

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ
МИНИСТІРЛІГІ

Сәтбаев Университеті

Химиялық және Биологиялық технологиялар институты

«Химиялық және биохимиялық инженерия» кафедрасы

Әжімбаева Гүлназ Қайратқызы

Биореакторларда органикалық қалдықтардың аэробтық ыдырауы кезіндегі
биотехнологиялық процестерді жоспарлау оңтайландыру

ДИПЛОМДЫҚ ЖОБА

5B070100 – Биотехнология мамандығы

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ
МИНИСТІРЛІГІ

Сәтбаев Университеті

Химиялық және Биологиялық технологиялар институты

«Химиялық және биохимиялық инженерия» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

ХжБИ кафедрасы меңгерушісі

Химия ғылымдарының докторы,

доцент

_____ Елигбаева Г.Ж.

«_____» _____ 2020 г.

ДИПЛОМДЫҚ ЖОБА

Тақырыбы: «Биореакторларда органикалық қалдықтардың аэробтық
ыдырауы кезіндегі биотехнологиялық процестерді жоспарлау және
оңтайландыру»

5B070100 – Биотехнология мамандығы бойынша

Орындаған

Әжімбаева. Г.Қ.

Ғылыми жетекшісі

канд. а/ш. ғ. к., доцент,

ассоц. профессор

_____ Джамалова Г.А.

«_____» _____ 2020 г.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ
МИНИСТІРЛІГІ

Сәтбаев Университеті

Химиялық және Биологиялық технологиялар институты

«Химиялық және биохимиялық инженерия» кафедрасы

5B070100 – Биотехнология мамандығы

БЕКІТЕМІН

ХжБИ кафедрасы меңгерушісі
Химия ғылымдарының докторы,
доцент

_____ Елигбаева Г.Ж.

« _____ » _____ 2020 г.

ТАПСЫРМА

дипломдық жобаны орындауға

Білім алушы: Әжімбаева Гүлназ Қаратқызы

Тақырыбы: Биореакторларда органикалық қалдықтардың аэробты ыдырауы кезіндегі биотехнологиялық процестерді жоспарлау және оңтайландыру
Университет ректорының № 1163 – б бұйрығымен бекітілген “16” қазан 2020ж.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі “14” мамыр 2020ж.

Дипломдық жобаға бастапқы деректер

Дипломдық жобада әзірленуге жататын мәселелер тізімі:

а) органикалық қалдықтардың негізі технологиялық қасиеттерін зерттеу бойынша теориялық зерттеулер жүргізу

ә) биореакторларда органикалық қалдықтардың аэробтық ыдырауы кезіндегі алты факторлы экспериментті жоспарлау

б) биореакторларда органикалық қалдықтардың аэробтық ыдырауы кезіндегі алты факторлы экспериментті жоспарлау

Графикалық материалдар тізімі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып) :
жобада 7 слайд ұсынылды.

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер *18 атаудан тұрады.*

КЕСТЕ

Дипломдық жобаны дайындау

Бөлімдер атауы, әзірленетін сұрақтар тізбесі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдер	Ескертпе
1. Әдебиетке шолу «органикалық қалдықтар пайда болу жинақталу ерекшеліктері»	30.03.2020	Орындалды
2.Зерттеу материалы мен әдістемесі	10.04.2020	Орындалды
3.Нәтижелелер мен талқылаулар	03.05.2020	Орындалды

Қолдар

жобаның оларға қатысты бөлімдерін көрсете отырып, консультанттарды және аяқталған дипломдық жобаға нормобақылау

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты жөні оқу дәрежесі атағы	Қол қойылатын күн	Қол
Дипломдық жобаның 1-3 бөлімдері	Г. А. Джамалова канд. а/ш. ғ. к., доцент, ассоц. профессор	25.04.2020	
нормобақылау	Г. А. Джамалова канд. а/ш. ғ. к., доцент, ассоц. Профессор	25.04.2020	

Ғылыми жетекші _____

Джамалова Г.А.

Тапсырманы орындауға қабылдаған білім алушы _____ Әжімбаева Г.Қ.

Күні

«25» сәуір 2020ж.

АННОТАЦИЯ

Дипломдық жұмыс тақырыбы. Биореакторларда органикалық қалдықтардың аэробтық ыдырауы кезіндегі биотехнологиялық процестерді жоспарлау және оңтайландыру.

Түйін сөздер: компостирлеу, органикалық қалдықтар, биохимиялық өңдеу, микроорганизмдер, компост.

Өзектілігі. Урбандалған аумақтарды дамыту өмір сүру сапасын жақсартумен, осы ортаны органикалық қалдықтармен, оның ішінде тамақ қалдықтарымен байытумен тең дәрежеде теңдестіріледі.

Сондықтан органикалық қалдықтарды өңдеудің заманауи биоконверсиялық тәсілдерін өндіріске енгізуге байланысты мәселелер өзекті болып табылады.

Мақсаты. Биореакторларда органикалық қалдықтарды аэробтық ыдырауы кезіндегі биотехнологиялық процестерді жоспарлау және оңтайландыру.

Міндеттер. Органикалық қалдықтарды пайда болу және жинақталу ерекшеліктерін, оларды өңдеу тәсілдерін зерттеу. Биореакторларда органикалық қалдықтардың аэробтық ыдырауы кезіндегі алты факторлы экспериментті жоспарлау. Биореакторларда органикалық қалдықтардың аэробтық ыдырауы кезінде зерттелетін алты тәуелсіз факторларды оңтайландыру.

Алынған нәтижелер. Компостирлеудің оңтайлы режиміне қалдықтардың мөлшері ($X_1 = 2,5$ см), аэрация ($X_2 = 0,6$ м³/кг), ерітудің 14 деңгейінде микроорганизмдердің белсенділігі (X_3), температураның термофильді режимі ($X_4 = 51$ °С), рН ($X_5 = 5,5$), ылғалдылығы ($X_6 = 40$ %), олар кешенде органикалық қалдықтарды компостқа өңдеудің жоғары пайызын қамтамасыз етеді - 35,9 %.

Құрылымы мен көлемі. Дипломдық жұмыс 30 беттен тұрады, кіріспе, әдебиеттерге шолу жасау, зерттеу материалдары мен әдістемесі, зерттеу нәтижелері мен қорытындылар, әдебиеттердің библиографиялық тізімі, 13 сурет, 5 кесте бар. Библиографиялық көрсеткіште 18 дерекнамаға сілтемелер берілген.

АННОТАЦИЯ

Тема дипломной работы. Планирование и оптимизация биотехнологических процессов при аэробном разложении органических отходов в биореакторах.

Ключевые слова: компостирование, органические отходы, биохимическая переработка, микроорганизмы, компост

Актуальность. Развитие урбанизированных территорий отождествляется, наравне с улучшением качества жизни, с обогащением этой среды органическими отходами, в т.ч. и пищевыми отходами.

Поэтому вопросы, связанные с внедрением в производство современных биоконверсионных способов переработки органических отходов, являются актуальными.

Цель. Планирование и оптимизация биотехнологических процессов при аэробном разложении органических отходов в биореакторах.

Задачи. Изучить особенности образования и накопления органических отходов, способы их переработки. Планирование шестифакторного эксперимента при аэробном разложении органических отходов в биореакторах. Оптимизация исследуемых шести независимых факторов при аэробном разложении органических отходов в биореакторах.

Полученные результаты. Оптимальный режим компостирования достигается при размере отходов ($X_1 = 2,5$ см), аэрации ($X_2 = 0,6$ м³/кг), активности микроорганизмов (X_3) на 14 уровне разведения, термофильном режиме температуры ($X_4 = 51$ °С), рН ($X_5 = 5,5$), влажность ($X_6 = 40$ %), которые в комплексе обеспечивают высокий процент переработки органических отходов в компост - 35,9 %.

Структура и объем. Дипломная работа изложена на 30 страницах компьютерного текста, включает такие разделы, как введение, обзор литературы, материал и методика исследований, результаты исследования и выводы, библиографический список литературы, содержит 13 рисунков, 5 таблиц. В библиографическом указателе литературы даны ссылки на 18 источников.

АННОТАЦИЯ

Topic of the thesis. Planning and optimization of biotechnological processes for aerobic decomposition of organic waste in bioreactors.

Keyword: composting, organic waste, biochemical processing, microorganisms, compost.

Relevance. The development of urbanized territories is equated with improvement of the quality of life, with the enrichment of this environment with organic waste, including food waste.

Therefore, the issues related to the introduction of modern bioconversion methods of processing organic waste into production are relevant.

Goal. Planning and optimization of biotechnological processes for aerobic decomposition of organic waste in bioreactors.

Tasks. To study the features of formation and accumulation of organic waste, methods of their processing. Planning a six- factor experiment for aerobic decomposition of organic waste in bioreactors. Optimization of the studied six independent factors in the aerobic decomposition of organic waste in bioreactors.

Obtained result. The optimal composting mode is achieved when the waste size ($X_1 = 2,5$ см), aeration ($X_2 = 0,6$ м³/кг), microbial activity (X_3) at the 14 level of dilution, thermophilic temperature mode ($X_4 = 51$ °C), pH ($X_5 = 5,5$), humidity ($X_6 = 40$ %), which together provide a high percentage of organic waste processing in compost - 35,9 %.

Structure and volume. The thesis is presented on 30 pages of computer text, includes sections such as introduction, literature review, research material and methodology, research results and conclusions, bibliographic list of literature, contains 13 figures, 5 tables. The bibliographic index of literature contains references to 18 sources.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Әдебиетке шолу	10
1.1 Органикалық қалдықтарды биологиялық компостирлеу	10
1.2 Органикалық қалдықтардың аэробтық биологиялық ыдырау кезеңдері	10
1.3 Органикалық қалдықтардың аэробтық ыдырауының факторлары мен жағдайлары. Компост сапасы	11
1.4 Дәстүрлі кәдеге жарату әдістері алдында компостирлеу кемшіліктері мен артықшылықтары	12
1.5 Компостирлеуге арналған биореакторлар	12
2 Материал және зерттеу әдістемесі	14
3 Зерттеу нәтижелері	15
Қорытынды	31
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	32

КІРІСПЕ

Өзектілігі. Урбандалған аумақтарды дамыту өмір сүру сапасын жақсартумен осы ортаны органикалық қалдықтармен, оның ішінде тамақ қалдықтарымен байытумен бірдей теңдестіріледі.

