının sürət sabiti məntiqi çıxarış mexanizminin kompüter simulyasiyası ilə əldə edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, əgər hidrogen peroksidin parçalanma faizi təxminən 3.45-dirse, onda sürət sabiti təxminən $6.412 \cdot 10^{-5}$ -dir.

Qurulmuş modeldən[8] bu tip reaksiyaların tədqiqində istifadə oluna bilər.

Propilen və benzol arasında alkiləşmə reaksiyasının qeyri-səlis modelinin yaradılması mərhələlərini nəzərdən keçirək. Bu modeldə əsas idarəedicilərin parametrləri reaksiyanın sürət sabitidir.

Propilen və benzol arasında gedən alkiləşmə reaksiyasının sürət sabitinin təyini C_0, C_1, C_2 -nin faiz nisbətindən asılıdır. Benzol, alkilbenzol və polimerin miqdarı aşağıdakı riyazi ifadələrlə təyin

edilir:

$$C_0 = 100e^{-k_1t}$$

$$C_1 = 100(6.67e^{0.85k_1t} - 6.667e^{-k_1t})$$

$$C_2 = 100(2.075e^{-0.28k_1t} - 9.94e^{-0.85k_1t} + 7.87e^{-k_1t})$$

Reaksiyanın sürət sabitinin propilen-benzolun molyar kütlə nisbətindən asılılığı aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur.

$$m = 4 - 1.125e^{-0.02k_1t} - 1.913e^{-0.285k_1t} - 3.473e^{-0.85k_1t} + 2.110e^{-k_1t}$$

Reaktorun çıxışında məhsulların faiz nisbəti aşağıdakı düsturlar ilə təyin olunur:

$$C_0'(t) = 100e^{-0.0055t}$$

$$C_1'(t) = 100(6.67e^{-0.004675t} - 6.667e^{-0.0055t})$$

$$C_2'(t) = 100(2.071e^{-0.00154t} - 9.941e^{-0.004675t} + 7.87e^{-0.0055t})$$

Yuxarıda verilən tənliklərdən əldə edilən benzol, alkilbenzol və polimer haqqında məlumat əsasında qeyri-səlis modelin qurulması – səlis verilənlərdən biliyin çıxarılması ideyasına əsaslanır.

İlkin verilənlər bazasına 33 yazı (kortej) daxildir. Hər bir yazı benzol (C0), alkilbenzol (C1) və polimer (C2), sürət sabitinin (k) qiymətini ifadə edir(Cədvəl 9).

Cədvəl 9

İlkin verilənlərin fraqmenti

C0	C1	C2	k
99.59979	0.302643535	0.099999812	0.0045
99.59978	0.302737528	0.099999805	0.00466
99.59977	0.30283152	0.099999798	0.00482
99.59964	0.30442939	0.099999685	0.00754
99.59963	0.304523382	0.099999678	0.0077
99.59963	0.304617374	0.099999671	0.00786

Cədvəl 9(davamı)

99.59962	0.304711367	0.099999665	0.00802
...
99.59961	0.304805359	0.099999658	0.00818
99.59959	0.305087336	0.099999638	0.00866
99.59958	0.305181328	0.099999631	0.00882
99.59957	0.305369313	0.099999618	0.00914
99.59956	0.305463305	0.099999611	0.0093
99.59955	0.305580796	0.099999603	0.0095

Bu verilənlərdən istifadə ilə alınmış klasterlər Cədvəl 10-da verilmişdir:

Cədvəl 10

Klasterlərin mərkəzləri

c0	c1	c2	k
99.9996	0.3045	0.1	0.0076
99.9997	0.3041	0.1	0.0069
99.9997	0.3037	0.1	0.0063
99.9997	0.3041	0.1	0.0070
99.9996	0.3044	0.1	0.0074

Qurulan qeeyri -səlis model 5 qaydadan ibarətdir:

ƏGƏR benzolun miqdarı normadırsa və alkilbenzolun miqdarı çox böyükdürsə və polimerin miqdarı ortadırsa, ONDA sürət sabiti böyükdür;

ƏGƏR benzolun miqdarı yüksəkdirsə və alkilbenzolun miqdarı böyükdürsə və polimerin miqdarı ortadırsa, ONDA sürət sabiti kiçikdir;

ƏGƏR benzolun miqdarı yüksəkdirsə və alkilbenzolun miqdarı normadırsa və polimerin miqdarı ortadırsa, ONDA sürət çox kiçikdir;

ƏGƏR benzolun miqdarı yüksəkdirsə və alkilbenzolun miqdarı böyükdürsə və polimerin miqdarı ortadırsa, ONDA sürət sabiti aşağıdır;

ƏGƏR benzolun miqdarı normadırsa və alkilbenzolun miqdarı yüksəkdirsə və polimerin miqdarı ortaya yaxın dırsa, ONDA sürət sabiti ortadır.