Сондықтан органикалық қалдықтарды өңдеудің заманауи биоконверсиялық тәсілдерін өндіріске енгізуге байланысты мәселелер өзекті болып табылады.

Мақсаты. Биореакторларда органикалық қалдықтардың аэробтық ыдырауы кезіндегі биотехнологиялық процестерді жоспарлау және оңтайландыру.

Міндеттер:

1 Органикалық қалдықтардың пайда болу және жинақталу ерекшеліктерін, оларды өңдеу тәсілдерін зерделеу.

2 Биореакторларда органикалық қалдықтардың аэробтық ыдырауы кезіндегі алты факторлы экспериментті жоспарлау.

3 Биореакторларда органикалық қалдықтардың аэробтық ыдырауы кезінде зерттелетін алты тәуелсіз факторларды оңтайландыру.

Практикалық маңызы. Биореакторларда органикалық қалдықтардың аэробтық ыдырауының оңтайлы технологиялық параметрлерін математикалық модельдеу әдістерімен табу толыққанды және сапалы компост өндіру мақсатында инженерлік-техникалық шешімдерді әзірлеуге және құрастыруға мүмкіндік береді.

Құрылымы мен көлемі. Дипломдық жұмыс 30 беттен тұрады, кіріспе, әдебиеттерге шолу жасау, зерттеу материалдары мен әдістемесі, зерттеу нәтижелері мен қорытындылар, әдебиеттердің библиографиялық тізімі, 13 сурет, 5 кесте бар. Библиографиялық көрсеткіште 18 дерекнамаға сілтемелер берілген.

1 Әдебиетке шолу

1.1 Органикалық қалдықтарды биологиялық компостирлеу

Компостирлеу (шіру):

- бұл органикалық қалдықтарды микроорганизмдердің көмегімен гумус өніміне ұқсас тұрақты, биотермиялық ыдырау процесі [1],
- органикалық қалдықтардың көп мөлшерін өндіретін өндіріс үшін өте маңызды.

Мұндай өндірістерге ауылшаруашылығы (мал шаруашылығы секторы киды және қи шығарады, өсімдік шаруашылығы - секторы өсімдік органикалық қалдықтары), тамақ саласы (ауыл шаруашылығы өнімдерін қайта өңдеуден болған органикалық қалдықтар), Ағаш өңдеу өнеркәсібі (үгінділер мен жаңқалар түріндегі органикалық қалдықтар), коммуналдық шаруашылық (қатты тұрмыстық қалдықтар құрамындағы органикалық қалдықтар - белсенді сынықпен бірге сарқынды бірге сулардың шөгінділері) және т.б. жатады. [2].

1.2 Органикалық қалдықтардың аэробтық биологиялық ыдырау кезеңдері

Өнеркәсіптік жағдайларда органикалық қалдықтар микробиологиялық процестер негізінде өңделеді :

- 1) байытылған азық өнімдерін алу :
 - ақуыз,
 - бір жасушалы организмдердің ақуызымен ;
- 2) сүрлемдеу ;
- 3) компостирлеу ;
- 4) анаэробты ферментация ;
- 5) отынға биоконверсия:
 - этанолда,
 - биогазда (анаэробты реакторлардағы метаногенез, жылуға тікелей конверсия) [3].

Компостирлеу аэробты ыдырау органикалық қалдықтарды аэробты микроорганизмдермен өңдеу процесі ретінде анықталады. Компостирлеу үш негізгі ыдырау кезеңін қамтиды :

- 1 мезофильді,
- 2 термофильді ,
- 3 салқындату (компостты тұрақтандыру кезеңі) [4].

Компостирлеу процесі органикалық құрамындағы қатты қалдықтардың компостқа биохимиялық ыдырауын қамтамасыз етеді, ауыл шаруашылығы және орман алаңдарын жақсарту сияқты әртүрлі мақсаттарда пайдалануға арналған. [5].

Аэробты компостирлеу процесі үйінді қалыптастырудан басталады [6]. Алғашқы бірнеше күн бойы компостирлеу, температура 70-80 ° С дейін тез көтеріледі. [7].

Мезофильді топтар (оңтайлы температуралық өсу диапазоны 20–45 ° С тең) микроорганизмдер құрамына *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Clostridium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Humicola*, *Penicillium* and *Streptomyces* кіреді. [6]. Тамақ көздерінің көп болуына байланысты, бұл микроорганизмдер тез өседі және жылуды өз бетімен бөледі және үйменің температурасын өз қызметі басылатын нүктеге дейін көтереді. Содан кейін бірнеше жылу сүйгіш микромицеттер (*Aspergillus*, *Mucor*, *Chaetomium*, *Humicola*, *Absidia*, *Sporotrichum*, *Torula* және *Thermoascus*), термофильді бактериялар (*Bacillus* и *Thermus*) және кейбір актиномицеттер (*Streptomyces*, *Micropolyspora*, *Thermoactinomyces* и *Thermomonospora*) 65-70 ° С немесе одан жоғары температураның жоғарылауы процесін жалғастыруда жоғары. [7].

Уақыт өте келе температура қоршаған ортаның температурасына дейін төмендейді. Сол уақытта компостирлеу аяқталды, үйме неғұрлым біртекті және биологиялық белсенді болады. Бөлшектер мөлшері азаяды және текстурада біркелкі және топыраққа ұқсас болады. [6].

1.3 Органикалық қалдықтардың аэробтық ыдырауының факторлары мен жағдайлары. Компост сапасы

Ең маңызды факторлар [2, 8]:

- рН (7,5-7,8),
- ылғалдың құрамы (55–65%),
- күлдегі құрғақ қалдық саны (35–45) және оның құрамы (%) (15–25),
- жалпы азот (2–3 мг/кг),
- аммиакты азот (1,5–1,8 мг/кг, NH₄ ретінде есептеледі),
- нитриатты азот (1–2 мг/кг, NO₃ ретінде есептеледі),
- органикалық көміртегі (50–55 %),
- фосфор P₂O₅ ретінде есептеледі (барлығы 2,5–3 мг/кг; еркін 0,4–0,5 мг/кг),
- калий K₂O ретінде есептелген (барлығы 1–1,2 мг/кг; бос 0,8–1 мг/кг),
- C қатынасы : N (1/20-30).

Компост сапасының негізгі сипаттамалары [2]:

- компосттың сыртқы түрі,
- компосттың түсі,
- компостағы ылғалдың құрамы,
- көміртектің азотқа қатынасы (C: N),
- компосттың тұрақтылық дәрежесі,
- иіс,

- патогенді микроорганизмдердің салыстырмалы саны және ауыр металдар (орнын толтырмаған биомассамен салыстырғанда),
- компостағы органикалық қосылыстардың құрамы,
- компост бөлшектерінің өлшемі,
- тұздардың пайызы,
- компостағы қоректік компоненттердің құрамы,
- компостағы микроэлементтерің болуы.

1.4 Дәстүрлі кәдеге жарату әдістері алдында компостирлеу кемшіліктері мен артықшылықтары

Компостирлеу кемшіліктері [2, 9]:

- жағымсыз иіс,
- паразиттерді тартады,
- кейбір жағдайларда жағымсыз өсімдіктердің таралуына ықпал етеді.

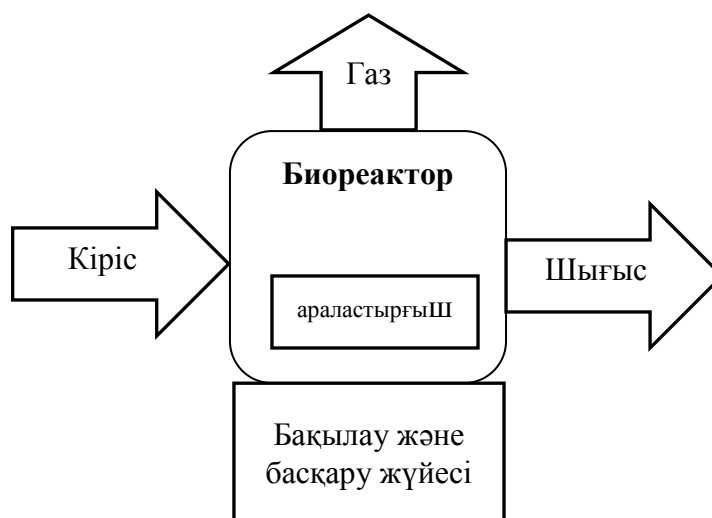
Компостирлеу артықшылықтары [2, 9]:

- қарапайым тәсілі,
- аз шығынды,
- шикізатты кейіннен пайдалану,
- топырақта пайдалы микроорганизмдер санын арттыру.

1.5 Компостирлеуге арналған биореакторлар [10, 11]

Биореакторлар - жасушалардың көбеюі мен метаболиттердің синтезі үшін қолайлы жағдай жасауға арналған көлемі 500 м³ (өнеркәсіптік: биореакторлар) дейінгі герметикалық цилиндрлік ыдыстар.

1-суретте биореактор конструкциясының принципті сұлбасы көрсетілген.



Сурет 1 – Биореактор конструкциясының принциптік схемасы

Биореакторларға арналған конструктивтік тәсілдер әртүрлі, бірақ 1-суреттен көріп отырғанымыздай, олардың техникалық сипаттамаларына қарамастан, олардың жұмысының негізгі принциптері үш негізгі ережелерді орындауға негізделеді:

1 Биореактор –екі тесіктің болуы салдарынан ашық жүйе:

- тесіктердің бірінші түрі қоректік заттардың, оттегінің, дақылдың түсуіне арналған,

-тесіктердің екінші түрі белгілі бір заттарды шығару үшін: газ, ортаны ағызу, метаболиттер және т.б.

2 Биореактор –субстраттың араласуын қамтамасыз ететін жүйе. Араластыруға арналған араластырғыштардың болуы жасушалардың өзара жабысуын болдырмай және ыдыс көлемінде қоректік орта мен оттегінің компоненттерінің біркелкі таралуына ықпал етеді.

3 Биореактор –бұл бақылаудың бағдарламалық қамтамасыз етуі бар басқару блогының болуы және өсірудің оңтайлы жағдайларын қолдау салдарынан бақыланатын және басқарылатын жүйе .

Қазіргі заманғы индустриялық Биотехнология практикасында биореактордың үш түрі бар:

1 Өсіру үшін Биореакторлар «жабық» және «ашық» деп жіктелуі мүмкін. Бірінші жағдайда жүйенің көптеген компоненттері одан жойылуы немесе қосылуы мүмкін емес, екіншісінде - компоненттер үнемі қосылуы және биореакторлардан жойылуы мүмкін. Компостирлеу кезінде жабық және ашық жүйелерді пайдалана алады.

2 Биореакторлар бір реттік, толтырылатын және үздіксіз жүктеу негізінде жұмыс істей алады. Компостирлеу кезінде субстрат түріне және қайта өндеудің соңғы мақсаттарына байланысты барлық үш жүйені пайдалана алады.

3 Дақылдардың реакторларында статикалық және араласуы, оттегінің (аэробаның) қатысуымен немесе онсыз (анаэробаның), сондай-ақ сулы немесе қатты фазада болуы мүмкін. Компостирлеу кезіндегі микроорганизмдердің аралас дақылдарын өсірудің аэробтық әдісі қоланылады.

4 Биореакторларда жаппай алмасу өсіру режиміне қарамастан үш тәсілмен - дақылдарды газ қоспасымен аэрациялаумен, газ өткізбейтін мембраналар және O_2 және CO_2 диффузиялық тасымал арқылы, газ - сұйық интерфазалар арқылы қамтамасыз етіледі. Биореакторларда жаппай алмасуды өсіру кезіндегі араластырғыш - қалақтардың көмегімен жүзеге асырылады.

5 Компостирлеу кезінде биореакторларда өтетін процестер рН (бейтарап) және температураның (20 тан 60 °Сқа дейін) орташа мәндері кезінде жүзеге асырылады.

2 Материал және зерттеу әдістемесі

Зерттеу нысаны: органикалық қалдықтар.

Зерттеу пәні: биореактор жағдайында органикалық қалдықтардың аэробтық ыдырау процесі.

Зерттеу әдістері. Биореакторларда органикалық қалдықтардың аэробтық ыдырауы кезіндегі биотехнологиялық процестерді жоспарлау және оңтайландыру жөніндегі зерттеулер жұмысқа егжей тегжейлі баяндалған әдістеме негізінде жүргізілді [12-16].

Қойылған міндеттерді шешуде қолданылған негізгі формулалар мен теңдеулер төменде келтірілген:

Сызықты емес көпше корреляция теңдеуі [12, 13]:

$$R = \sqrt{1 - \frac{(N-1) \times \sum (Y_o - Y_m)^2}{(N-K-1) \times \sum (Y_o - Y_{cp})^2}} \quad (1)$$

N	K	Y_o	Y_m	Y_{cp}
Сипатталатын нүктелер саны	Жұмыс істеп тұрған факторлар саны	Тәжірибелік нәтиже	Теориялық (есептік) нәтиже	Орташа эксперименталды мән

Нақтылық мына формула бойынша анықталады:

$$t_R = \frac{R \times \sqrt{N-K-1}}{1-R^2} > 2 \quad (2)$$

Жеке функцияның маңыздылығын талдау $N = 5$, $K = 1$.

Ең кіші квадраттар әдісі:

$$Y = a + b \times X. \quad (3)$$

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (4)$$

$$a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n} \quad (5)$$

Жалпылама теңдеуге арналған формула $Y_{об}$:

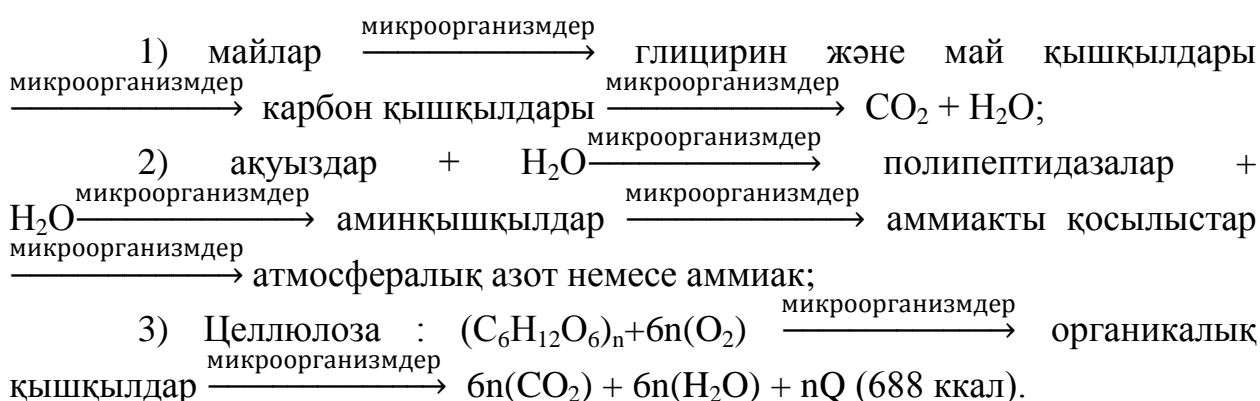
$$Y_{об} = \frac{Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_n}{Y_{cp}^{n-1}} \quad (6)$$

$Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ – жеке функциялар,

Y_{cp} – жалпыланған функцияның барлық ескерілетін мәндерінің жалпы орта.

3 Зерттеу нәтижелері

Аэробтық биологиялық ыдырау кезіндегі тотығу реакциясының жиынтық схемасын келесі түрде ұсынуға болады [2, 17]:



Осы теңдеулерді ескере отырып, біз кейбір факторларды (қалдықтар бөлшектерінің мөлшері, компостацияланатын субстраттың аэрациясы, микроорганизмдердің белсенділігі компостацияланатын субстраттың температурасы, компостацияланатын субстраттың рН, субстраттың ылғалдығы) компостқа органикалық қалдықтарды қайта өңдеу пайызына әсерін зерттеу жөнінде шешім қабылдадық.

Осыған байланысты алты факторлы эксперимент қалыптасты. 1-кестеде көрсетілген факторлар мен олардың деңгейлері.

Кесте 1. Факторлық кеңістік аймағы

№	Факторлардың атауы	Факторлар деңгейлері				
		1	2	3	4	5
1	X ₁ -қалдық бөлшектерінің өлшемі, см	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
2	X ₂ -аэрация, м ³ /кг субстрат	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8
3	X ₃ -микробиоценоз белсенділігі, КОЕ/г	6	8	10	12	14
4	X ₄ -температура, °С	35	39	43	47	51
5	X ₅ - рН	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
6	X ₆ -ылғадылық, %	40	45	50	55	60

1-кестеде санамаланған әсерді зерттеудің негізгі мақсаты олардың бастапқы субстраттан органикалық қалдықтарды қайта өңдеу пайызына әсері болып табылады, ол [2, 11, 15-17] жұмыстарда ұсынылған деректерге сәйкес 30-40 % шегінде болады.

Келесі кезеңде, 2-кестеде көрсетілгендей, жоспарлау матрицасының латын квадраты негізінде әзірленеді.

Латын квадратына негізделген жоспарлау матрицасы 2, 25 эксперимент кестесінен ($n = p^2$, $p = 5$) көрініп тұрғандай, онда біздің жағдайда зерттелетін тәуелсіз факторлар (1-5 деңгейлері бойынша X₁ – X₆) орналастырылады.

Кесте 2 – Матрица факторы экспериментті жоспарлау

№ опыта	X ₁		X ₂		X ₃		X ₄		X ₅		X ₆		Иско мые
	ур	зн	ур	зн	ур	зн	ур	зн	ур	зн	ур	зн	
1	1	2,5	1	0,6	5	14	4	47	3	6,5	2	45	35
2	1	2,5	2	0,9	4	12	3	43	2	6	1	40	33
3	1	2,5	3	1,2	3	10	5	51	1	5,5	4	55	31
4	1	2,5	4	1,5	2	8	1	35	5	7,5	3	50	32
5	1	2,5	5	1,8	1	6	2	39	4	7	5	60	30
6	2	3	1	0,6	5	14	4	47	3	6,5	2	45	38
7	2	3	2	0,9	4	12	3	43	2	6	1	40	36
8	2	3	3	1,2	3	10	5	51	1	5,5	4	55	39
9	2	3	4	1,5	2	8	1	35	5	7,5	3	50	34
10	2	3	5	1,8	1	6	2	39	4	7	5	60	37
11	3	3,5	1	0,6	5	14	4	47	3	6,5	2	45	40
12	3	3,5	2	0,9	4	12	3	43	2	6	1	40	36
13	3	3,5	3	1,2	3	10	5	51	1	5,5	4	55	33
14	3	3,5	4	1,5	2	8	1	35	5	7,5	3	50	35
15	3	3,5	5	1,8	1	6	2	39	4	7	5	60	34
16	4	4	1	0,6	5	14	4	47	3	6,5	2	45	31
17	4	4	2	0,9	4	12	3	43	2	6	1	40	30
18	4	4	3	1,2	3	10	5	51	1	5,5	4	55	40
19	4	4	4	1,5	2	8	1	35	5	7,5	3	50	37
20	4	4	5	1,8	1	6	2	39	4	7	5	60	32
21	5	4,5	1	0,6	5	14	4	47	3	6,5	2	45	38
22	5	4,5	2	0,9	4	12	3	43	2	6	1	40	39
23	5	4,5	3	1,2	3	10	5	51	1	5,5	4	55	35
24	5	4,5	4	1,5	2	8	1	35	5	7,5	3	50	34
25	5	4,5	5	1,8	1	6	2	39	4	7	5	60	31