Bu modeldə reagentlərlə reaksiyanın sürəti arasındakı münasibəti ifadə etmək üçün aşağıdakı linqvistik termlərdən istifadə olunub, onlar trapesiyaşəkilli qeyri-səlis ədədlərdir:

Çox kiçik və ya A-dan kiçik: (0, I, A – Z, Z) ;

Böyük və ya təxminən A : (Z , A , A , Z);

Çox böyük və ya A-dan böyük: (Z , A + Z , S , 0) ;

*Orta və ya neytral: (Z , I + 2 * Z , I + 3 * Z , Z)*

I və S universumun uyğun olaraq minimum və maksimum qiymətləridir, $Z=(S-I)/5$.

Aşağıda ESPLAN¹ tətbiqi paketindən istifadə ilə alınan nəticə verilib:

Test1. ƏGƏR benzolun miqdarı böyükdürsə və alkilbenzolun miqdarı böyükdürsə və polimerin miqdarı ortadırsa ONDA sürət sabitini təyin etməli.

Nəticə:Sürət sabiti təxminən 0.008-dir.

NƏTİCƏ

Dissertasiyada əldə edilmiş əsas **elmi nəticələr** aşağıdakılardan ibarətdir:

1. İzotermik kimyəvi reaksiya sistemlərinin qeyri-müəyyən şəraitdə riyazi təhlili aparılmışdır.

2. İzotermik reaksiyanın sürət sabitinin təyini üçün ƏGƏR-ONDA tip qeyri-səlis modellər yaradılmışdır.

3. Təklif olunan qeyri-səlis modellərin keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi üçün çoxmeyarlı təhlil aparılmışdır.

4. İlk dəfə izotermik kimyəvi reaksiyaların qeyri-səlis dayanıqlığı tədqiq edilmişdir.

5. Qeyri-müəyyən şəraitdə izotermik kimyəvi reaksiyaların dayanıqlığının yoxlanılması yerinə yetirilmiş və həssaslıq təhlili aparılmışdır.

6. Alınan nəzəri nəticələr iki reaksiyaya tətbiq olunmuşdur.

7. Hidrogen-peroksidin parçalanma reaksiyası qeyri-səlis məntiqdən istifadə ilə tədqiq edilmiş, reaksiyanın sürət sabiti müəyyən edilmişdir.

8. Reaksiyanın sürət sabitini müəyyən etmək üçün alkəlləşmə reaksiyasının qeyri-səlis modeli təklif edilmişdir.

Təklif olunmuş nəzəri üsullar universal xarakter daşıyır, müxtəlif izotermal kimyəvi reaksiyaların təhlilində istifadə oluna bilər.

Dissertasiyanın əsas məzmunu aşağıdakı işlərdə çap edilmişdir:

1. Babanlı, M.M. Molekulyar modelləşdirmədə qeyri-səlis məntiqdən istifadə // Magistrantların XVII elmi konfransı, – Sumqayıt, – 11-12 may, – 2017, – s.261-262.
2. Gardashova, Latafat. Fuzzy Neural Network Based Analysis of the Process of Oil Product Sorption with Foam Polystyrene / Latafat Gardashova, Yunis Gahramanli, Mehseti Babanlı // Int. Journal of Engineering Research and Application, – 2017. Vol. 7, Issue 9, – p.85-90.
3. Babanlı, Mahsati. Fuzzy stability analysis of an isothermal first-order reaction // Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer Nature Switzerland, – 2018. Vol.896, – p.444-450.
4. Jafarli, Mahsati. Evaluation of desirable isothermal reactions rate in uncertain environment // Advances in Intelligent Systems And Computing Series, Springer, – 2019. Vol.1095, – p.366-372.
5. Cəfərli, M.M. İzotermik reaksiyanın sürətinin təyininin qeyri-səlis modeli // Azerbaijan Journal of Chemical News, – 2020. Vol.1, No. 1, – s.85-90.
6. Jafarli, Mahsati. Analysis of a reaction rate based on fuzzy logic //

Advances in Intelligent Systems and Computing Series, Springer, –2020. Vol. 1306, – p. 508-514.

7. Jafarli, M.M. Alkilləşmə reaksiyasının sürət sabitinin təyində qeyri-səlis neyron şəbəkədən istifadə // Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş gənc tədqiqatçı və doktorantların online elmi konfransı, – Bakı, – 7-8 may, – 2020, – s.128-133.
8. Jafarli, M.M., Gardashova, L.A. Using data mining technology for analysis of hydrogen-peroxide decomposition reaction // International Conference on Actual problems of chemical engineering dedicated to the 100th Anniversary of Azerbaijan State Oil and Industry University, – 24-25 december, – 2020, – p.548-553.

Müştərək çap olunmuş işlərdə müəllifin şəxsi rolu:

[2]- məsələnin qoyuluşu və kompüter simulyasiyası

[8]-hidrogen-peroksidin parçalanma reaksiyasının tədqiqi

Dissertasiyanın müdafiəsi “22” iyun 2021-ci il tarixində saat 10⁰⁰-da Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası, akademik Y.H.Məmmədaliyev adına Neft-Kimya Prosesləri İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.17 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Bakı şəhəri, Xocalı prospekti, 30. AZ 1025,

Dissertasiya ilə AMEA akademik Y.H. Məmmədaliyev adına Neft-Kimya Prosesləri İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları www.nkpi.az rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 21 may 2021-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 20.05.2021

Kağızın formatı: A5

Həcm: 36000

Tiraj: 100