Кесте 3 – Жеке функциялардың мәнін есептеу

№ фактора	1	2	3	4	5	Уср
X ₁	35	38	40	31	38	
	33	36	36	30	39	
	31	39	33	40	35	
	32	34	35	37	34	
	30	37	34	32	31	
Σ	32,2	36,8	35,6	34	35,4	34,8
X ₂	35	33	31	32	30	
	38	36	39	34	37	
	40	36	33	35	34	
	31	30	40	37	32	
	38	39	35	34	31	
Σ	36,4	34,8	35,6	34,4	32,8	34,8
X ₃	30	32	31	33	35	
	37	34	39	36	38	
	34	35	33	36	40	
	32	37	40	30	31	
	31	34	35	39	38	
Σ	32,8	34,4	35,6	34,8	36,4	34,8
X ₄	32	30	33	35	31	
	34	37	36	38	39	
	35	34	36	40	33	
	37	32	30	31	40	
	34	31	39	38	35	
Σ	34,4	32,8	34,8	36,4	35,6	34,8
X ₅	31	33	35	30	32	
	39	36	38	37	34	
	33	36	40	34	35	
	40	30	31	32	37	
	35	39	38	31	34	
Σ	35,6	34,8	36,4	32,8	34,4	34,8
X ₆	33	35	32	31	30	
	36	38	34	39	37	
	36	40	35	33	34	
	30	31	37	40	32	
	39	38	34	35	31	
Σ	34,8	36,4	34,4	35,6	32,8	34,8

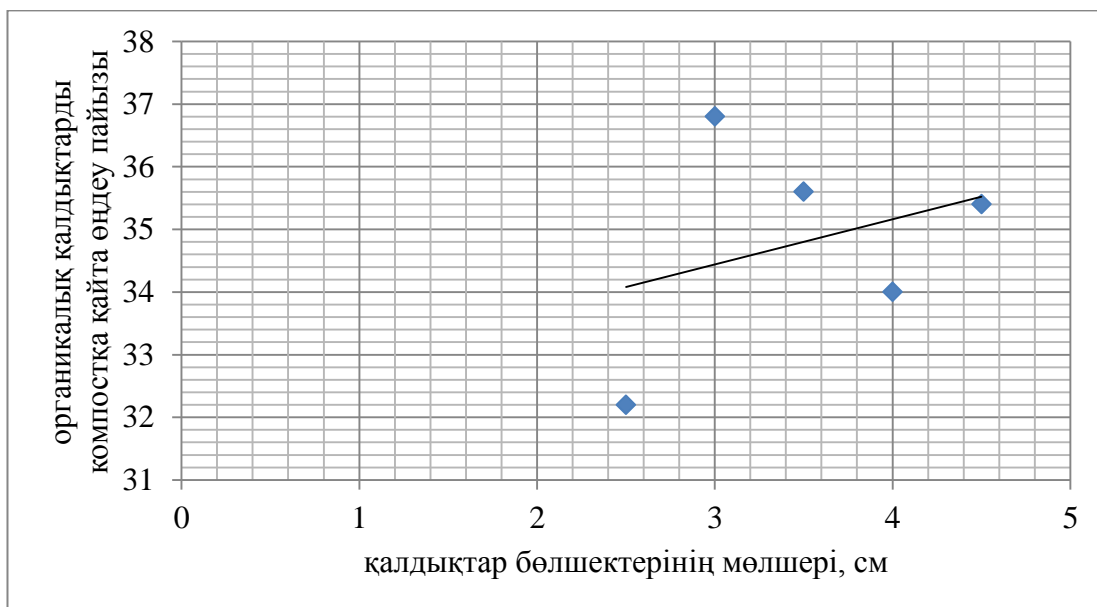
Бұдан әрі, әдістемеге сәйкес, жеке функциялардың мәндерін есептеуді жүзеге асырамыз (таблица 3).

3 кестеде көрсетілгендей, алынған жеке функциялар (Y_1, Y_2, \dots, Y_6) қараластырылып отырған факторлардың органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызын әсерін сипатталады.

Содан кейін нүктелік графиктерге іріктеуді анықтаймыз. Бұл жағдайда барлық алты қарастырылатын факторлардың органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызын әсерін зерттейміз (2-7 суреттер):

X_1 -қалдықтар бөлшектерінің мөлшері, см

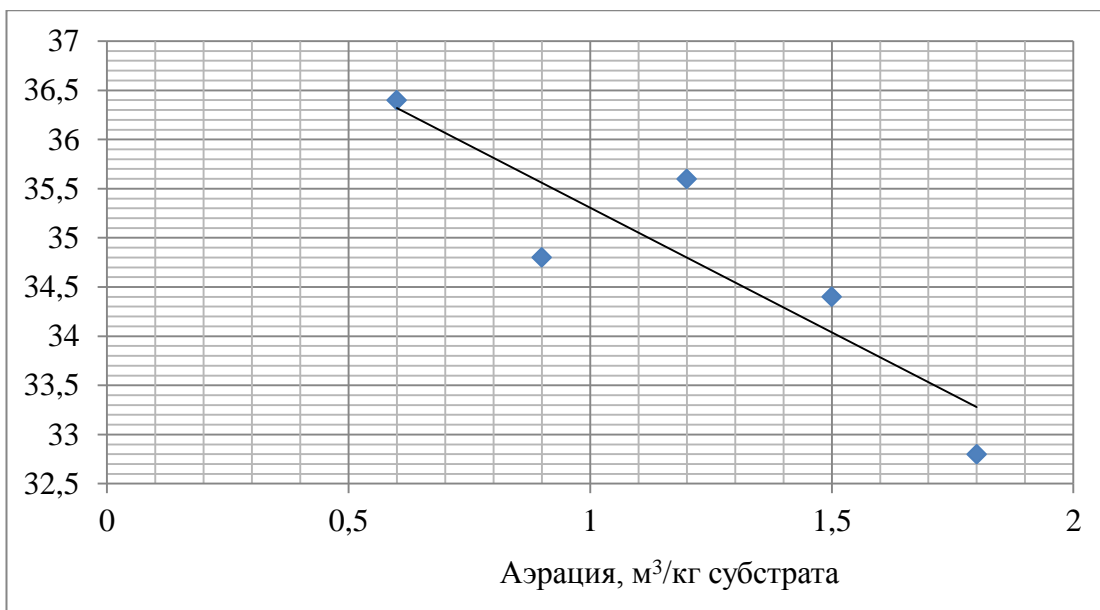
X:	Y:
1. 2,5	1. 32,2
2. 3	2. 36,8
3. 3,5	3. 35,6
4. 4	4. 34
5. 4,5	5. 35,4



Сурет 2 – Нүктелік графиктер іріктеу: қалдықтар бөлшектерінің мөлшерінің компостқа органикалық қалдықтарды қайта өңдеу пайызына әсері, см (X_1)

X_2 - Аэрация, м³/кг субстрата

X:	Y:
1. 0.6	1. 36,4
2. 0,9	2. 34,8
3. 1,2	3. 35,6
4. 1,5	4. 34,4
5. 1,8	5. 32,8



Сурет 3 – Нүктелік графиктерге іріктеу, м³/кг субстрат (X₂) органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызына

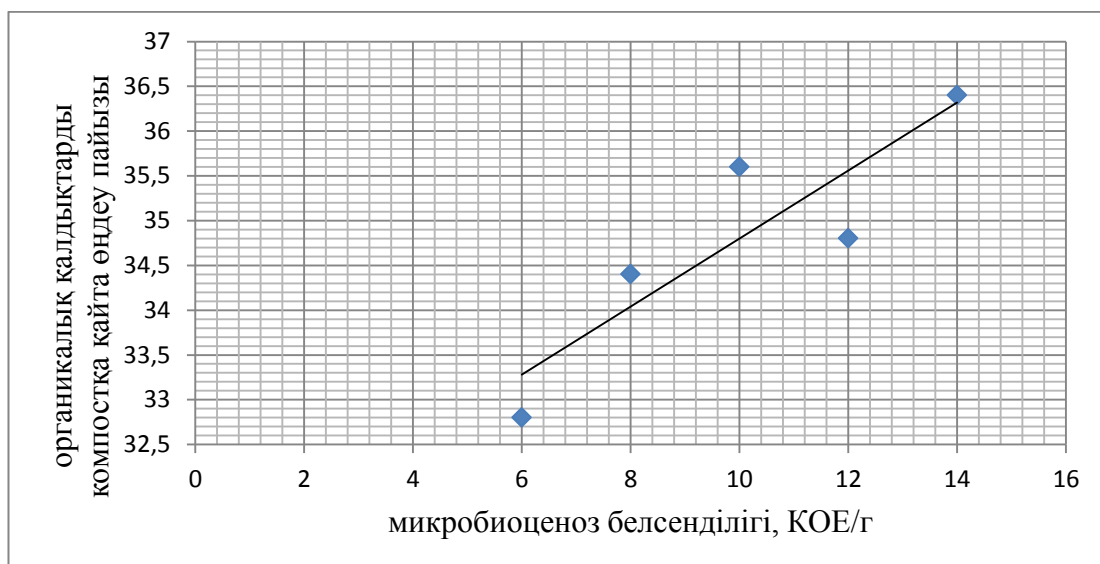
X₃- Активность микробиоценоз, КОЕ/г

X:

1. 6
2. 8
3. 10
4. 12
5. 14

Y:

1. 32,8
2. 34,4
3. 35,6
4. 34,8
5. 36,4



Сурет 4 – Нүктелік графиктерге іріктеу: микроорганизмдер белсенділігінің компостқа органикалық қалдықтары қайта өңдеу пайызына әсері, КОЕ/г (X₃)

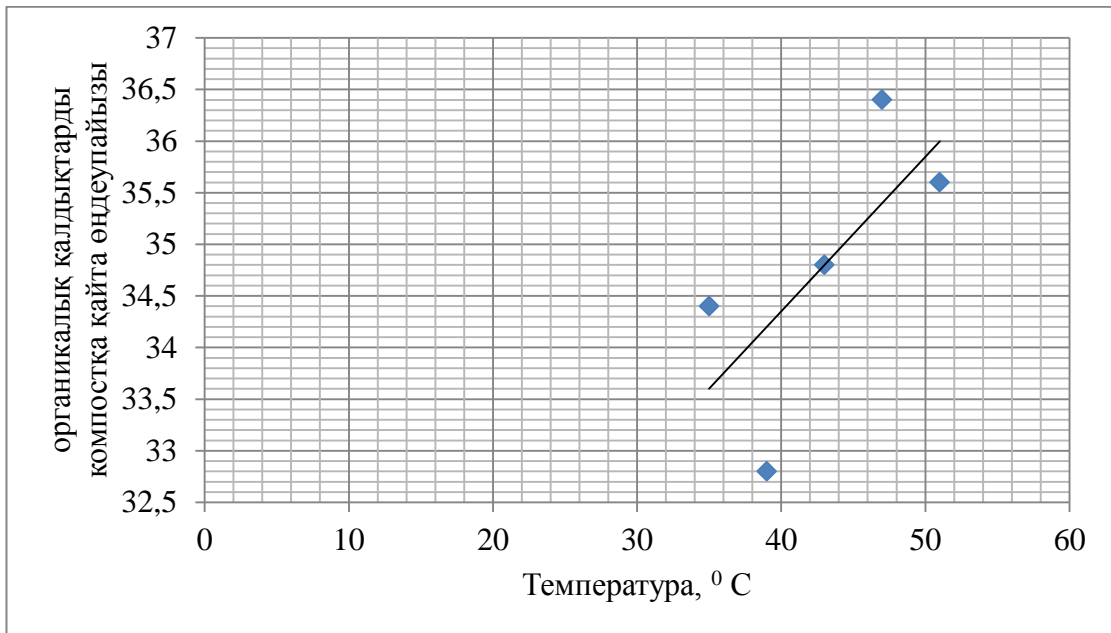
X₄- Температура, °C

X:

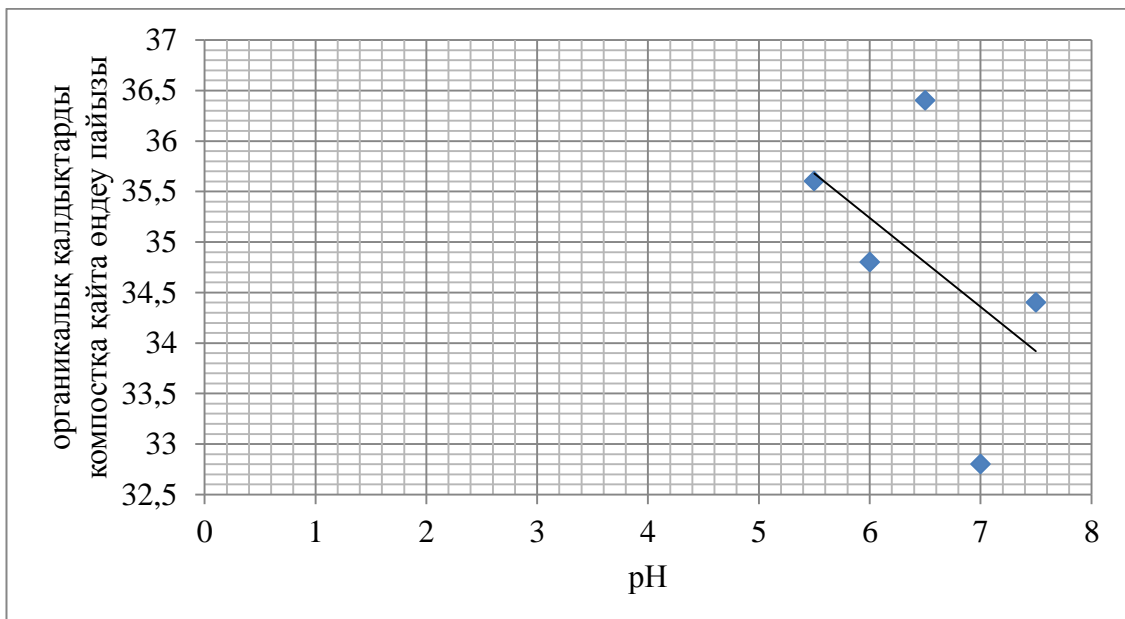
1. 35
2. 39
3. 43
4. 47
5. 51

Y:

1. 34,4
2. 32,8
3. 34,8
4. 36,4
5. 35,6



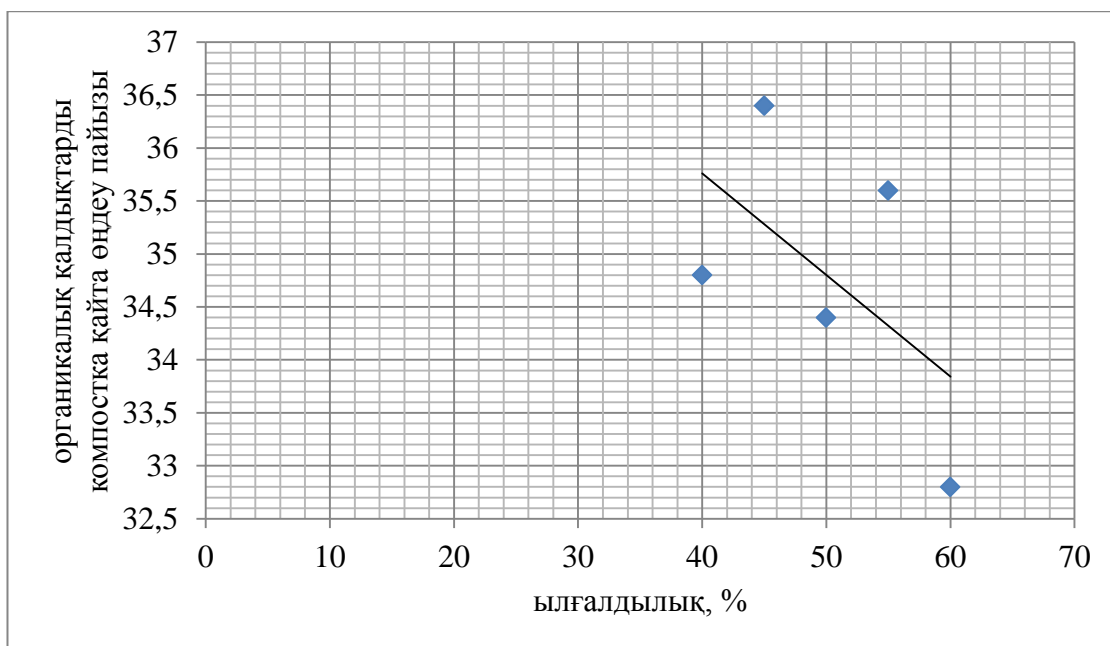
Сурет 5 – Нүктелік графиктерге іріктеу: температураның әсері, °C (X₄) органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызына



Сурет 6 – Нүктелік графиктерге іріктеу: органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызына рН (X_5) әсері
 X_5 - рН

X:	Y:
1. 5,5	1. 35,6
2. 6,0	2. 34,8
3. 6,5	3. 36,4
4. 7,0	4. 32,8
5. 7,5	5. 34,4

X:	Y:
1. 40	1. 34,8
2. 45	2. 36,4
3. 50	3. 34,4
4. 55	4. 35,6
5. 60	5. 32,8
6.	



Сурет 7 –Нүктелік графиктерге іріктеу: субстрат ылғалдылығының әсері, % (X_6) органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызы

2-7 суреттерден көрініп тұрғандай, ең кіші квадраттар әдісімен модельдерге талдау жүргізілді.

Келесі кезеңде жеке функциялардың теориялық алгебралық мәнін есептейміз.

Есептеулер 4-кестеде келтірілген.

Кесте 4. Зерттелетін функцияның есептік мәні және аппроксимациясы

№	X ₁			
	X	Y	X ²	XY
1	2,5	32,2	6,25	80,5
2	3,0	36,8	9	110,4
3	3,5	35,6	12,25	124,6
4	4,0	34	16	136
5	4,5	35,4	20,25	159,3
Σ	17,5	174	53,75	610,8

№	X ₂			
	X	Y	X ²	XY
1	0,6	36,4	0,36	21,84
2	0,9	34,8	0,81	31,32
3	1,2	35,6	1,44	42,72
4	1,5	34,4	2,25	51,6
5	1,8	32,8	3,24	59,04
Σ	6	174	8,1	206,52

№	X ₃			
	X	Y	X ²	XY
1	6	32,8	36	196,8
2	8	34,4	64	275,2
3	10	35,6	100	356
4	12	34,8	144	417,6
5	14	36,4	196	509,6
Σ	50	174	540	1764,2

№	X ₄			
	X	Y	X ²	XY
1	35	34,4	1225	1204
2	39	32,8	1521	1279,2
3	43	34,8	1849	1496,4
4	47	36,4	2209	1710,8
5	51	35,6	2601	1815,6
Σ	215	174	9405	7506

№	X ₅			
	X	Y	X ²	XY
1	5,5	35,6	30,25	195,8

2	6,0	34,8	36	208,8
3	6,5	36,4	42,25	236,6
4	7,0	32,8	49	229,6
5	7,5	34,4	56,25	258
Σ	32,5	174	213,75	1128,8

№	X_6			
	X	Y	X^2	XY
1	40	34,8	1600	1392
2	45	36,4	2025	1638
3	50	34,4	2500	1720
4	55	35,6	3025	1958
5	60	32,8	3600	1968
Σ	250	174	12750	8676

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n}$$

$$X_1 \quad b = \frac{5 \times 610,8 - 17,5 \times 174}{5 \times 53,75 - (17,5)^2} = -0,24$$

$$a = \frac{174 + 0,24 \times 17,5}{5} = 35,64$$

$$X_2 \quad b = \frac{5 \times 206,52 - 6 \times 174}{5 \times 8,1 - (6)^2} = -2,533333333 = -2,5$$

$$a = \frac{174 + 2,5 \times 6}{5} = 37,8$$

$$X_3 \quad b = \frac{5 \times 1764,2 - 50 \times 174}{5 \times 540 - (50)^2} = 0,605 = 0,6$$

$$a = \frac{174 - 0,6 \times 50}{5} = 28,8$$

$$X_4 \quad b = \frac{5 \times 7506 - 215 \times 174}{5 \times 9405 - 215^2} = 0,15$$

$$a = \frac{174 - 0,15 \times 215}{5} = 28,35$$

$$X_5 \quad b = \frac{5 \times 1128,8 - 32,5 \times 174}{5 \times 213,75 - (32,5)^2} = -0,88$$

$$a = \frac{174 + 0,88 \times 32,5}{5} = 40,52$$

$$X_6 \quad b = \frac{5 \times 8676 - 250 \times 174}{5 \times 12750 - (250)^2} = -0,096$$

$$a = \frac{174 + 0,096 \times 250}{5} = 39,6$$

Кесте 5 – жеке функцияның теориялық мәні

Формула	Биогаздағы метанның есептік құрамы
$Y_{n_1} = a + b \times X_{n_1}$	35,04
$Y_{n_2} = a + b \times X_{n_2}$	36,3
$Y_{n_3} = a + b \times X_{n_3}$	37,2
$Y_{n_4} = a + b \times X_{n_4}$	36
$Y_{n_5} = a + b \times X_{n_5}$	35,68
$Y_{n_6} = a + b \times X_{n_6}$	35,26

$$Y_{n_1} = 35,64 - 0,24 \times 2,5 = 35,04$$

$$Y_{n_1} = 35,64 - 0,24 \times 3 = 34,92$$

$$Y_{n_1} = 35,64 - 0,24 \times 3,5 = 34,8$$

$$Y_{n_1} = 35,64 - 0,24 \times 4 = 34,68$$

$$Y_{n_1} = 35,64 - 0,24 \times 4,5 = 34,56$$

$$Y_{n_3} = 28,8 + 0,6 \times 6 = 32,4$$

$$Y_{n_3} = 28,8 + 0,6 \times 8 = 33,6$$

$$Y_{n_3} = 28,8 + 0,6 \times 10 = 34,8$$

$$Y_{n_3} = 28,8 + 0,6 \times 12 = 36$$

$$Y_{n_3} = 28,8 + 0,6 \times 14 = 37,2$$

$$Y_{n_2} = 37,8 - 2,5 \times 0,6 = 36,3$$

$$Y_{n_2} = 37,8 - 2,5 \times 0,9 = 35,55$$

$$Y_{n_2} = 37,8 - 2,5 \times 1,2 = 34,8$$

$$Y_{n_2} = 37,8 - 2,5 \times 1,5 = 34,05$$

$$Y_{n_2} = 37,8 - 2,5 \times 1,8 = 33,3$$

$$Y_{n_4} = 28,35 + 0,15 \times 35 = 33,6$$

$$Y_{n_4} = 28,35 + 0,15 \times 39 = 34,2$$

$$Y_{n_4} = 28,35 + 0,15 \times 43 = 34,8$$

$$Y_{n_4} = 28,35 + 0,15 \times 47 = 35,4$$

$$Y_{n_4} = 28,35 + 0,15 \times 51 = 36$$

$$Y_{n_5} = 40,52 - 0,88 \times 5,5 = 35,68$$

$$Y_{n_5} = 40,52 - 0,88 \times 6 = 35,24$$

$$Y_{n_5} = 40,52 - 0,88 \times 6,5 = 34,8$$

$$Y_{n_5} = 40,52 - 0,88 \times 7 = 34,36$$

$$Y_{n_5} = 40,52 - 0,88 \times 7,5 = 33,92$$

$$Y_{n_6} = 39,6 - 0,096 \times 40 = 35,76$$

$$Y_{n_6} = 39,6 - 0,096 \times 45 = 35,28$$

$$Y_{n_6} = 39,6 - 0,096 \times 50 = 34,8$$

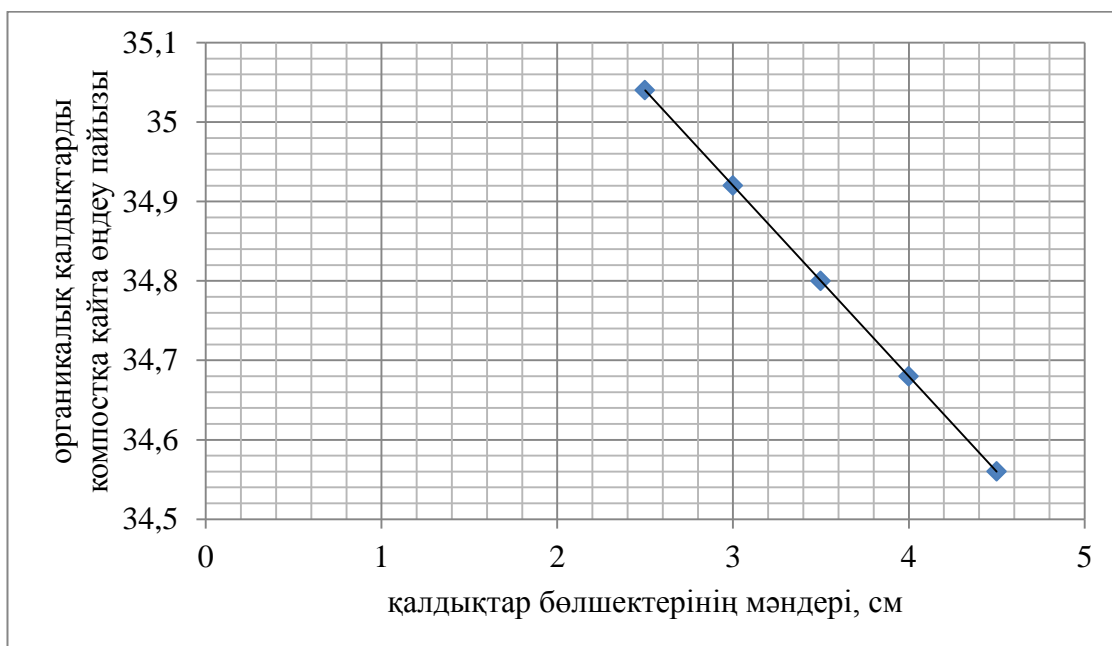
$$Y_{n_6} = 39,6 - 0,096 \times 55 = 34,32$$

$$Y_{n_6} = 39,6 - 0,096 \times 60 = 33,84$$

Нүктелік графиктерге іріктеуді анықтаймыз. Экспериментте зерттелетін факторлардың $X_1 - X_6$ әсерін есептейміз:

X_1 -қалдықтар бөлшектерінің мәндері, см

X:	Y:
1. 2,5	1. 35,04
2. 3	2. 34,92
3. 3,5	3. 34,8
4. 4	4. 34,68
5. 4,5	5. 34,56



Сурет 8 – Нүктелік графиктерге іріктеу: қалдықтар бөлшектерінің мөлшерінің компостқа органикалық қалдықтарды қайта өңдеуге пайызына әсері, см (X_1)

X_2 - Аэрация, м³/кг субстрат

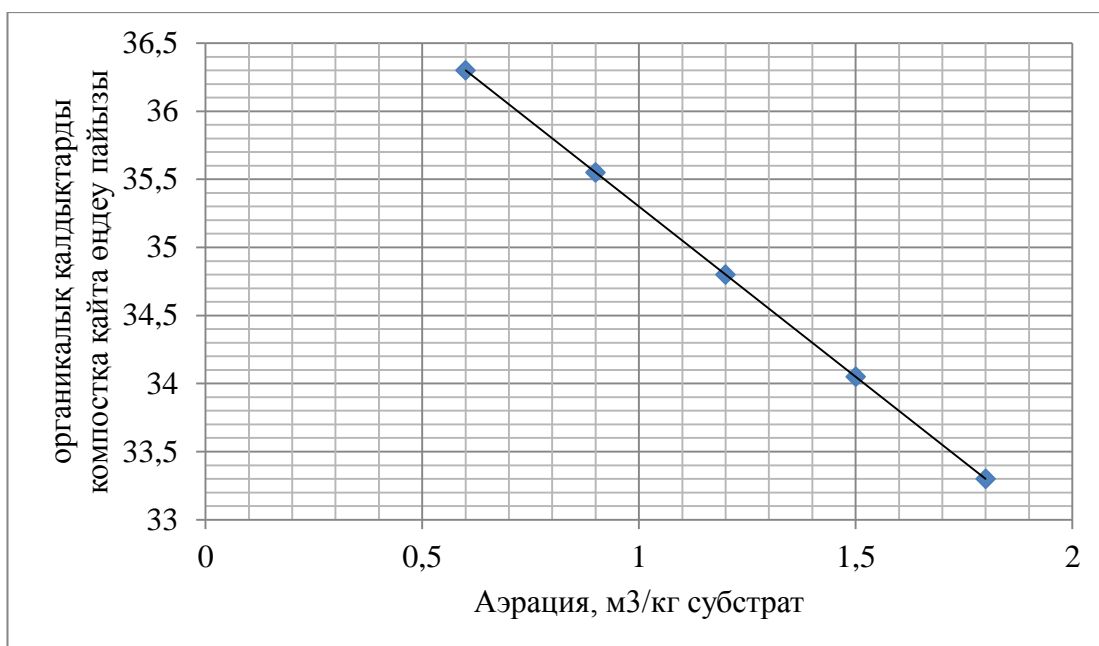
X:	Y:
1. 0,6	1. 36,3
2. 0,9	2. 35,55
3. 1,2	3. 34,8
4. 1,5	4. 34,05
5. 1,8	5. 33,3

X_3 -микробиоценоз белсенділігі, КОЕ/г

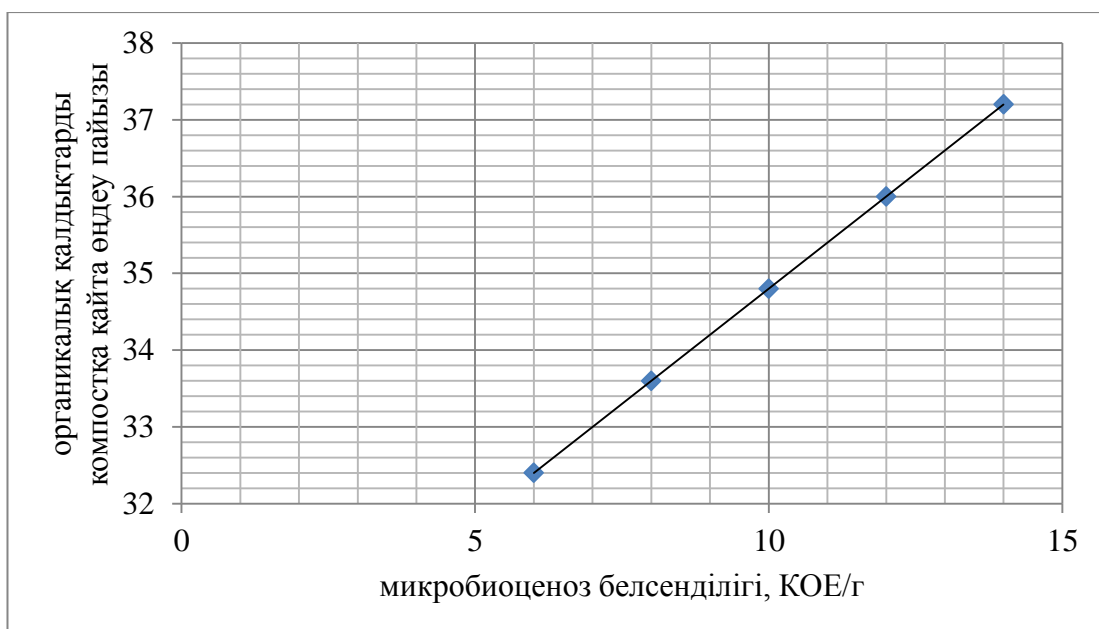
X:	Y:
1. 6	1. 32,4
2. 8	2. 33,6
3. 10	3. 34,8

4. 12
5. 14

4. 36
5. 37,2



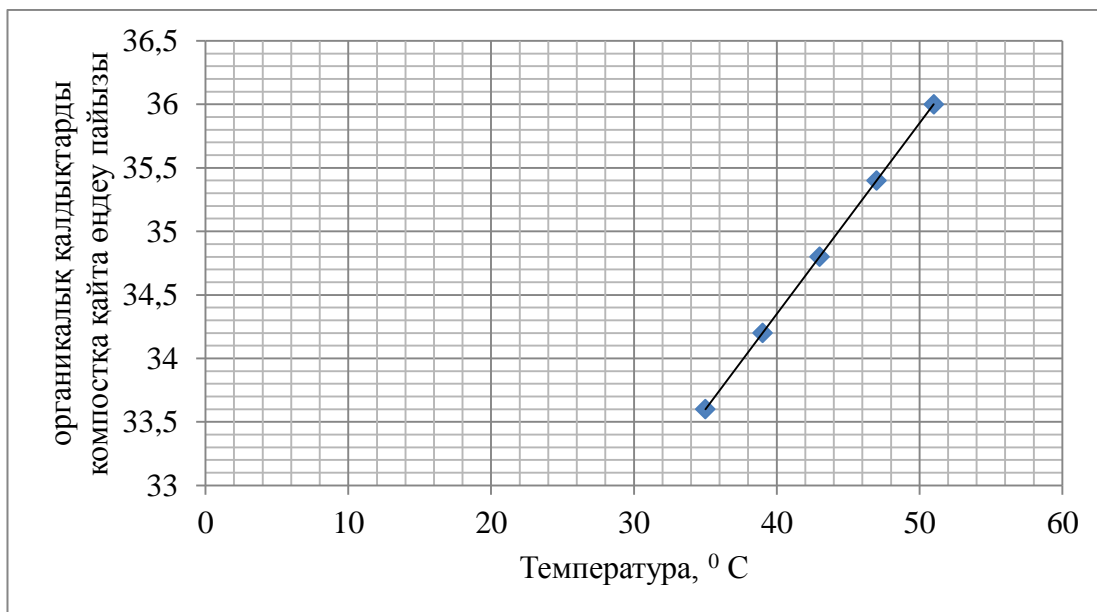
Сурет 9 –Нүктелік графиктерге іріктеу: аэрацияның әсері, м³/кг субстраттың (X_2) органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызына әсері



Сурет 10 – Нүктелік графиктерге іріктеу: микроорганизмдер белсенділігінің компостқа органикалық қалдықтарды қайта өңдеу пайызына әсері, КОЕ/г (X_3)

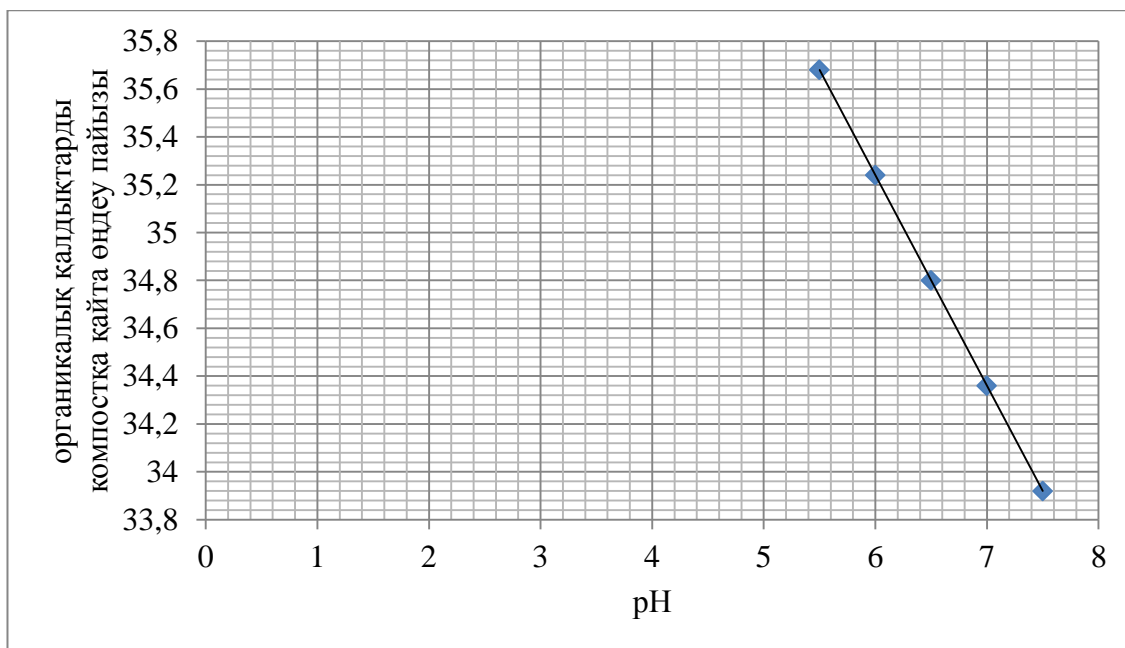
X: X_4 - Температура, °C
Y:

- | | | | |
|----|----|----|------|
| 1. | 35 | 1. | 33,6 |
| 2. | 39 | 2. | 34,2 |
| 3. | 43 | 3. | 34,8 |
| 4. | 47 | 4. | 35,4 |
| 5. | 51 | 5. | 36 |



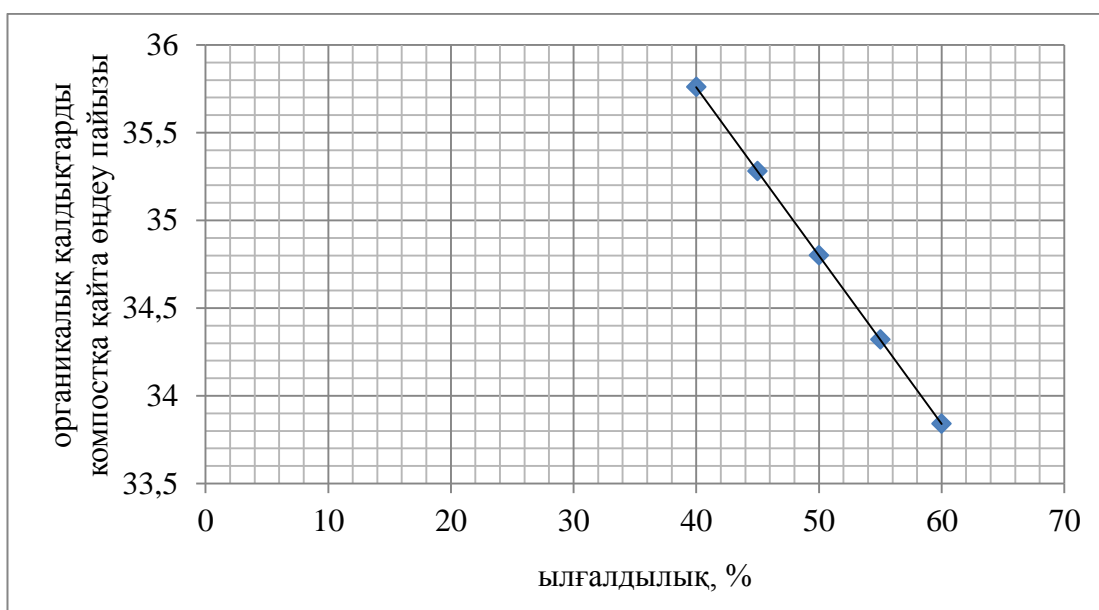
Сурет 11 – Нүктелік графиктерге іріктеу: температураның әсері, °C
(X₄) органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызына
X₅ - рН

- | | |
|--------|----------|
| X: | У: |
| 1. 5,5 | 1. 35,68 |
| 2. 6 | 2. 35,24 |
| 3. 6,5 | 3. 34,8 |
| 4. 7 | 4. 34,36 |
| 5. 7,5 | 5. 33,92 |



Сурет 12 – Нүктелік графиктерге іріктеу: органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызына рН (X₅) әсері

X:	Y:
1. 40	1. 35,76
2. 45	2. 35,28
3. 50	3. 34,8
4. 55	4. 34,32
5. 60	5. 33,84



Сурет 13 – Нүктелік графиктерге іріктеу: субстрат ылғалдылығының әсері, % (X₆) органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызына

Графиктен көріп отырғандай (8-13 суреттер), қалдықтар бөлшектерінің мөлшері (фактор X_1 , см), компостацияланатын субстраттың аэрациясы (фактор X_2 ; м³/кг), микроорганизмдердің белсенділігі (фактор X_3 ; КОЕ/г), компостацияланатын субстраттың температурасы (фактор X_4 ; °С), компостацияланатын субстраттың рН (фактор X_5), субстраттың ылғалдылығы (фактор X_6 ; %) органикалық қалдықтарды компост.

Эксперименталды есептеулер нәтижесінде жеке теңдеулер сипатталатын заңдылықтар алынды.

Функциялардың талдауы мынаны көрсетті:

1) Органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызына зерттелетін факторлардың әсері бойынша :

- қалдықтардың мөлшері аз болған сайын (2,5 см қарсы 4,5 см), соғұрлым органикалық қалдықтар компостқа қайта өңдеу пайызы жоғары (35,04 % против 34,56%),

- аэрация субстрата должна находиться в умеренном режиме ($X_2 = 0,6$ м³/кг), тогда процент переработки органических отходов в компост выше (36,3 % қарсы 33,3 %),

-микроорганизмдердің белсенділігі жоғары болған сайын, КОЕ/г (X_3 ; 14 ші өсіру деңгейіне қарсы өсіру деңгейі), соғұрлым органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызы жоғары (37,2 % қарсы 32,4 %),

- компостацияланатын субстраттың температурасы (X_4 ; 51 °С қарсы 35 °С), жоғары болған сайын, компостқа органикалық қалдықтарды қайта өңдеу пайызы соғұрлым жоғары (36 % қарсы 33,6 %),

- субстрат рН 5,5 тен 7 ге дейін (X_5) болуы тиіс, сонда органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызы (34,36-35,68 % қарсы 33,92 %),

- субстраттың ылғалдылығы аз болған сайын (40 % қарсы 60 %), компостқа органикалық қалдықтарды қайта өңдеу пайызы соғұрлым жоғары (35,76 % қарсы 33,84 %);

2) зерттелетін факторлардың әсерінен маңыздылығы бойынша: функцияларды талдау барлық зерттелетін факторлар органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызы елеулі әсер ететінін көрсетті.

Есептік деректер бойынша нүктелік графиктерді құру репрезентативті катені ескере отырып, табиғи шашыраңқы анықтайды, яғни динамикалық өзгермелі жағдайларда органикалық қалдықтардың аэробтық ыдырауы процесіндегі күрделі өзара әрекеттесуді сипаттайтын экспериментке тән. Корреляция коэффициенті 0,93 ($t_R = 2,5 > 2$) теңдеудің функционалдық барабарлығын көрсетеді.

Жеке функциялар 6 теңдеуіне біріктіріледі:

$$Y_{об} = \frac{Y_1 X Y_2 X \dots Y_n}{Y_{cp}^{n-1}}$$

$$Y_{об} = \frac{35,04 \times 36,3 \times 37,2 \times 36 \times 35,68 \times 35,26}{(35,9)^5} = 35,9377658 = 35,9\%$$

6 теңдеуі бойынша жүргізілген есептеулер органикалық қалдықтарды компост - 35,9-% ға қайта өңдеудің жоғары пайызын қамтамасыз ететін компостирлеудің (қалдықтардың мөлшері ($X_1 = 2,5$ см), аэрация ($X_2 = 0,6$ м³/кг), микроорганизмдердің белсенділігі (X_3) 14 деңгейде, температураның терфомильді режимі ($X_4 = 51$ °C), рН ($X_5 = 5,5$), ылғалдылық ($X_6 = 40$ %)), оңтайлы режимін көрсетті.

ҚОРЫТЫНДЫ

Функциялардың талдауы мынаны көрсетті:

1) Органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызына зерттелетін факторлардың әсері бойынша:

- қалдықтардың мөлшері аз болған сайын (2,5 см қарсы 4,5 см), соғұрлым органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызы жоғары (35,04 % қарсы 34,56%),

- субстраттың аэрациясы қалыпты режимде ($X_2 = 0,6 \text{ м}^3/\text{кг}$) болуы тиіс, онда органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызы жоғары (36,3 % қарсы 33,3 %),

-микроорганизмдердің белсенділігі жоғары болған сайын, КОЕ/г (X_3 ; 14 6-ші өсіру деңгейіне қарсы өсіру деңгейі), соғұрлым органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызы жоғары (37,2 % қарсы 32,4 %),

- компостацияланатын субстраттың температурасы (X_4 ; 51°C қарсы 35°C), жоғары болған сайын, компостқа органикалық қалдықтарды қайта өңдеу пайызы соғұрлым жоғары (36 % против 33,6 %),

- субстрат рН 5,5 тен 7ге дейін (X_5) болуы тиіс, сонда органикалық қалдықтарды компостқа қайта өңдеу пайызы (34,36-35,68 % қарсы 33,92 % жоғары),

- субстраттың ылғалдылығы аз болған сайын (40 % қарсы 60 %), компостқа органикалық қалдықтарды қайта өңдеу пайызы соғұрлым жоғары (35,76 % қарсы 33,84 %);

2) зерттелетін факторлардың әсерінің маңыздылығы бойынша функцияларды талдау барлық зерттелетін факторлар органикалық қалдықтар компостқа қайта өңдеу пайызына елеулі әсер ететінін көрсетті.

Қорытынды. Компостирлеудің оңтайлы режиміне қалдықтардың мөлшері ($X_1 = 2,5 \text{ см}$), аэрация ($X_2 = 0,6 \text{ м}^3/\text{кг}$), ерітудің 14 деңгейінде микроорганизмдердің белсенділігі (X_3), температураның термофильді режимі ($X_4 = 51^\circ \text{C}$), рН ($X_5 = 5,5$), ылғалдылығы ($X_6 = 40 \%$), олар кешенде органикалық қалдықтарды компостқа өңдеудің жоғары пайызын қамтамасыз етеді - 35,9 %.

Мұндай компостирлеу режимінде Қалдықтарды кәдеге жарату пайызы 64,1 %-ға жетеді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Ветошкин А. Г. Техника и технология обращения с отходами жизнедеятельности: Учебное пособие. В 2-частях. Ч. 1. Системное обращение с отходами / А. Г. Ветошкин. – М.: Инфра-Инженерия, 2019. – 440 с.
- 2 Еликбаев Б.К. Утилизация твердых бытовых отходов / Б.К. Еликбаев, А.В. Гарабаджиу, Г.А. Джамалова. ИП «Inter Hrint» - Алматы, 2018. – 144 с.
- 3 Закон Республики Казахстан от 10 февраля 2003 года N 389. О присоединении Республики Казахстан к Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением.
- 4 Neklyudov A. D. Intensification of Composting Processes by Aerobic Microorganisms: A Review/ A. D. Neklyudov, G. N. Fedotov, and A. N. Ivankin// Applied Biochemistry and Microbiology. – 2008.- Vol. 44, No. 1. pp. 6–18.
- 5 Municipal solid waste composting: case study of Istanbul/ A. Zoungrana, H. Elcik, N. Bekraki [other]// EurAsia Waste Management Symposium. -2014.- URL: https://www.researchgate.net/publication/301956461_MUNICIPAL_SOLID_WASTE_COMPOSTING_CASE_STUDY_of_ISTANBUL (дата обращения: 17.05.2020.).
- 6 Mirsa R.V. On -farm composting methods: book/ R.V. Mirsa, R. N. Roy, H. Hiraoka.-Rome: Food and agriculture organization of the United Nations, 2003.- 48 p.
- 7 Mehta C. M. Comparative study of aerobic and anaerobic composting for better understanding of organic waste management: a mini review/ C. M. Mehta, K. Sirari// Plant Archives Vol. 18 No. 1, 2018 pp. 44-48.
- 8 Neklyudov A. D. Intensification of Composting Processes by Aerobic Microorganisms: A Review/ A. D. Neklyudov, G. N. Fedotov, and A. N. Ivankin// Applied Biochemistry and Microbiology. – 2008.- Vol. 44, No. 1.- pp. 6–18.
- 9 Зинченко С.С. Компостирование: Безопасный метод утилизации ТБО С.С. / Зинченко, Э.Р. Бариева // Вестник магистратуры. - 2017.- № 1-4.- С.33-34.
- 10 Джамалова Г.А., Мусина У.Ш. Объекты биотехнологии: учебное пособие для технических высших учебных заведений / Г.А. Джамалова, У.Ш. Мусина. – Алматы: КазНУТУ, 2015. – 271 с.
- 11 Джамалова Г.А., Мусина У.Ш., Еликбаев Б.К. Основы биотехнологии: учебное пособие для технических высших учебных заведений / Г.А. Джамалова, У.Ш. Мусина, Б.К. Еликбаев. – Алматы: КазНУТУ, 2015. – 340 с.
- 12 Джамалова Г.А. Математическое планирование эмиссии биогаза и фильтра в процессе интенсивного анаэробного разложения твердых бытовых отходов в биореакторе // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-2.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21861> (дата обращения: 06.04.2020).

13 Джамалова Г.А. Математическое планирование выхода продуктов биоразложения твердых бытовых отходов в зависимости от протокола загрузки биореактора // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21293> (дата обращения: 06.04.2020).

14 Джамалова Г.А., Ивахнюк Г.К. Количественный и качественный состав фильтрата, получаемого из биореактора при ускоренной биодеградациии твердых бытовых отходов. Известия СПбГТИ(ТУ), № 24 (50), СПб- 2014.С.73-77.

15 Джамалова Г.А., Гарабаджиу А.В., Мусина У.Ш., Джолдыбаева С.М., Сериков Т.А. Изменчивость активности ксенобиотиков и микробиоценоза во времени в компостируемом композите «твердые бытовые отходы + коксуский шунгит (таурит). Научный журнал «Вестник КазГАСА». № 3 (73). - 2019. – С.167-179.

16 Джамалова Г.А., Гарабаджиу А.В., Джолдыбаева С.М., Сериков Т.А. Техногенная трансформация ксенобиотиков и микробиоценоза во времени в компостируемом модельном композите «Твердые бытовые отходы + зола». Вестник КазАТК. Алматы, № 1(112) 2020. – С. 317-325.

17 Вайсман Я.И. Управление метаногенезом на полигонах ТБО. Пермь: Книжный мир, 2003, – 231 с.